

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται διερεύνηση των παραμέτρων που συμβάλουν στον ασφαλή σχεδιασμό άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών. Τα πρανή είναι φυσικοί ή τεχνητοί σχηματισμοί εδάφους ή βράχου, διαμορφώνονται κατά την κατασκευή πολλών τεχνικών έργων, όπως έργων οδοποιίας, κατά την κατασκευή φραγμάτων, και χωρίζονται σε πρανή ορυγμάτων όταν προκύπτουν από την εκσκαφή φυσικού εδάφους και πρανή επιχωμάτων όταν προκύπτουν από την εναπόθεση εδαφικού υλικού. Λόγω της παρουσίας τους σε πολλά τεχνικά έργα είναι αναγκαίος ο ασφαλής σχεδιασμός τους, προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα που ενδεχομένως να προκαλέσουν καταστροφές στις κατασκευές αλλά και την απώλεια ανθρώπινων ζωών. Στην παρούσα διπλωματική μελετώνται οι παράμετροι που επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών, ώστε ο μελετητής να έχει τη δυνατότητα της σωστής επιλογής των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών που θα οδηγήσουν στην κατασκευή ενός ασφαλούς πρανούς. Βέβαια, η επιλογή των χαρακτηριστικών με τα οποία θα σχεδιαστεί ένα πρανές εξαρτάται από την περιοχή στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί το συγκεκριμένο πρανές, δηλαδή εξαρτάται από τη σεισμική ζώνη στην οποία εντάσσεται η συγκεκριμένη περιοχή. Στην Ελλάδα υπάρχουν τρεις σεισμικές Ζώνες, αλλά τα περισσότερα τεχνικά έργα πραγματοποιούνται στη Ζώνη II. Γνωρίζοντας λοιπόν ο μελετητής ποιες είναι οι κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν την ευστάθεια ενός πρανούς και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος αλλά και της σεισμικής Ζώνης, έχει τη δυνατότητα να επιλέξει αν θα σχεδιάσει ένα άοπλο ή οπλισμένο πρανές προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες του έργου και να εξασφαλίσει την ασφάλεια αλλά και την οικονομικότητά του.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	12
ABSTRACT	14
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ	17
1.1. Πρανή	17
1.2. Σεισμοί.....	18
1.3. Συντελεστής ασφαλείας και κρίσιμη επιτάχυνση.....	18
1.4. Οπλισμένα πρανή	20
1.5. Οπλισμένοι τοίχοι και πρανή	22
1.4.1. Γεωσυνθετικά	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	24
2.1. Εισαγωγή	24
2.2. Μέθοδος Sarma και Tan	24
2.2.1. Εισαγωγή.....	24
2.2.2. Βασικές αρχές της μεθόδου Sarma και Tan	25

2.2.3.	Γεωμετρικοί άγνωστοι	25
2.2.4.	Άγνωστες δυνάμεις	26
2.2.5.	Κριτήρια αποδοχής	27
2.2.6.	Ανάλυση του πρώτου και των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανούς	28
2.3.	Μέθοδος Sarma – Hoek	31
2.3.1.	Γεωμετρικοί υπολογισμοί.....	32
2.3.2.	Υπολογισμός κρίσιμης επιτάχυνσης k_c	34
2.3.3.	Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας F	35
2.3.4.	Έλεγχος αποδοχής της λύσης	35
2.3.5.	Προβλήματα με τις παθητικές ωθήσεις (τάσεις).....	36
2.3.6.	Ενσωμάτωση μη γραμμικών κριτηρίων αστοχίας	37
2.3.7.	Προτεινόμενα βήματα για την πραγματοποίηση μιας ανάλυσης.....	38
2.4.	Μέθοδοι ανάλυσης οπλισμένων πρανών	41
2.5.1.	Μεθοδολογία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών με απλή και σύνθετη γεωμετρία	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ		50
3.1.	Εισαγωγή	50
3.2.	Λογισμικό για τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας αστοχίας των πρανών κατά Sarma και Tan (15)	51
3.3.	Λογισμικό για τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας αστοχίας των πρανών κατά Sarma και Hoek	57
3.4.	Λογισμικό για τον υπολογισμό του οπλισμού των πρανών σε γλώσσα Delphi	63
3.5.	Στόχος εργασίας	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	68
4.1. Άοπλα πρανή.....	69
4.1.1. Μέθοδος Sarma – Tan.....	69
4.1.1.1. Παραδείγματα	69
4.1.1.2. Μεταβολή αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης	71
4.1.1.3. Μεταβολή γωνίας τριβής του πρανούς.....	91
4.1.1.4. Μεταβολή του βήματος	100
4.1.2. Μέθοδος Sarma - Hoek.....	132
4.1.1.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων για άοπλα πρανή με τις μεθόδους Sarma – Tan και Sarma- Hoek	134
4.2. Οπλισμένα πρανή	136
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	144
5.1. Συμπεράσματα.....	144
5.2. Προτάσεις	152
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	154
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	156
1. Παραδείγματα που εξετάστηκαν με τη μέθοδο Sarma – Tan.....	157
2. Αποτελέσματα για τα άοπλα πρανή με τη μέθοδο Sarma – Hoek.....	178
3. Αποτελέσματα για τα οπλισμένα πρανή με τη μέθοδο Sarma – Hoek.....	202

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΟΠΛΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΝΑ ΑΠΟ ΑΥΤΑ.	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 2: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΑΡΧΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ.....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 2	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 3	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 4	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 5	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 20	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 21	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 10 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ.....	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 11: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 22	98
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 13 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΑΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 14: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 7	103
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 15: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 8	105
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 16: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 10	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 11	112
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 18: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 13	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 19: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 14	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 20: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 23	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 21: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 25	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 22: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 27	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 23: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΟΠΛΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SARMA – ΗΟΕΚ	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 24: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ SARMA - ΤΑΝ ΚΑΙ SARMA - ΗΟΕΚ.....	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 25: ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ DELPHI	138
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 26: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ.....	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 27: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΑΟΠΛΑ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΡΑΝΗ	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 1: ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ Β ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΓΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ	149
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 2: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΖΩΝΗ Ι	151
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 3: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΖΩΝΗ ΙΙ	151
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 4: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΖΩΝΗ ΙΙΙ	151
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 12	157
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 15	159
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 16	161
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 17	163
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 18	165
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 19	167
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 29	169
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 30	171
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 31	173
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 32	175
ΠΙΝΑΚΑΣ Π. 11: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 33	177

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1. 1: (Α)ΆΟΠΛΟ ΠΡΑΝΕΣ ΚΑΙ (Β)ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ (SARAH B. PAULSEN, 2002)	21
ΣΧΗΜΑ 1. 2: ΚΟΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΜΕ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΑ:(Α)ΤΥΛΙΓΜΕΝΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ,(Β)ΜΕ ΤΟΞΟΤΕΣ Η ΒΑΘΜΙΔΩΤΕΣ ΜΑΖΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ (C)ΜΕ ΨΗΛΑ ΠΛΑΙΣΙΑ (SARAH B. PAULSEN, 2002)	23
ΣΧΗΜΑ 2. 1: ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΔΡΟΥΝ ΣΕ ΕΝΑ ΤΥΧΑΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ (D.ΤΑΝ,2006)	25
ΣΧΗΜΑ 2. 2: ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΠΡΩΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ (D.ΤΑΝ,2006)	29
ΣΧΗΜΑ 2. 3: ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΔΡΟΥΝ ΣΤΑ ΔΥΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ (D.ΤΑΝ,2006)	30
ΣΧΗΜΑ 2. 4: ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ Ι (Ε.ΗΟΕΚ, 1987)	33
ΣΧΗΜΑ 2. 5: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΙΑΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΙ Η ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΡΩΓΜΗ ΣΕ ΕΝΑ ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΠΡΑΝΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ (ΗΟΕΚ & BRAY , 1979) .	39
ΣΧΗΜΑ 2. 6: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΙΑΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΛΚΥΣΤΙΚΗ ΡΩΓΜΗ ΣΕ ΕΝΑ ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΠΡΑΝΕΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ (ΗΟΕΚ & BRAY, 1979)	40
ΣΧΗΜΑ 2. 7: ΠΟΛΥΩΡΟΦΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ (Ε. ΚΑΠΟΓΙΑΝΝΗ, 2008)	43
ΣΧΗΜΑ 2. 8: ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ (ΑΝΑΒΑΘΜΟΣ 3) (Ε.ΚΑΠΟΓΙΑΝΝΗ, 2008).....	45
ΣΧΗΜΑ 2. 9: ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΟΛΙΚΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ (Ε.ΚΑΠΟΓΙΑΝΝΗ, 2008).....	45
ΣΧΗΜΑ 4. 1: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1)	74
ΣΧΗΜΑ 4. 2: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2)	78
ΣΧΗΜΑ 4. 3: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3)	81
ΣΧΗΜΑ 4. 4: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4)	84
ΣΧΗΜΑ 4. 5: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5)	86
ΣΧΗΜΑ 4. 6: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 20)	88
ΣΧΗΜΑ 4. 7: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 21)	91
ΣΧΗΜΑ 4. 8: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ $\phi = 35^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1)	93
ΣΧΗΜΑ 4. 9: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ $\phi = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6)	95
ΣΧΗΜΑ 4. 10: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ $\phi = 20^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 21)	97
ΣΧΗΜΑ 4. 11: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ $\phi = 35^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 22)	99
ΣΧΗΜΑ 4. 12: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 1.0 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1)	102
ΣΧΗΜΑ 4. 13: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 0.5 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7)	104
ΣΧΗΜΑ 4. 14: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 2.0 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8).....	106
ΣΧΗΜΑ 4. 15: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 0.5 Μ, 1.0 Μ ΚΑΙ 2.0Μ	109
ΣΧΗΜΑ 4. 16: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 0.99 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10)	111
ΣΧΗΜΑ 4. 17: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 1.5 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11)	113
ΣΧΗΜΑ 4. 18: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 0.99 Μ ΚΑΙ 1.5 Μ.....	115

Διπλωματική Εργασία: «Παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών»

ΣΧΗΜΑ 4. 19: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 40^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 1.0 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13)	117
ΣΧΗΜΑ 4. 20: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 40^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 1.5 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14)	119
ΣΧΗΜΑ 4. 21: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 1.0 Μ ΚΑΙ 2.0 Μ	120
ΣΧΗΜΑ 4. 22: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 1.0 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 21)	121
ΣΧΗΜΑ 4. 23: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 2.74 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 23)	122
ΣΧΗΜΑ 4. 24: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 1.0 Μ ΚΑΙ 2.74 Μ	124
ΣΧΗΜΑ 4. 25: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 1.5 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 25).....	126
ΣΧΗΜΑ 4. 26: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 1.0 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 26)	127
ΣΧΗΜΑ 4. 27: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ ΚΑΙ ΒΗΜΑ 0.5 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 27)	129
ΣΧΗΜΑ 4. 28: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 0.5 Μ, 1.0 Μ ΚΑΙ 1.5 Μ.....	131
ΣΧΗΜΑ 4. 29: ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΛΟΓΟ c/gH	148
ΣΧΗΜΑ Π. 1: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ ΚΑΙ ΥΨΟΣ 15 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12)	158
ΣΧΗΜΑ Π. 2: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ ΚΑΙ ΥΨΟΣ 20 Μ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 15).....	160
ΣΧΗΜΑ Π. 3: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16)	162
ΣΧΗΜΑ Π. 4: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 12^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 17)	164
ΣΧΗΜΑ Π. 5: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 12^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 18).....	166
ΣΧΗΜΑ Π. 6: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 12^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 19)	168
ΣΧΗΜΑ Π. 7: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ, ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ $\beta = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 29) .	170
ΣΧΗΜΑ Π. 8: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 35^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 30).....	172
ΣΧΗΜΑ Π. 9: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 35^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31)	173
ΣΧΗΜΑ Π. 10: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 35^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 32)	175
ΣΧΗΜΑ Π. 11: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 33)	178

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 3. 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ (Ε.ΡΑΪΣΗ, 2009)	53
ΕΙΚΟΝΑ 3. 2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ 2 ΕΩΣ Ν-2 (Ε.ΡΑΪΣΗ, 2009)	55
ΕΙΚΟΝΑ 3. 3: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΓΙΑ ΕΝΑ ΤΥΠΙΚΟ ΠΡΑΝΟΣ(Ε.ΗΟΕΚ, 1987).....	59
ΕΙΚΟΝΑ 3. 4: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ(Ε.ΗΟΕΚ, 1987)	60
ΕΙΚΟΝΑ 3. 5: ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΚΩΔΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ BASIC (Ε.ΗΟΕΚ, 1987)	62
ΕΙΚΟΝΑ Π. 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1	179
ΕΙΚΟΝΑ Π. 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 6	180
ΕΙΚΟΝΑ Π. 3: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6).....	181
ΕΙΚΟΝΑ Π. 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 7	182
ΕΙΚΟΝΑ Π. 5: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7)	182
ΕΙΚΟΝΑ Π. 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 8	183
ΕΙΚΟΝΑ Π. 7: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8)	183
ΕΙΚΟΝΑ Π. 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 9	184
ΕΙΚΟΝΑ Π. 9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 10	185
ΕΙΚΟΝΑ Π. 10: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10)	186
ΕΙΚΟΝΑ Π. 11: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 11.....	187
ΕΙΚΟΝΑ Π. 12: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11)	187
ΕΙΚΟΝΑ Π. 13: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 13.....	188
ΕΙΚΟΝΑ Π. 14: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 40^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13)	188
ΕΙΚΟΝΑ Π. 15: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 14.....	189
ΕΙΚΟΝΑ Π. 16: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 40^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14)	190
ΕΙΚΟΝΑ Π. 17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 20.....	191
ΕΙΚΟΝΑ Π. 18: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 20)	191
ΕΙΚΟΝΑ Π. 19: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 21.....	192
ΕΙΚΟΝΑ Π. 20: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 21)	193
ΕΙΚΟΝΑ Π. 21: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 22.....	194
ΕΙΚΟΝΑ Π. 22: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 22)	194
ΕΙΚΟΝΑ Π. 23: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 23.....	195
ΕΙΚΟΝΑ Π. 24: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 20^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 23)	195
ΕΙΚΟΝΑ Π. 25: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 24.....	196
ΕΙΚΟΝΑ Π. 26: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 24)	197
ΕΙΚΟΝΑ Π. 27: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 25.....	198
ΕΙΚΟΝΑ Π. 28: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 25)	198
ΕΙΚΟΝΑ Π. 29: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 26.....	199
ΕΙΚΟΝΑ Π. 30: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 26)	199
ΕΙΚΟΝΑ Π. 31: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 27.....	200
ΕΙΚΟΝΑ Π. 32: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 27)	201
ΕΙΚΟΝΑ Π. 33: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΟΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 1	202

Διπλωματική Εργασία: «Παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών»

ΕΙΚΟΝΑ Π. 34: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 34^\circ$, ΟΠΛΙΣΜΟ 5 κΝ/Μ ΚΑΙ 23 ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1)....	203
ΕΙΚΟΝΑ Π. 35: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 14.....	204
ΕΙΚΟΝΑ Π. 36: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 40^\circ$, ΟΠΛΙΣΜΟ 8 κΝ/Μ ΚΑΙ 13 ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14)..	204
ΕΙΚΟΝΑ Π. 37: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ 25.....	205
ΕΙΚΟΝΑ Π. 38: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ, ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΓΩΝΙΑ $\beta = 30^\circ$, ΟΠΛΙΣΜΟ 8 κΝ/Μ ΚΑΙ 13 ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 25)..	206

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Μιχαήλ Σακελλαρίου για την πολύτιμη βοήθεια, την καθοδήγησή και τη στήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια Διδάκτορα κ. Έλενα Καπόγιαννη για την συνεχή και πολύτιμη βοήθειά της και για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα. Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια και τους φίλους μου που μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών» που αποτελείται από πέντε κεφάλαια διερευνώνται οι παράμετροι που συμβάλλουν στον ασφαλή σχεδιασμό άοπλων πρανών. Μελετώνται δηλαδή οι επιδράσεις της μεταβολής της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης, της γωνίας τριβής και του βήματος διαμερισμού του πρανούς στον προσδιορισμό της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και του συντελεστή ασφαλείας, χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο Sarma – Tan και στη συνέχεια τη μέθοδο Sarma – Hoek και γίνονται οι απαραίτητες συγκρίσεις. Επιπλέον, μελετάται πως επηρεάζεται η ευστάθεια του πρανούς από την εφαρμογή οπλισμού σε αυτό.

Στο πρώτο Κεφάλαιο αναφέρονται συνοπτικά οι ορισμοί των εδαφικών πρανών και ο διαχωρισμός τους σε φυσικά και τεχνητά πρανά, των σεισμών, του συντελεστή ασφαλείας και της σχέσης του με την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα οπλισμένα πρανά και τους τοίχους αντιστήριξης καθώς και στα γεωσυνθετικά που χρησιμοποιούνται για την όπλιση των πρανών.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι ανάλυσης άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών. Για τα άοπλα πρανά παρουσιάζονται οι μέθοδοι Sarma – Tan και Sarma – Hoek και για τα οπλισμένα πρανά παρουσιάζεται η μεθοδολογία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών σύνθετης γεωμετρίας που υπόκεινται σε σεισμική και στατική φόρτιση όπως αυτή αναπτύχθηκε από την ΥΔ Καπόγιαννη Ε.

Στο τρίτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται περιληπτικά τα λογισμικά που στηρίζονται στις μεθόδους ανάλυσης άοπλων πρανών Sarma – Tan και Sarma – Hoek, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση που θα γίνει παρακάτω. Επιπλέον, παρουσιάζεται το λογισμικό σε γλώσσα Delphi, που στηρίζεται στην μεθοδολογία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου οπλισμού που πρέπει να εφαρμοστεί στα πρανά, ώστε να μελετηθεί η επίδραση του οπλισμού στην ευστάθειά τους.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο για άοπλα όσο και για οπλισμένα πρανά. Αρχικά,

εξετάσθηκαν με την μέθοδο Sarma – Tan η επίδραση της μεταβολής της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης, της γωνία τριβής και του βήματος διαμερισμού του πρανούς στην κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς και εξήχθησαν τα απαραίτητα συμπεράσματα. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν εκ νέου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας των πρανών με τη μέθοδο Sarma – Hoek, ώστε να εντοπισθούν οι διαφορές των δυο μεθόδων. Τέλος, υπολογίστηκε ο απαιτούμενος οπλισμός τόσο για την εφαρμογή του σε όλα τα τμήματα του πρανούς όσο και για την εφαρμογή του στα μισά τμήματα του πρανούς. Με τη χρήση του λογισμικού Sarma – Hoek υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση των οπλισμένων πρανών και έγιναν οι απαραίτητες συγκρίσεις μεταξύ οπλισμένων και άοπλων πρανών.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο συνοψίστηκαν όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω διερεύνηση και έγιναν προτάσεις για το πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ασφαλή σχεδιασμό εδαφικών πρανών.

Τέλος, στο Παράρτημα παρουσιάζονται όσα παραδείγματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο Sarma – Tan και δεν συμπεριλήφθηκαν στο Κεφάλαιο 4, είτε λόγω μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων είτε λόγω του ότι δεν διερευνήθηκαν υπό κάποια παράμετρο καθώς και τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τη μέθοδο Sarma – Hoek, για τα άοπλα και τα οπλισμένα πρανά.

ABSTRACT

In this thesis entitled “Experimental investigation of the stability of non-reinforced and reinforced soil slopes” and comprised of five Chapters, the parameters contributing to the safe planning of non-reinforced slopes are examined. The effects of the change of the initial seismic acceleration, the friction angle and the sharing pitch of the slope in the determination of critical seismic acceleration and factor of safety are studied, using at first the Sarma – Tan method and then the Sarma – Hoek method and finally comparing the results of these two methods. Moreover, it the way reinforcement affects the stability of the slope is studied.

In the first Chapter there are a summary of the definitions of slopes and their distinction as natural and artificial slopes, quake, the factor of safety and the relation between the factor of safety and the critical seismic acceleration of the slope. Furthermore, there is a reference to the reinforced slopes and walls and to the geosynthetics used for the reinforcement of the slopes.

In the second Chapter, there are analytical reports of the methods of analysis of non-reinforced and reinforced soil slopes. The Sarma – Tan method and Sarma – Hoek method for non-reinforced slopes and the integrated methodology for the seismic design of reinforced soil slopes with composite geometry under seismic loading for reinforced slopes, developed by the PhD student E. Kapogianni are reported.

In the third Chapter, a summary is given of the software based on the Sarma – Tan method and the Sarma – Hoek method, which will be used for the next investigation. Moreover, there is a presentation of the software which is written in Delphi language and based on the integrated methodology for the seismic design of reinforced soil slopes and will be used for the calculation of the required reinforcement, in order to examine the effect of reinforcement in their stability.

In the fourth Chapter, there are presentations of all the analyses made for non-reinforced and reinforced slopes. First of all, by using the Sarma – Tan method, the effect of the change of the initial seismic acceleration, the friction angle and the sharing pitch of the slope in the critical seismic acceleration were studied and some conclusions reached. Then, the critical seismic acceleration and the factor of safety

were recalculated using the software of Sarma – Hoek method and the results of these two methods were compared, in order to find the differences between them. Finally, the required reinforcement was calculated, either to be set to all the slices of the slope or to half of them. By using the Sarma – Hoek software the critical seismic acceleration and the factor of safety of the slopes were calculated and then the results were compared between non-reinforced and reinforced slopes.

In the fifth Chapter, all the results derived from the previous investigation, were summarized and ways of using these results in the future for the safe planning of soil slopes are proposed.

Finally, all the examples that were analyzed with Sarma – Tan method and do not appear in the fourth Chapter are presented in the Appendix. Moreover, in this Chapter all the examples of non-reinforced and reinforced slopes which were analyzed with Sarma – Hoek method are presented.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των παραμέτρων που συμβάλλουν στον ασφαλή σχεδιασμό άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών. Αρχικά, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Sarma – Tan υπολογίζεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας άοπλων πρανών, μεταβάλλοντας κάθε φορά μια από τις παραμέτρους του πρανούς. Έπειτα, χρησιμοποιείται η μέθοδος Sarma – Hoek για να υπολογιστεί η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας προκειμένου διαπιστωθούν τυχόν διαφορές μεταξύ των δυο μεθόδων. Επίσης, διερευνάται η επίδραση της εφαρμογής του κατάλληλου οπλισμού στην αύξηση της ευστάθειας των πρανών.

Τα πρανή συναντώνται σε πολλά τεχνικά έργα, όπως σε έργα οδοποιίας, σε φράγματα, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η ασφάλειά τους. Ο ασφαλής σχεδιασμός των πρανών προϋποθέτει σωστό συνδυασμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των πρανών και για το λόγο αυτό μελετήθηκαν τρεις παράμετροι που πιθανόν να συμβάλουν στην ευστάθεια των πρανών. Μελετάται ποια είναι η επιρροή της μεταβολής της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης, της γωνία τριβής και του βήματος διαμερισμού του πρανούς στον προσδιορισμό της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και του συντελεστή ασφαλείας.

Όταν απαιτείται να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ασφάλεια σε ένα πρανές τότε υπάρχει η δυνατότητα του οπλισμού του, που θα έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή ενός πρανούς με αυξημένη ευστάθεια. Γνωρίζοντας τους παράγοντες που συμβάλλουν στον ασφαλή σχεδιασμό πρανών υπάρχει η δυνατότητα να γίνει η σωστή επιλογή των χαρακτηριστικών του πρανούς, να επιλεγεί αν το πρανές που θα κατασκευαστεί θα είναι οπλισμένο ή άοπλο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου, τις ιδιομορφίες του φυσικού περιβάλλοντος και τη σεισμική ζώνη στην οποία απαιτείται να κατασκευαστεί το έργο.

Η σύνδεση του συντελεστή ασφαλείας με την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση, τη γωνία του πρανούς και τη γωνία τριβής του πρανούς, παρέχει τη δυνατότητα να ληφθούν οι σωστές αποφάσεις για την επιλογή των χαρακτηριστικών του πρανούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1. Πρανή

Τα πρανή ορίζονται ως κεκλιμένοι φυσικοί ή τεχνητοί σχηματισμοί του εδάφους ή βράχου. Οι δυνάμεις βαρύτητας που δημιουργούνται σε κάθε πρανές λόγω της διαφοράς στάθμης και των κλίσεων που το χαρακτηρίζουν, σε συνδυασμό με τις δυνάμεις που εμφανίζονται λόγω πιθανής ύπαρξης νερού στο έδαφος, δημιουργούν με τη σειρά τους διατμητικές τάσεις στο εσωτερικό τους που τείνουν να μετακινήσουν τη μάζα τους ώστε να εξομαλύνουν το έδαφος. Στις τάσεις αυτές αντιτίθεται η διατμητική αντοχή του εδάφους και στην περίπτωση που αυτές την υπερβούν, τότε οδηγούν σε θραύση του εδάφους και κατολίσθηση.

Η ευστάθεια των φυσικών πρανών δεν είναι εξασφαλισμένη, διότι μπορεί να αστοχήσει λόγω γεωλογικών, γεωτεχνικών ή φυσικών παραγόντων. Φαινόμενα όπως η διάβρωση, ο παγετός, η μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα και οι σεισμοί μπορούν να προκαλέσουν την αστοχία, δηλαδή την κατάρρευση κυρίως εδαφικής μάζας, ενός φυσικού πρανούς. Επίσης, η κατασκευή τεχνικών έργων μπορεί να προκαλέσει αστοχία. Επειδή η αστοχία ενός φυσικού πρανούς μπορεί να έχει αρνητικές επιδράσεις στο κοινωνικό σύνολο και να προκαλέσει ακόμα και απώλειες ανθρώπινων ζώων, τα φυσικά πρανή πρέπει να ενισχύονται όπου αυτό είναι απαραίτητο.

Τα τεχνητά πρανή διαμορφώνονται κατά την κατασκευή διαφόρων τεχνικών έργων και χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: τα πρανή ορυγμάτων, όταν προκύπτουν από την εκσκαφή του φυσικού εδάφους και τα πρανή επιχωμάτων, όταν προκύπτουν από την εναπόθεση εδαφικού υλικού. Η ευστάθεια ενός τεχνητού πρανούς εξασφαλίζεται με την χρησιμοποίηση έργων αντιστήριξης όπως τοίχους αντιστήριξης, διαφράγματα από πασσάλους/αγκυρώσεις, οπλισμένη γη - γεωφάσματα κ.α. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ενίσχυση φυσικών πρανών. Επιπλέον, ο κατάλληλος γεωμετρικός σχεδιασμός του πρανού και η χρησιμοποίηση κατάλληλων υλικών μπορεί να καταστήσει ένα τεχνητό πρανές ευσταθές χωρίς την χρησιμοποίηση τεχνικών έργων.

Η ευστάθεια των πρανών έναντι στατικών φορτίων εξαρτάται από: α) την βαρύτητα, η οποία δρα ως παράγοντας αστάθειας του πρανούς αφού τείνει να παρασύρει προς τα κάτω και προς τα έξω ορισμένη μάζα εδάφους, β) την συνοχή και την εσωτερική τριβή, που τείνουν να διατηρήσουν ενωμένα τα υλικά που συνθέτουν το πρανές και αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μετακίνηση, συμβάλλοντας έτσι στην ευστάθεια του πρανούς, γ) την στρώση και την κατάτμηση του εδάφους, δ) την αποστράγγιση του πρανούς, ε) την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών, στ) τις χρονικές μεταβολές των τάσεων και των παραμορφώσεων, ζ) τη γεωμετρία του πρανούς και η) τα υλικά από τα οποία αποτελείται (16, 17).

1.2. Σεισμοί

Οι σεισμοί είναι μια δόνηση του εδάφους που προκαλείται από τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων, τα οποία διαδίδονται μέσω των πετρωμάτων και η πηγή τους είναι η εστία τους σεισμού. Ο σεισμός είναι μια απορρόφηση ενέργειας που έχει συσσωρευθεί στα πετρώματα με τη μορφή «ελαστικής» ενέργειας.

Επειδή η Ελλάδα βρίσκεται σε μια από τις πιο σεισμοπαθείς περιοχές του πλανήτη, κατά τη μακρά ιστορία της έχουν καταγραφεί καταστροφικοί σεισμοί τόσο κατά την αρχαιότητα όσο και τους νεότερους χρόνους, οι οποίοι προκάλεσαν καταστροφές και αφάνισαν πολιτισμούς. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η καταστροφή του Μινωικού πολιτισμού, που συνδέεται με το μύθο της Ατλαντίδας, ο σεισμός του 1953 στα Επτάνησα με 500 περίπου θύματα, ο σεισμός του 1981 στις Αλκυονίδες που έπληξε κυρίως την Αθήνα και είχε 20 νεκρούς, ο σεισμός του 1995 στο Αίγιο με εκτεταμένες υλικές ζημιές και 15 θύματα και τέλος ο σεισμός του 1999 στην Πάρνηθα που έπληξε κυρίως την Αθήνα όπου σημειώθηκαν σοβαρές υλικές ζημιές και είχε 143 νεκρούς και 1200 τραυματίες (16).

1.3. Συντελεστής ασφαλείας και κρίσιμη επιτάχυνση

Οι μέθοδοι ανάλυσης πρανών στηρίζονται στην παραδοχή κάποιας μορφής αστοχίας. Αφού γίνει η παραδοχή αυτή, πραγματοποιείται ανάλυση με μεθόδους οριακής ισορροπίας. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ένας συντελεστής ασφαλείας ο οποίος καθορίζεται από το λόγο του συνόλου των ροπών ή δυνάμεων που ανθίστανται στην

ολίσθηση προς τις αντίστοιχες δυνάμεις ή ροπές που συνεισφέρουν στην αστάθεια του πρανού, προκαλώντας την ολίσθησή του. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την αντοχή του εδάφους έναντι θραύσης ή αστοχίας.

$$F = \frac{\text{Δυνάμεις} - \text{Ροπές Αντιδρώσες}}{\text{Δυνάμεις} - \text{Ροπές Δρώσες}}$$

Αν ο συντελεστής ασφαλείας είναι 1.0 τότε έχουμε οριακή ισορροπία-ευστάθεια του πρανού. Αν ο συντελεστής είναι μικρότερος από 1.0 σημαίνει ότι το πρανές δεν είναι ευσταθές και είναι πιθανό να εμφανιστεί κάποια κατολίσθηση. Ένα φυσικό πρανές δεν μπορεί να έχει συντελεστή ασφαλείας μικρότερο από 1.0 γιατί τότε το πρανές θα είχε ήδη κατολισθήσει μέχρι να φτάσει σε μια μορφή όπου ο συντελεστής ασφαλείας θα ήταν μεγαλύτερος ή ίσος από 1.0. Δηλαδή όταν ένα ο συντελεστής ασφαλείας είναι μικρότερος από τη μονάδα τότε ένα τμήμα του ολισθαίνει έως ότου να έρθει σε τέτοια θέση όπου οι νέες τάσεις δεν θα υπερβαίνουν τη διαθέσιμη αντοχή.

Η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου των πρανών δεν μπορεί να στηριχτεί μόνο στο συντελεστή ασφαλείας καθώς κρίνεται ανεπαρκής. Η επιδεκτικότητα των πρανών σε διάφορες μορφές αστοχιών κατά την εκδήλωση σεισμικού φαινομένου προσδιορίζεται μέσω της κρίσιμης επιτάχυνσης ολίσθησης. Η κρίσιμη επιτάχυνση ορίζεται ως η επιτάχυνση που όταν εφαρμόζεται στη μάζα μεταξύ επιφάνειας ολίσθησης και αυτής του πρανού δημιουργείται μια κατάσταση οριακής αστοχίας στην επιφάνεια αυτή. Δηλαδή σε σεισμό αν η εφαρμοζόμενη επιτάχυνση είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη επιτάχυνση, τότε το πρανές θα αστοχήσει κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης. Επιπλέον, η κρίσιμη επιτάχυνση εξαρτάται από τη γεωμετρία και τις εδαφικές ιδιότητες του πρανού.

Κατά τον Sarma, ο στατικός συντελεστής ασφαλείας F και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση συνδέονται μεταξύ τους με τη γραμμική σχέση:

$$F = 1.0 + b \cdot k_{cr} \quad (\text{Εξ. 1.1})$$

Η μελέτη αυτή αφορά ομοιογενή πρανή, διαφόρων κλίσεων, όπως είναι και τα πρανή που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική, αλλά ισχύει και για περιπτώσεις ετερογένειας. Ο συντελεστής b εξαρτάται μόνο από την κλίση του πρανού δηλαδή

τη γωνία β και προσδιορίζεται διαφορετικά αν πρόκειται για άοπλο ή για οπλισμένο πρανές. Για τα άοπλα πρανή ο συντελεστής b προκύπτει από την επόμενη εξίσωση:

$$b = 1.18 + \frac{0.66}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 1.2})$$

Για τα οπλισμένα πρανή ο συντελεστής b υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$b = 1.63 + \frac{0.64}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 1.3})$$

Οι Εξισώσεις 1.2 και 1.3 έχουν υπολογισθεί με τη μέθοδο της παλινδρόμησης με δεδομένα αποτελέσματα μεγάλου αριθμού αναλύσεων σε προγενέστερη διπλωματική εργασία (14).

Με βάση την Εξίσωση 1.1 προκύπτει ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για άοπλο πρανές δίνεται από τη σχέση:

$$k_{cr} = \frac{F-1.0}{1.18 + \frac{0.66}{\tan\beta}} \quad (\text{Εξ. 1.4})$$

και για οπλισμένο πρανές:

$$k_{cr} = \frac{F-1.0}{1.63 + \frac{0.64}{\tan\beta}} \quad (\text{Εξ. 1.5})$$

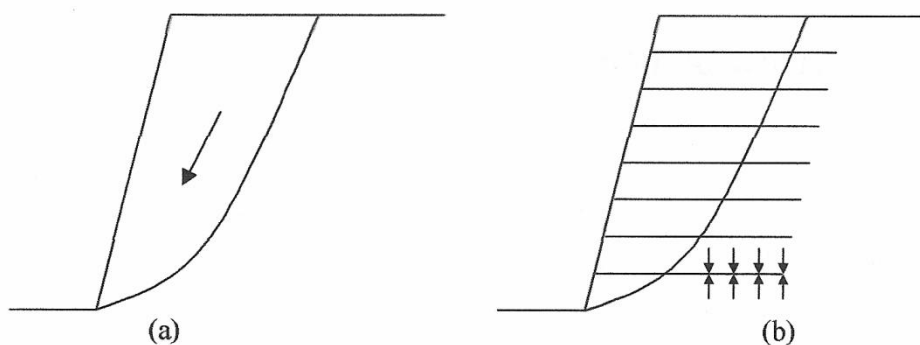
Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιούνται και στην εφαρμογή Land Hazard Analysis (ver. 2.0) για τον υπολογισμό της k_{cr} (17).

1.4. Οπλισμένα πρανή

Το έδαφος αποτελεί κύριο κατασκευαστικό υλικό λόγω της αφθονίας του στη φύση. Επειδή όμως, έχει μεγάλη αντοχή στη θλίψη και ουσιαστικά μηδενική αντοχή στον εφελκυσμό, δηλαδή περιορισμένη αντοχή, για αυτό το λόγο μπορεί να οπλιστεί ώστε να σχηματίσει ένα σύνθετο υλικό με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Ο τύπος του οπλισμού διαφοροποιείται ανάλογα με τις απαιτήσεις της κατασκευής και κατατάσσεται σε τρεις κατηγορίες: α) τα γεωφάσματα, β) τα γεωπλέγματα, γ) τις γεωμεμβράνες.

Η ευστάθεια τόσο των οπλισμένων όσο και των άοπλων πρανών εξαρτάται από τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους και από τις συνθήκες φόρτισης, στατική και σεισμική. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πρανούς καθορίζουν και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της όπλισης που θα χρησιμοποιηθεί, δηλαδή το μήκος, την απαιτούμενη εφελκυστική αντοχή. Για παράδειγμα πρανή με χαμηλό ύψος και ήπια κλίση απαιτούν όπλιση με μικρή εφελκυστική αντοχή, σε αντίθεση με πρανή με έντονη κλίση και μεγάλο ύψος τα οποία απαιτούν μεγάλης αντοχής οπλισμό (13).

Ένα σταθερό πρανές μπορεί να κατασκευαστεί με γωνία κλίσης μικρότερη ή ίση με την γωνία τριβής του εδάφους. Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται πως μπορεί να μπει ο οπλισμός σε ένα απότομο πρανές για να το αποτρέψει να ολισθήσει. Στο Σχήμα 1.1β, η τριβή μεταξύ του οπλισμού και του εδάφους κρατάει τον οπλισμό ώστε να μην ολισθήσει κατά τη διάρκεια και μετά την κατασκευή. Η οπλισμένη γη βασίζεται στις τάσεις που προκαλούνται από τον οπλισμό ώστε να διατηρήσουν τη σταθερότητα σε πρανή με απότομες κλίσεις. Η κινητοποίηση της εφελκυστικής αντοχής συμβαίνει όταν το πρανές υφίσταται κάποια παραμόρφωση. Για στατικές και δυναμικές καταστάσεις, ισχυρές παραμορφώσεις ενός οπλισμένου πρανούς μπορούν να συμβούν όταν ο οπλισμός τεντωθεί, αστοχήσει ή βγει έξω από το έδαφος.



Σχήμα 1. 1: (a)Άοπλο πρανές και (b)Οπλισμένο πρανές (Sarah B. Paulsen, 2002)

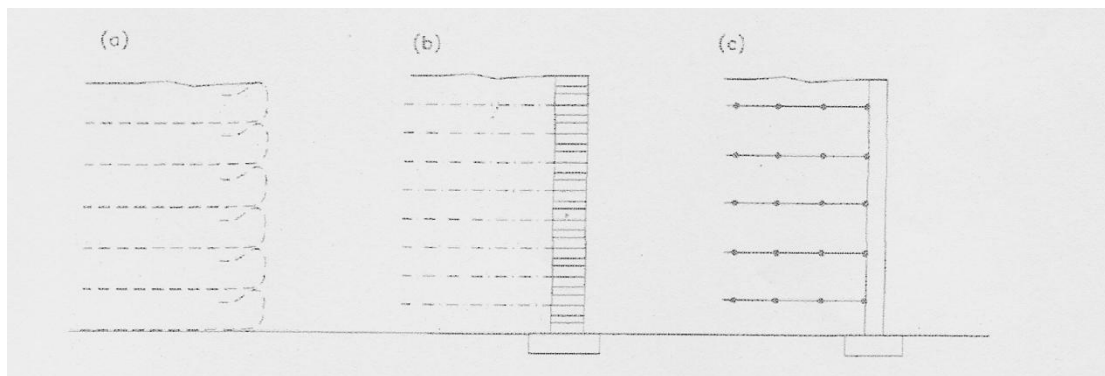
Προκειμένου να μελετηθεί καλύτερα η συμπεριφορά των οπλισμένων πρανών έναντι στατικής και δυναμικής φόρτισης, εφαρμόζονται αναλυτικές, υπολογιστικές και πειραματικές μέθοδοι. Από τη μέθοδο οριακής ισορροπίας και τη μέθοδο οριακής ανάλυσης προκύπτουν αναλυτικά αποτελέσματα. Επίσης, η υπολογιστική μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων δίνει πλήρεις λύσεις για τη διερεύνηση των προβλημάτων οπλισμένης γης και λαμβάνει υπόψη στους υπολογισμούς την επιρροή

μεταξύ διεπιφανειών (έδαφος και έδαφος και οπλισμός). Τέλος, η πειραματική διερεύνηση των οπλισμένων πρανών μπορεί να πραγματοποιηθεί με την κατασκευή και φόρτιση μοντέλων σε φυσική κλίμακα και σε μικρή κλίμακα με την εφαρμογή των μοντέλων των φυγοκεντριστών.

1.5. Οπλισμένοι τοίχοι και πρανή

Το έδαφος συνήθως οπλίζεται με σχετικά ελαφριά και εύκαμπτα υλικά, όπως λεπτές στρώσεις χάλυβα ή γεωσυνθετικά, τα οποία είναι ελαστικά και έχουν μεγάλες εφελκύστηκες δυνάμεις. Ο οπλισμός βελτιώνει τις διατμητικές δυνάμεις στο έδαφος αλλάζοντας το πρότυπο των δυνάμεων του εδάφους. Κατά την κατασκευή οπλισμένων κατασκευών, τα επίπεδα του οπλισμού τοποθετούνται μέσα στην επίχωση. Ξηρά, με μειωμένη συνοχή εδάφη χρησιμοποιούνται κυρίως σαν επίχωση εξαιτίας των υψηλών χαρακτηριστικών τους σε δύναμη και επειδή επιτρέπουν την αποστράγγιση, αποφεύγοντας έτσι την δημιουργία υδατικής πίεσης στο επίχωμα.

Το οπλισμένο έδαφος τυπικά στηρίζεται από ένα μέτωπο το οποίο προλαμβάνει την αστοχία της όψης του πρανούς. Εξαρτώμενο από τον σχεδιασμό και τις αισθητικές συνθήκες, πολλά οπλισμένα πρανή έχουν μέτωπο με κλίση μικρότερη από 70° και ίσως έχουν ένα γεωσυνθετικό υλικό που επικαλύπτει το μέτωπο ώστε να εμποδίσει την αποσάθρωση και την κατολίσθηση. Οι οπλισμένοι τοίχοι από γη μπορούν απλά να θεωρηθούν σαν απότομα πρανή με μέτωπο μεταξύ 70° και 90°. Τα μέτωπα των οπλισμένων τοίχων γης μπορούν να καλύπτονται από γεωσυνθετικά (Σχήμα 1.2 α), τα οποία μπορεί και να υποστηρίζονται από πανέλα σκυροδέματος (Σχήμα 1.2 β) ή από ψηλά πλαίσια (Σχήμα 1.2 γ), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1. 2: Κοινά συστήματα οπλισμένων τοίχων με γεωσυνθετικά:(a)τυλιγμένα γύρω από το μέτωπο,(b)με τοξωτές ή βαθμιδωτές μάζες σκυροδέματος και (c)με ψηλά πλαίσια (Sarah B. Paulsen, 2002)

Τα οπλισμένα πρανή μπορούν να κατασκευαστούν γρήγορα και εύκολα, είναι εύκαμπτα και δεν απαιτούν μια άκαμπτη θεμελίωση, γεγονός που μειώνει το κατασκευαστικό κόστος. Ο οπλισμός ωστόσο, μπορεί να είναι ευαίσθητος στη διάβρωση, τον ερπυσμό και στην αλλοίωση με το πέρασμα του χρόνου, για αυτό πρέπει να υπολογιστούν επιπλέον συντελεστές ασφαλείας για πιθανή αλλοίωση του οπλισμού με το πέρασμα του χρόνου, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν το κόστος.

1.4.1. Γεωσυνθετικά

Τα οπλισμένα πρανή με γεωσυνθετικά καλούνται γεωσυνθετικά οπλισμένα πρανή. Ένα γεωσυνθετικό υλικό είναι ένα επίπεδο υλικό κατασκευασμένο από πολυμερή ή και άλλα υλικά. Τα γεωσυνθετικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαχωρισμό εδαφικών υλικών, για αποστράγγιση, για προστασία, για φιλτράρισμα, στεγάνωση και για οπλισμό. Τα γεωσυνθετικά υλικά χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες τα γεωφάσματα και τα γεωπλέγματα.

Η βασική χρήση του γεωσυνθετικού καθορίζει τον τύπο του γεωσυνθετικού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Ο κυρίαρχος ρόλος των γεωσυνθετικών στην παρούσα μελέτη αφορά τον οπλισμό του εδάφους (7).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

2.1. Εισαγωγή

Στο παρόν Κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των μεθόδων ανάλυσης ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων πρανών. Αρχικά, για τα άοπλα πρανή θα αναλυθεί η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Sarma και Tan και στη συνέχεια η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Sarma και Hoek. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν οι βασικές εξισώσεις της κάθε μεθόδου και οι αντίστοιχες μεθοδολογίες. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν τα κριτήρια αποδοχής των εξισώσεων βάσει των αντίστοιχων κινηματικών θεωρήσεων και των κριτηρίων αστοχίας που εφαρμόζονται στην κάθε περίπτωση. Έπειτα, παρουσιάζονται οι μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας οπλισμένων πρανών και η μεθοδολογία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών πάνω στην οποία στηρίζεται το λογισμικό σε γλώσσα Delphi που θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού.

Πέραν της παρουσίασης των μεθοδολογιών ανάλυσης, βασικός στόχος αυτού του Κεφαλαίου είναι να επισημανθούν οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων τόσο στον τρόπο εφαρμογής τους όσο και στις βασικές αρχές τους με στόχο τον συνδυασμό τους στη συνέχεια της διερεύνησης της παρούσας μελέτης. Σημειώνεται ότι δεν περιγράφονται αναλυτικά οι αποδείξεις των εξισώσεων για λόγους συντομίας και αυτές χρησιμοποιούνται κατευθείαν σε επόμενες ενότητες.

2.2. Μέθοδος Sarma και Tan

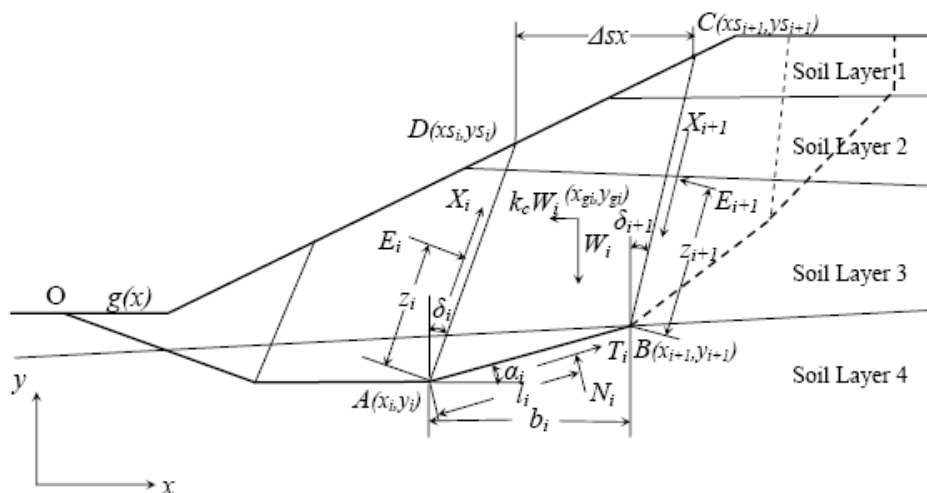
2.2.1. Εισαγωγή

Η μέθοδος των Sarma και Tan (10) προσδιορίζει την κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας και την κρίσιμη επιτάχυνση του πρανούς. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για ομογενή πρανή και στη συνέχεια εξελίχθηκε ώστε να εφαρμόζεται και για μη ομογενή πρανή και με την παρουσία νερού σε αυτά. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην τεχνική της Οριακής Ισορροπίας και έχουν προστεθεί ένα κριτήριο αποδοχής των τάσεων που προκύπτουν και ένα κινηματικό κριτήριο αποδοχής.

2.2.2. Βασικές αρχές της μεθόδου Sarma και Tan

Στη μέθοδο Sarma και Tan (10) η μορφή αστοχίας του πρανού δεν έχει κάποια προκαθορισμένη μορφή, όπως κυκλική, λογαριθμικής σπείρας ή σφηνών, αλλά το πρανές χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα ξεκινώντας από τα κατάντη και πηγαίνοντας προς τα ανάντη, δημιουργώντας μια πολυγωνική γραμμή, που είναι η πιθανή επιφάνεια αστοχίας. Το αρχικό σημείο της επιφάνειας αυτής ορίζεται κάθε φορά από το μελετητή και για κάθε τμήμα του πρανού καταστρώνεται ένα σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων, οι οποίες καθορίζουν την επιφάνεια αστοχίας και τα όρια του κάθε τμήματος μέσα στο πρανές, ικανοποιώντας την οριακή ισορροπία και τα κριτήρια αποδοχής που έχουν συμπεριληφθεί σε αυτές.

Εφόσον είναι γνωστή η γεωμετρία και η σύνθεση του πρανού, ορίζουμε ένα αρχικό σημείο O (Σχήμα 2.1) από όπου ξεκινάει η επιφάνεια ολίσθησης, ένα βήμα Δs_x και μια αρχική επιτάχυνση $k_c g$ ώστε να γίνουν οι αρχικοί υπολογισμοί. Η επιτάχυνση $k_c g$ που επιλέγεται, ορίζεται αρχικά ως κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση αφού οι δυνάμεις που ασκούνται στην επιφάνεια ολίσθησης βρίσκονται σε ισορροπία. Στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι δυνάμεις που ενεργούν σε ένα τμήμα του πρανού.



Σχήμα 2. 1: Γεωμετρία και δυνάμεις που δρουν σε ένα τυχαίο τμήμα του πρανούς (D.Tan,2006)

2.2.3. Γεωμετρικοί άγνωστοι

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται το τμήμα i του πρανού το οποίο ορίζεται από τις πλευρές AB, που είναι η πιθανή επιφάνεια αστοχίας, την πλευρά CD, που είναι τμήμα

της ελεύθερης επιφάνειας και τα εσωτερικά όρια AD και BC. Τα σημεία A και D είναι γνωστά από τον υπολογισμό του προηγούμενου τμήματος, το σημείο C υπολογίζεται με βάση το βήμα Δs_x και απομένει να υπολογιστεί το τελευταίο σημείο B. Οι δυο γεωμετρικοί άγνωστοί που είναι απαραίτητοι για να υπολογιστεί το σημείο B είναι η γωνία α_i , μεταξύ της επιφάνειας ολίσθησης και της οριζόντιας διεύθυνσης από το σημείο A και η γωνία δ_{i+1} , μεταξύ του εσωτερικού ορίου BC και της κατακόρυφης από το σημείο B. Γνωρίζοντας τις γωνίες αυτές το σημείο B προσδιορίζεται ως εξής:

Εάν $\delta_{i+1}=0$, τότε

$$x_{i+1} = x_{s_{i+1}} \quad (\text{Εξ. 2.1})$$

Εάν $\delta_{i+1} \neq 0$, τότε

$$x_{i+1} = \frac{\frac{-x_{s_{i+1}}}{\tan \delta_{i+1}} + x_i \tan \alpha_i + y_{s_{i+1}} - y_i}{\tan \alpha_i - \frac{1}{\tan \delta_i}} \quad (\text{Εξ. 2.2})$$

και

$$y_{i+1} = y_i + (x_{i+1} - x_i) \tan \alpha_i \quad (\text{Εξ. 2.3})$$

Όπου x , y , οι συντεταγμένες των σημείων της επιφάνειας ολίσθησης και x_s , y_s , οι συντεταγμένες των σημείων της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς.

2.2.4. Άγνωστες δυνάμεις

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο τμήμα i του Σχήματος 1 είναι:

- Το βάρος του τμήματος W_i
- Η οριζόντια συνιστώσα του βάρους $k_c W_{ios}$
- Η ορθή και διατμητική δύναμη E_i και X_i αντίστοιχα, που είναι γνωστές από τον υπολογισμό του προηγούμενου τμήματος
- Η ορθή και διατμητική δύναμη N_i και T_i αντίστοιχα, που δρουν στην επιφάνεια ολίσθησης και είναι άγνωστες

- Η ορθή και διατμητική δύναμη E_{i+1} και X_{i+1} , που δρουν στο εσωτερικό όριο BC και είναι άγνωστες

Πρέπει να υπολογίσουμε, λοιπόν, τέσσερις άγνωστες δυνάμεις. Υπό την επίδραση της κρίσιμης επιτάχυνσης $k_c g$, οι δυνάμεις που δρουν στην επιφάνεια ολίσθησης βρίσκονται σε οριακή ισορροπία και υπακούουν στο κριτήριο Mohr – Coulomb οπότε ισχύει:

$$T_i = N_i \tan \varphi_i + c_i L_i \quad (\text{Εξ. 2.4})$$

Επίσης, οι δυνάμεις που δρουν στα εσωτερικά όρια του τμήματος βρίσκονται σε οριακή ισορροπία και το κριτήριο Mohr-Coulomb μας δίνει:

$$X_i = E_{i+1} \tan \varphi_i + c_i d_{i+1} \quad (\text{Εξ. 2.5})$$

Ορίζοντας $\beta = \arctan(k_c)$ και με τη χρήση των εξισώσεων 2.4 και 2.5 προκύπτει από την ισορροπία του τμήματος:

$$\begin{aligned} E_{i+1} \sec \varphi_{i+1} \cos(\varphi_i - \alpha_i + \varphi_{i+1} - \delta_{i+1}) = & W_i \sec \beta \sin(\varphi_i - \alpha_i - \beta) + \\ E_i \sec \varphi_i \cos(\varphi_i - \alpha_i + \varphi_i - \delta_i) + c_i L_i \cos \varphi_i - c_i d_i \sin(\varphi_i - \alpha_i - \delta_i) + & \\ c_{i+1} d_{i+1} \sin(\varphi_i - \alpha_i - \delta_{i+1}) & \end{aligned} \quad (\text{Εξ. 2.6})$$

και

$$\begin{aligned} N_i \sec \varphi_i \cos(\varphi_i - \alpha_i + \varphi_{i+1} - \delta_{i+1}) = & W_i \sec \beta_i \cos(\varphi_{i+1} - \delta_{i+1} + \beta) + \\ E_i \sec \varphi_{i+1} \sin(\varphi_{i+1} - \delta_{i+1} + \varphi_i - \delta_i) + c_i L_i \sin(\varphi_{i+1} - \delta_{i+1} - \alpha_i) - & \\ c_i d_i \cos(\varphi_{i+1} - \delta_{i+1} + \delta_i) + c_{i+1} d_{i+1} \cos \varphi_{i+1} & \end{aligned} \quad (\text{Εξ. 2.7})$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις διαπιστώνουμε ότι γνωρίζοντας τις γωνίες α_{i+1} και δ_{i+1} μπορούμε να υπολογίσουμε και τις δυνάμεις που δρουν σε αυτό το τμήμα. Με την εφαρμογή των κριτηρίων αποδοχής συνθέτονται ακόμα δυο εξισώσεις που είναι απαραίτητες για τον προσδιορισμό όλων των αγνώστων του συστήματος εξισώσεων.

2.2.5. Κριτήρια αποδοχής

Τα κριτήρια αποδοχής που εμφανίζονται είναι δυο: το κινηματικό κριτήριο αποδοχής και το κριτήριο αποδοχής των τάσεων.

Σύμφωνα με το κινηματικό κριτήριο αποδοχής, η επιφάνεια ολίσθησης που θα σχηματιστεί θα πρέπει να είναι κοίλη προς τα πάνω ικανοποιώντας την εξίσωση:

$$\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3 \leq \dots \leq \alpha_i \leq \dots \leq \alpha_n \quad (\text{Εξ. 2.8})$$

Σύμφωνα με το κριτήριο αποδοχής των τάσεων, οι δυνάμεις που ενεργούν στα επιμέρους τμήματα του πρανού δεν μπορούν να υπερβαίνουν την αντοχή του εδάφους. Δηλαδή ο συντελεστής ασφαλείας πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τη μονάδα. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή επειδή υπάρχει οριακή ισορροπία μόνο στην κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και στα εσωτερικά τμήματα του εδάφους, όλα τα υπόλοιπα τμήματα μπορούν να βρίσκονται σε μια οποιαδήποτε κατάσταση πριν την αστοχία. Από αυτή την θεώρηση προκύπτουν άλλες δυο εξισώσεις οι οποίες είναι:

$$\begin{aligned} N_i + T_i \tan \varphi_i - \frac{1}{2} \gamma L_i^2 \sec \beta \sec \varphi_i \sin(\varphi_i - \alpha_i - \beta) \\ - \frac{\sigma_i L_i}{\cos(\delta_i + \alpha_i)} \sec \varphi_i \sec \varphi_{ii} \cos(\varphi_i + \varphi_{ii} - \alpha_i - \delta_i) \\ + c_{ii} \frac{L_i}{\cos(\delta_i + \alpha_i)} \sec \varphi_i \sin(\varphi_i - \alpha_i - \delta_i) - c_i L_i \tan(\alpha_i + \delta_i) = 0 \end{aligned} \quad (\text{Εξ. 2.9})$$

και

$$E_{i+1} + X_{i+1} \tan \varphi_{i+1} - c_{i+1} d_{i+1} \tan(\delta_{i+1} + \psi) - \frac{1}{2} \gamma d_{i+1}^2 \sec \beta \sec \varphi_{i+1} \cos(\varphi_{i+1} - \delta_{i+1} + \beta) = 0 \quad (\text{Εξ. 2.10})$$

2.2.6. Ανάλυση του πρώτου και των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανού

Το πρώτο και τα δυο τελευταία τμήματα παρουσιάζουν κάποιες ιδιαιτερότητες ως προς τη γεωμετρία και τις δυνάμεις που ασκούνται. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο τμήμα (Σχήμα 2.2) η πλευρά AC είναι η ελεύθερη επιφάνεια του πρανού και δεν ασκούνται δυνάμεις στην επιφάνεια αυτή. Έτσι οι εξισώσεις 2.9 και 2.10 διαφοροποιούνται ως εξής:

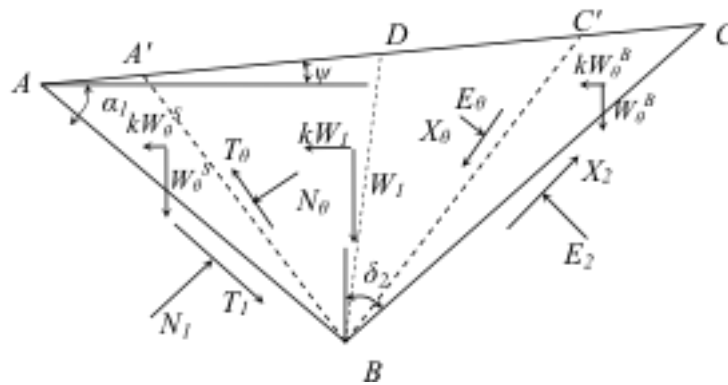
$$N_1 + T_1 \tan \varphi_1 - \frac{1}{2} \gamma L_1^2 \sec \beta \sec \varphi_1 \sin(\varphi_1 - \alpha_1 - \beta) - c_1 \frac{L_1}{\tan(\psi - \alpha_1)} = 0$$

(Εξ. 2.11)

και

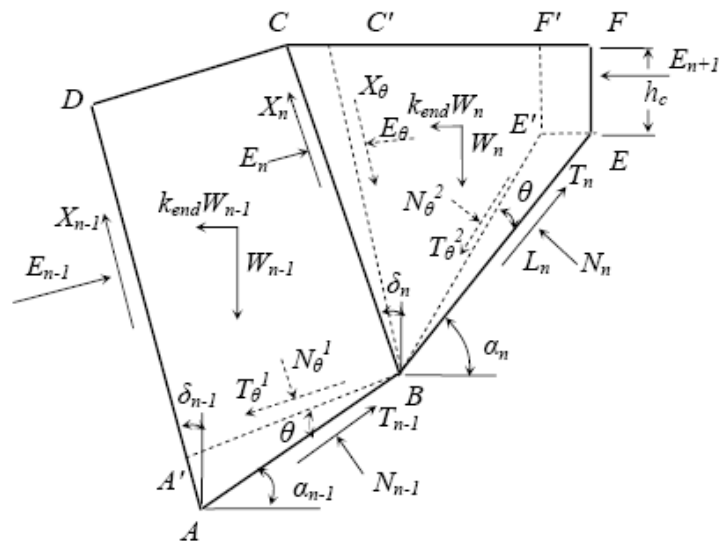
$$E_2 + X_2 \tan \varphi_2 - c_2 d_2 \tan(\delta_2 + \psi) - \frac{1}{2} \gamma d_2^2 \sec \beta \sec \varphi_2 \cos(\varphi_2 - \delta_2 + \beta) = 0$$

(Εξ. 2.12)



Σχήμα 2. 2: Γεωμετρία και δυνάμεις που δρουν στο πρώτο τμήμα του πρανούς (D.Tan,2006)

Επιλέγοντας ένα αρχικό σημείο O της επιφάνειας αστοχίας και δίνοντας μια οποιαδήποτε αρχική επιτάχυνση $k_c g$ υπάρχει περίπτωση να προκύψει μια μη κινηματικά αποδεκτή επιφάνεια ολίσθησης. Ειδικότερα αν επιλέξουμε μια μικρή επιτάχυνση $k_c g$, η επιφάνεια ολίσθησης δεν συγκλίνει στο φρύδι του πρανού ενώ αν επιλέξουμε μια μεγάλη επιτάχυνση $k_c g$, η επιφάνεια ολίσθησης θα τερματίζει μέσα στο πρανές και έτσι δεν θα είναι κρίσιμη επιτάχυνση. Για να βρεθεί λοιπόν η κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας η οποία θα είναι κινηματικά αποδεκτή, χρησιμοποιούνται τα δυο τελευταία τμήματα του πρανού. Θεωρείται ότι στο τελευταίο τμήμα υπάρχει μια εφελκυστική ρωγμή με ύψος h_c , όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2. 3: Γεωμετρία και δυνάμεις που δρουν στα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς (D.Tan,2006)

Προσδιορίζοντας τις γωνίες α_{n-1} , δ_n και α_n υπολογίζονται τα δυο τελευταία τμήματα της επιφάνειας αστοχίας. Οι συντεταγμένες του σημείου B υπολογίζονται από τις εξισώσεις 2.1, 2.2, 2.3 και για το σημείο E ισχύει:

$$x_{n+1} = x_n + \frac{(y_{n+1} - y_n)}{\tan\alpha_n} \quad (\text{Εξ. 2.13})$$

και

$$y_{n+1} = y_{s_{n+1}} - h_c \quad (\text{Εξ. 2.14})$$

Στο τμήμα (n-1) ισχύουν οι εξισώσεις που υπολογίζουν τις ορθές και διατμητικές δυνάμεις στο εσωτερικό όριο και της επιφάνεια ολίσθησης, αν αντικαταστήσουμε τον δείκτη i με n-1 και το β με β_{end} . Στο τελευταίο τμήμα n ασκείται μια συνισταμένη κάθετη δύναμη E_{n-1} που δρα στη ρωγμή EF και για να είναι αποδεκτή η κρίσιμη επιτάχυνση πρέπει $E_{n-1}=0$. Επομένως, στο τελευταίο τμήμα οι άγνωστες δυνάμεις είναι τρεις και όχι τέσσερις και ισχύει ότι:

$$N_n \sec\varphi_n \cos(\varphi_n - \alpha_n) = W_n \sec\beta_{end} \cos\beta_{end} + E_n \sec\varphi_n \sin(-\varphi_n + \delta_n) - c_n L_n \sin\alpha_n - c_n d_n \cos\delta_n \quad (\text{Εξ. 2.15})$$

$$T_n = N_n \tan \varphi_n + c_n L_n \quad (\text{Εξ. 2.16})$$

$$E_{n+1} \cos(\varphi_n - \alpha_n) =$$

$$W_n \sec \beta_{end} \sin(\varphi_n - \alpha_n - \beta_{end}) + E_n \sec \varphi_n \cos(\varphi_n - \alpha_n + \varphi_n - \delta_n) + c_n L_n \cos \varphi_n$$

$$- c_n d_n \sin(\varphi_n - \alpha_n - \delta_n)$$

(Εξ. 2.17)

Από το κριτήριο αποδοχής των τάσεων οι εξισώσεις που προκύπτουν είναι:

$$N_n + T_n \tan \varphi_n + \left(\frac{1}{2} \gamma L_n^2 + \frac{L_n}{\sin \alpha_n} h_c \right) \sec \beta_{end} \sec \varphi_n \sin(\varphi_n - \alpha_n - \beta_{end})$$

$$+ c_n \frac{L_n}{\tan \alpha_n} = 0$$

(Εξ. 2.18)

και

$$E_{n+1} = 0 \quad (\text{Εξ. 2.19})$$

Επιλύοντας το αντίστοιχο σύστημα, υπολογίζονται οι άγνωστοι για τα δυο τελευταία τμήματα του πρανού (15).

2.3. Μέθοδος Sarma – Hoek

Η μέθοδος Sarma – Hoek (1987) είναι μια γενική μέθοδος για την ανάλυση Οριακής Ισορροπίας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσδιορίσει την ευστάθεια πρανών διαφορετικής γεωμετρίας, στα οποία η επιφάνεια ολίσθησης μπορεί να είναι κυκλική, μη κυκλική, επίπεδη ή σύνθετη και επιπλέον αναλύονται και ενεργητικές και παθητικές αστοχίες σφηνών. Αυτή η ανάλυση επιτρέπει να καθορίζονται διαφορετικές διατμητικές δυνάμεις για κάθε πλευρά του τμήματος της βάσης. Η ελευθερία να αλλάζει η κλίση σε κάθε πλευρά του τμήματος επιτρέπει την ενσωμάτωση ειδικών δομικών χαρακτηριστικών όπως ρηγμάτων ή επιπέδων με την

ίδια κλίση, ενώ μπορούν να συμπεριληφθούν και εξωτερικές δυνάμεις για κάθε τμήμα.

Η γεωμετρία της ολισθαίνουσας μάζας προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες XT_i , YT_i , XB_i , YB_i , XT_{i+1} , YT_{i+1} και XB_{i+1} , YB_{i+1} των γωνιών ενός τρίπλευρου ή τετράπλευρου τμήματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Τα υπογεία ύδατα προσδιορίζονται από τις συντεταγμένες XW_i , YW_i και XW_{i+1} , YW_{i+1} της τομής τους με την πλευρά του τμήματος. Μια κλειστού τύπου λύση χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η κρίσιμη επιτάχυνση k_c που απαιτείται για να εισάγει μια κατάσταση οριακής ισορροπίας στην ολισθαίνουσα μάζα. Ο στατικός συντελεστής ασφαλείας F υπολογίζεται από τη μείωση των τιμών των διατμητικών δυνάμεων $\tan\phi$ και c σε $\tan\phi/F$ και c/F μέχρι η κρίσιμη επιτάχυνση να γίνει μηδέν.

Για να προσδιορίσουμε πότε η ανάλυση είναι αποδεκτή, γίνεται ένας έλεγχος για να εκτιμηθεί πότε όλες οι ενεργητικές τάσεις που επενεργούν στις βάσεις και στις πλευρές όλων των τμημάτων είναι θετικές. Αν βρεθούν αρνητικές τάσεις, η γεωμετρία του τμήματος ή η κατάσταση των υπογείων υδάτων πρέπει να αλλάξουν μέχρι όλες οι τάσεις να γίνουν θετικές.

2.3.1. Γεωμετρικοί υπολογισμοί

Η γεωμετρία του τμήματος i προσδιορίζεται στο Σχήμα 2.4. Βασική προϋπόθεση είναι ότι οι συντεταγμένες κατά x πρέπει πάντα να αυξάνονται από το πόδι του πρανούς και τα ZW_i , δ_i και d_i είναι διαθέσιμα από το προηγούμενο τμήμα. Οι εξισώσεις που ισχύουν για το τμήμα i είναι οι εξής:

$$d_{i+1} = [(XT_{i+1} - XB_{i+1})^2 + (YT_{i+1} - YB_{i+1})^2]^{1/2} \quad (\text{Εξ. 2.20})$$

$$\delta_{i+1} = \arcsin \left[\frac{XT_{i+1} - XB_{i+1}}{d_{i+1}} \right] \quad (\text{Εξ. 2.21})$$

$$b_i = XB_{i+1} - XB_i \quad (\text{Εξ. 2.22})$$

$$\alpha_i = \arctan \left[\frac{YB_{i+1} - YB_i}{b_i} \right] \quad (\text{Εξ. 2.23})$$

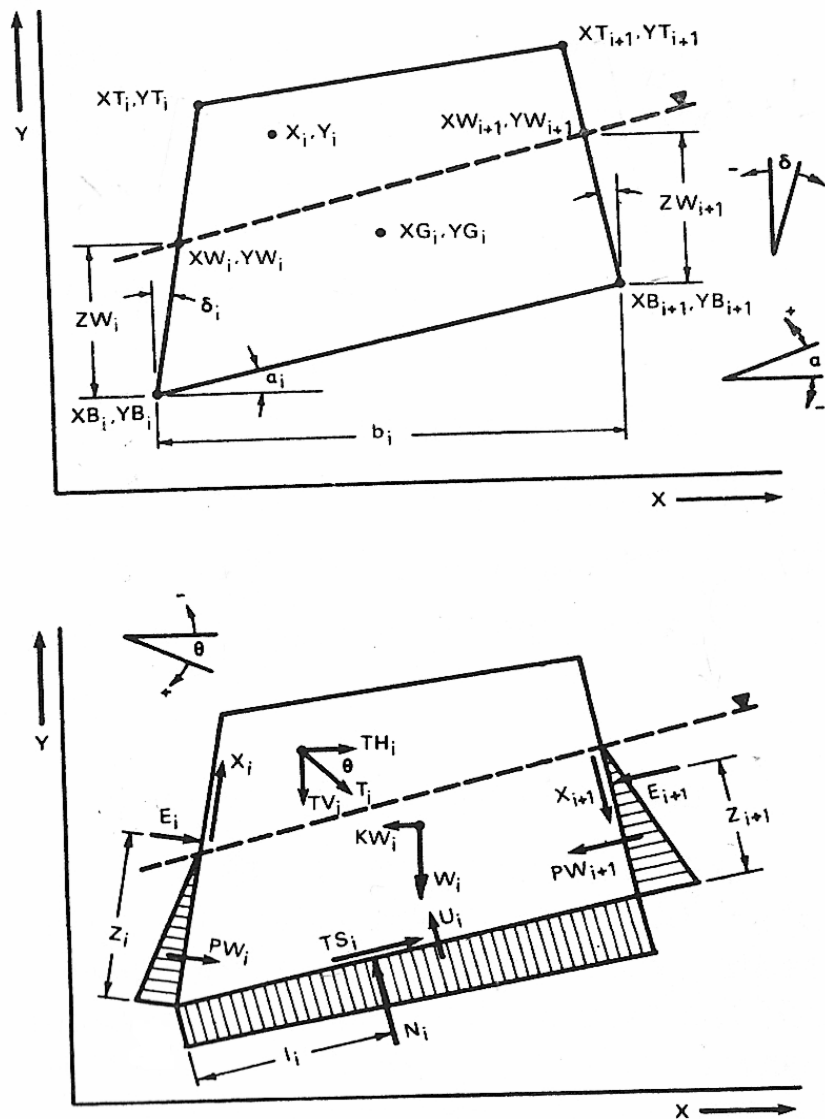
$$W_i = \frac{1}{2} \gamma_r |(YB_i - YT_{i+1})(XT_i - XB_{i+1}) + (YT_i - YB_{i+1})(XT_{i+1} - XB_i)|$$

(Εξ. 2.24)

$$ZW_{i+1} = (YW_{i+1} - YB_{i+1})$$

(Εξ. 2.25)

Όπου γ_r είναι το ειδικό βάρος του εδάφους και W_i το βάρος του τμήματος.



Σχήμα 2. 4: Γεωμετρία και δυνάμεις που δρουν στο τμήμα i (E.Hoek, 1987)

2.3.2. Υπολογισμός κρίσιμης επιτάχυνσης k_c

Η κρίσιμη επιτάχυνση που απαιτείται για να φέρει το πρανές σε μια κατάσταση οριακής ισορροπίας δίνεται από τον τύπο:

$$k_c = \frac{AE}{PE} \quad (\text{Εξ. 2.26})$$

όπου

$$AE = \alpha_n + \alpha_{n-1}e_n + \alpha_{n-2}e_n e_{n-1} + \dots + \alpha_1 e_n e_{n-1} \dots e_3 e_2 \quad (\text{Εξ. 2.27})$$

$$PE = p_n + p_{n-1}e_n + p_{n-2}e_n e_{n-1} + \dots + p_1 e_n e_{n-1} \dots e_3 e_2 \quad (\text{Εξ. 2.28})$$

$\alpha_i =$

$$Q_i [(W_i + TV_i) \sin(\varphi_{Bi} - \alpha_i) - TH_i \cos(\varphi_{Bi} - \alpha_i) + R_i \cos \varphi_{Bi} + S_{i+1} \sin(\varphi_{Bi} - \alpha_i - \delta_i - S_i \sin(\varphi_{Bi} - \alpha_i - \delta_i))] \quad (\text{Εξ. 2.29})$$

$$p_i = Q_i W_i \cos(\varphi_{Bi} - \alpha_i) \quad (\text{Εξ. 2.30})$$

$$e_i = Q_i \left[\frac{\cos(\varphi_{Bi} - \alpha_i + \varphi_{Si} - \delta_i)}{\cos \varphi_{Si}} \right] \quad (\text{Εξ. 2.31})$$

$$Q_i = \frac{\cos \varphi_{Si+1}}{\cos(\varphi_{Bi} - \alpha_i + \varphi_{Si+1} - \delta_{i+1})} \quad (\text{Εξ. 2.32})$$

$$S_i = c_{Si} d_i - PW_i \tan \varphi_{Si} \quad (\text{Εξ. 2.33})$$

$$S_{i+1} = c_{Si+1} d_{i+1} - PW_{i+1} \tan \varphi_{Si+1} \quad (\text{Εξ. 2.34})$$

$$R_i = \frac{c_{Bi} b_i}{\cos \alpha_i} - U \tan \varphi_{Bi} \quad (\text{Εξ. 2.35})$$

2.3.3. Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας F

Στα πρανή όταν η κρίσιμη επιτάχυνση δεν είναι ίση με το μηδέν, ο στατικός συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται από τη μείωση της διατμητικής αντοχής ταυτόχρονα σε όλες τις επιφάνειες ολίσθησης μέχρι η κρίσιμη επιτάχυνση k_c , υπολογιζόμενη από την εξίσωση 2.26, να μειωθεί και να γίνει μηδέν. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση των ακολούθων τιμών των διατμητικών τάσεων στις εξισώσεις 2.29 έως 2.35:

$$c_{Bi}/F, \tan\varphi_{Bi}/F, c_{Si}/F, \tan\varphi_{Si}/F, c_{Si+1}/F \text{ και } \tan\varphi_{Si+1}/F$$

2.3.4. Έλεγχος αποδοχής της λύσης

Έχοντας προσδιορίσει την τιμή της κρίσιμης επιτάχυνσης k_c για ένα συγκεκριμένο συντελεστή ασφαλείας, οι δυνάμεις που ασκούνται στις πλευρές και στη βάση κάθε τμήματος υπολογίζονται από τη διαδοχική λύση των παρακάτω εξισώσεων, κάνοντας την παραδοχή ότι $E_1=0$.

$$E_{i+1} = \alpha_i - p_i k_c + E_i e_i \quad (\text{Εξ. 2.36})$$

$$X_i = (E_i - PW_i) \tan\varphi_{Si} + c_{Si} d_i \quad (\text{Εξ. 2.37})$$

$$N_i =$$

$$(W_i + TV_i + X_{i+1} \cos\delta_{i+1} + X_i \cos\delta_i - E_{i+1} \sin\delta_{i+1} + E_i \sin\delta_i + U_i \tan\varphi_{Bi} \sin\alpha_i - c_{Bi} \tan\alpha_i / \cos^2(\varphi_{Bi} - \alpha_i)) \quad (\text{Εξ. 2.38})$$

$$TS_i = \frac{(N_i - U_i) \tan\varphi_{Bi} + c_{Bi} b_i}{\cos\alpha_i} \quad (\text{Εξ. 2.39})$$

Οι ενεργητικές τάσεις που δρουν κατά μήκος της βάσης και των πλευρών των τμημάτων υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\sigma'_{Bi} = (N_i - U_i) \cos\alpha_i / b_i \quad (\text{Εξ. 2.40})$$

$$\sigma'_{Si} = (E_i - PW_i) / d_i \quad (\text{Εξ. 2.41})$$

$$\sigma'_{Si+1} = (E_{i+1} - PW_{i+1}) / d_{i+1} \quad (\text{Εξ. 2.42})$$

Για να είναι η λύση αποδεκτή πρέπει όλες οι ενεργητικές τάσεις να είναι θετικές.

Τέλος, γίνεται ένας έλεγχος για να προσδιοριστεί πότε η κατάσταση ισορροπίας ροπών είναι ικανοποιητική για κάθε τμήμα, όπου σύμφωνα με το Σχήμα 2.4 παίρνοντας ροπές στην κάτω αριστερή γωνία του τμήματος έχουμε:

$$N_i l_i - \frac{X_{i+1} \cos(\alpha_i + \delta_i)}{\cos \alpha_i} - E_i Z_i + E_{i+1} \left[Z_{i+1} + \frac{b_i \sin(\alpha_i + \delta_{i+1})}{\cos \alpha_i} \right] - W_i (X_{G_i} - X_{B_i}) + k_c W_i (Y_{G_i} - Y_{B_i}) - T V_i (X_i - X_{G_i}) + T H_i (Y_i - Y_{G_i}) = 0$$

(Εξ. 2.43)

Όπου X_{G_i} , Y_{G_i} είναι οι συντεταγμένες του κέντρου βαρύτητας του τμήματος και X_i , Y_i είναι οι συντεταγμένες του σημείου όπου επενεργεί η δύναμη T_i . Ξεκινώντας από το πρώτο τμήμα στο πόδι του πρανούς, όπου $Z_i=0$ και θεωρώντας μια τιμή l_i , μπορούμε να υπολογίσουμε την ροπή του βραχίονα Z_{i+1} ή και αντίστροφα. Οι τιμές των Z_i και Z_{i+1} πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων του τμήματος και κατά προτίμηση στο δεύτερο τρίτο.

2.3.5. Προβλήματα με τις παθητικές ωθήσεις (τάσεις)

Οι ενεργητικές ωθήσεις (τάσεις) κατά μήκος των πλευρών και της βάσης του κάθε τμήματος υπολογίζονται από τις εξισώσεις 2.40 έως 2.42 και για να είναι αποδεκτές πρέπει να είναι όλες θετικές.

Αρνητικές τάσεις μπορούν να εμφανιστούν στην κορυφή του πρανούς όταν το χαμηλότερο τμήμα του πρανούς είναι λιγότερο σταθερό και το επόμενο τείνει να κυλίσει μακριά από το ανώτερο τμήμα του πρανούς. Αυτή είναι η κατάσταση που οδηγεί στο σχηματισμό εφελκυστικών ρωγμών στα πραγματικά πρανή και οι αρνητικές τάσεις στις αριθμητικές λύσεις μπορούν γενικά να εξαλειφθούν τοποθετώντας μια εφελκυστική ρωγμή σε μια κατάλληλη θέση στο πρανές.

Οι αρνητικές τάσεις στο πόδι του πρανούς μερικές φορές προκαλούνται από ένα εξαιρετικά ισχυρό πόδι. Αυτό συμβαίνει όταν η κοίλη επιφάνεια σε μια πολύ βαθιά επιφάνεια αστοχίας γίνεται πολύ δυσμενής στην περιοχή του ποδιού. Ομαλοποιώντας την καμπύλη ή μειώνοντας την διατμητική αντοχή στη βάση μπορεί γενικά να λυθεί το πρόβλημα.

Μεγάλες πιέσεις νερού μέσα στο πρανές μπορούν να αυξήσουν τις αρνητικές τάσεις, ιδιαίτερα κοντά στην κορυφή του πρανούς όπου οι τάσεις είναι χαμηλές. Μειώνοντας το επίπεδο των υπογείων υδάτων στην περιοχή που υπάρχουν αρνητικές τάσεις θα εξαλειφθούν αυτές οι αρνητικές τάσεις.

Η ακατάλληλη επιλογή της γεωμετρίας του πρανούς, ιδιαίτερα της κλίσης των πλευρών κάθε τμήματος, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αρνητικών τάσεων. Αυτή είναι μια σημαντική θεώρηση στη βραχομηχανική όπου προϋπάρχουσες επιφάνειες αστοχίας, όπως διακλάσεις και ρήγματα, περιλαμβάνονται στην ανάλυση. Αν υπάρχει μια πιθανή λύση αστοχίας με μια χαμηλότερη διατμητική αντοχή από την προϋπάρχουσα επιφάνεια στην ολισθαίνουσα μάζα, τότε θα εμφανιστούν αρνητικές τάσεις στην προϋπάρχουσα επιφάνεια η οποία θα έχει επιλεγθεί σαν μια πλευρά του τμήματος. Ο Sarma απέδειξε ότι οι πιο κρίσιμες κλίσεις στην πλευρά του τμήματος είναι περίπου κανονικές στην βασική επιφάνεια αστοχίας. Στην περίπτωση κυκλικής αστοχίας σε ομογενές έδαφος, αυτές οι πλευρές είναι περίπου ακτινωτές στο κέντρο της καμπύλης της επιφάνειας αστοχίας.

Μια τραχεία ή μη κανονική επιφάνεια αστοχίας μπορεί επίσης να αναπτύξει αρνητικές τάσεις αν ένα τμήμα της ολισθαίνουσας μάζας είναι σημαντικά πιο σταθερό από ένα παρακείμενο τμήμα.

2.3.6. Ενσωμάτωση μη γραμμικών κριτηρίων αστοχίας

Εφόσον η μέθοδος Sarma υπολογίζει τις ενεργητικές τάσεις σε κάθε πλευρά και βάση του τμήματος, αυτές οι τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί η στιγμιαία συνοχή και η γωνία τριβής που υπάρχει σε αυτές τις επιφάνειες. Μια επαναληπτική τεχνική χρησιμοποιείται για να αλλάξει τις τιμές των διατμητικών αντοχών μέχρι η διαφορά μεταξύ των συντελεστών ασφαλείας που υπολογίζεται από διαδοχικές επαναλήψεις να είναι αποδεκτά μικρή. Τρεις ή τέσσερις επαναλήψεις είναι συνήθως αρκετές για να δώσουν μια αποδεκτή λύση. Επιπλέον, μη γραμμικές αναλύσεις γενικά γίνονται μόνο για περίπλοκα προβλήματα και μόνο μετά από μια προσεκτική μελέτη γραμμικών κριτηρίων αστοχίας.

2.3.7. Προτεινόμενα βήματα για την πραγματοποίηση μιας ανάλυσης

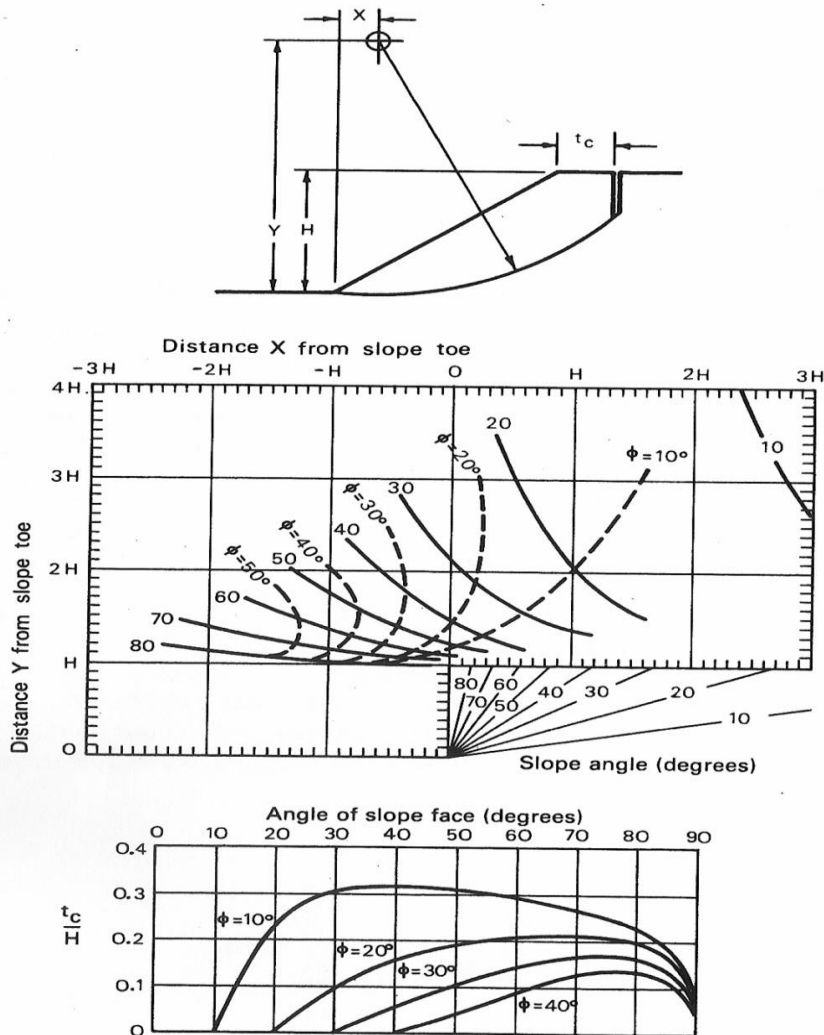
Όταν εφαρμοστεί αυτή η ανάλυση για την επίλυση ενός πραγματικού πρανού, υπάρχει κίνδυνος να σπαταληθεί πολύς χρόνος αν γίνει μια πολύ λεπτομερής ανάλυση. Το πρώτο βήμα σε κάθε ανάλυση συνεπάγεται τον προσδιορισμό της πιο κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης. Εκτός από την περίπτωση που αυτή η επιφάνεια έχει ξεκάθαρα προσδιοριστεί εκ των προτέρων λόγω κάποιου υπάρχοντος γεωλογικά αδύναμου επιπέδου ή μιας παρατηρημένης επιφάνειας αστοχίας, είναι απαραίτητο να διεξαχθεί κάποια έρευνα για την κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας. Μια καλή αρχή για μια τέτοια έρευνα είναι ένα σύνολο διαγραμμμάτων, σαν αυτά που προέκυψαν από τους Hoek και Bray (1979) και παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.5 και 2.6. Αυτά δίνουν μια αρχική εκτίμηση της θέσης του κέντρου της περιστροφής ενός κρίσιμου κύκλου και της θέσης μιας εφελκυστικής ρωγμής σε ένα ομογενές πρανές.

Στηριζόμενοι σε κάποια εκτίμηση ή σε μια τεκμηριωμένη υπόθεση για την περιοχή που βρίσκεται η κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας, η ολισθαίνουσα μάζα χωρίζεται σε τμήματα, χρησιμοποιώντας τον μικρότερο πιθανό αριθμό τμημάτων για να προσεγγίσουμε τη γεωμετρία. Συνήθως τρία ή τέσσερα τμήματα αρκούν σε αυτό το στάδιο, εκτός αν απαιτείται να γίνει μια πολύ γενική ανάλυση για να ελέγξουμε την κρίσιμη γεωμετρία αστοχίας.

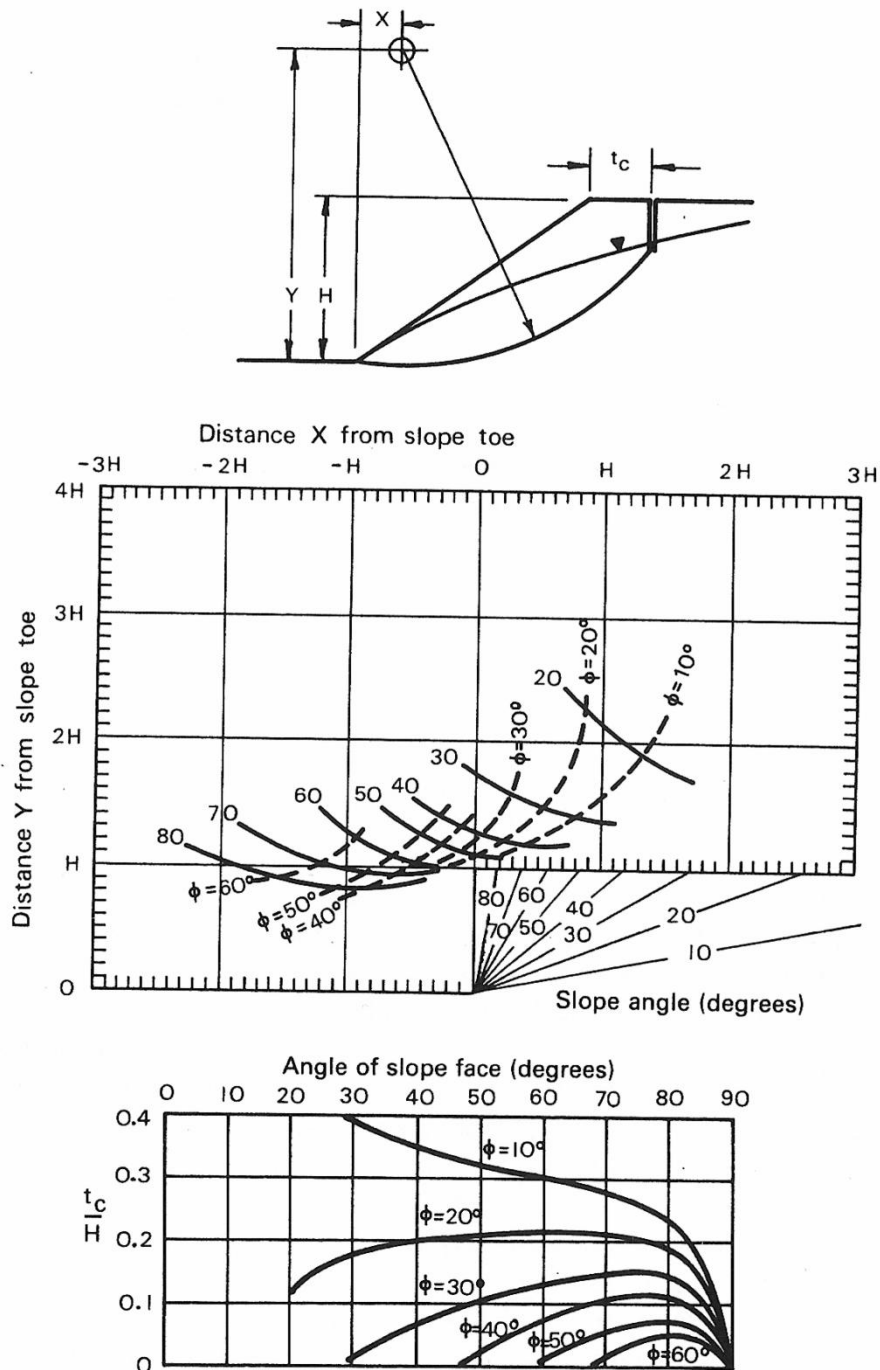
Πρέπει να γίνει ένας μεγάλος αριθμός δοκιμαστικών αναλύσεων με διαφορετικές θέσεις επιφάνειας αστοχίας. Θα βρεθεί ένα σύνολο κρίσιμων καταστάσεων και έτσι θα κατασκευαστεί ένα πιο αποτελεσματικό μοντέλο. Εκτός αν η γεωμετρία του πρανού είναι εξαιρετικά περίπλοκη, πέντε έως δέκα τμήματα θα βρεθούν ώστε να δώσουν ένα αποδεκτό επίπεδο ακρίβειας για αυτή την ικανοποιητική ανάλυση.

Ο Sarma προτείνει ότι η βέλτιστη κλίμακα των πλευρών του τμήματος πρέπει να προσδιοριστεί από τη διαφοροποίηση της κλίμακας της πλευράς κάθε τμήματος κρατώντας τις άλλες σταθερές. Η βέλτιστη κλίση της πλευράς κάθε τμήματος είναι αυτή που δίνει τον μέγιστο συντελεστή ασφαλείας για ολόκληρο το πρανές. Σε σχετικά απλά πρανή στα οποία το εύρος των διατμητικών αντοχών είναι περιορισμένο, ο συντελεστής ασφαλείας είναι σχετικά ανεξάρτητος από την κλίση της πλευράς του τμήματος και σε αυτές τις περιπτώσεις είναι γενικά αποδεκτό να

θέσουμε την κλίση της πλευράς του τμήματος ανάλογα με την επιφάνεια αστοχίας (4).



Σχήμα 2. 5: Προσεγγιστικές θέσεις του κέντρου της καμπύλης μιας κυκλικής επιφάνειας αστοχίας και η εφελκυστική ρωγή σε ένα ομογενές πρανές με την παρουσία υπόγειων υδάτων (Hoek & Bray , 1979)



Σχήμα 2. 6: Προσεγγιστικές θέσεις του κέντρου της καμπύλης μιας κυκλικής επιφάνειας αστοχίας και η εφαλκυστική ρωγμή σε ένα ομογενές πρανές χωρίς την παρουσία υπόγειων υδάτων (Hoek & Bray, 1979)

2.4. Μέθοδοι ανάλυσης οπλισμένων πρανών

Η ευστάθεια των οπλισμένων πρανών εξαρτάται από τα μηχανικά και γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και από τη στατική και σεισμική φόρτιση στην οποία υπόκεινται. Πρανή μικρού ύψους και ήπιας κλίσης απαιτούν όπλιση με σχετικά μικρή εφελκυστική αντοχή και μήκος, ενώ πρανή μεγάλου ύψους και απότομης κλίσης είναι τρωτά σε σεισμό με αποτέλεσμα να απαιτείται οπλισμός μεγάλης αντοχής και μήκους. Ένα ακόμα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι η διάβρωση της επιφάνειας των πρανών με μεγάλο ύψος και απότομη κλίση, εξαιτίας της ροής του νερού στη επιφάνειά τους με μεγάλη ταχύτητα.

Τα παραπάνω προβλήματα περιορίζονται σημαντικά από την κατασκευή οπλισμένων πρανών σε αναβαθμούς. Η απαιτούμενη ποσότητα του οπλισμού είναι μικρότερη, αφού η φόρτιση από το ίδιο βάρος του εδάφους και η αδρανειακή δύναμη λόγω σεισμού είναι μειωμένες. Επίσης, είναι δυνατόν να επιλέγονται διαφορετικές κλίσεις για κάθε ένα αναβαθμό και σε συνδυασμό με την οριζόντια απόσταση μεταξύ τους, είναι δυνατή η βελτίωση της αντοχής τους από άποψη αντοχή, ενώ παράλληλα μπορεί να βελτιωθεί η διάβρωση από τη ροή του νερού καθώς αυτό συγκεντρώνεται και απορρέει τμηματικά.

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται προκειμένου να προσδιοριστεί η συμπεριφορά και η ευστάθεια των οπλισμένων πρανών που υπόκεινται σε στατική και σεισμική φόρτιση είναι η Μέθοδος Οριακής Ισορροπίας, η Μέθοδος Οριακής Ανάλυσης και η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων.

Η Μέθοδος Οριακής Ισορροπίας θεωρεί πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας διαφόρων απλών μορφών, όπως επίπεδης μορφής, κυκλικής και λογαριθμικής σπείρας (13). Με τη θεώρηση αυτή μπορεί να περιοριστεί το πρόβλημα διερεύνησης της ευστάθειας στο να βρεθεί η πιο κρίσιμη μορφή αστοχίας. Συγκεκριμένα, για κάθε μορφή αστοχίας, μπορεί να διατυπωθεί μια συνολική εξίσωση με όρους τάσεων και να λυθεί με στατική επίλυση.

Η Μέθοδος Οριακής Ανάλυσης θεωρεί ότι η σχέση των τάσεων – παραμορφώσεων του εδάφους εκφράζεται από μια ιδανική σχέση, η οποία προκύπτει από το κριτήριο αστοχίας το οποίο και θεμελιώνει τα αντίστοιχα οριακά θεωρήματα. Τα οριακά

θεωρήματα των Drucker & Prager (1952), μπορούν να εφαρμοστούν, ώστε να προκύψουν κατώτερα και ανώτερα όρια του φορτίου αστοχίας σε προβλήματα ευστάθειας. Σημειώνεται ότι για τους ίδιους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας τα αποτελέσματα της Μεθόδου Οριακής Ισορροπίας και της Μεθόδου Οριακής Ανάλυσης είναι παρόμοια.

Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων παρέχει πολλές δυνατότητες όπως η πραγματοποίηση ανάλυσης τάσεων – παραμορφώσεων. Επιπλέον, μπορεί να ληφθεί υπόψη η προσομοίωση της διεπιφάνειας εδάφους - οπλισμού καθώς και να προσδιοριστούν πιο αναλυτικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά της εδαφικής κατασκευής. Παρόλα αυτά η εφαρμογή μιας αναλυτικής λύσης επιτρέπει την πληρέστερη κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς της κατασκευής, απαιτεί συχνά μικρότερο υπολογιστικό κόστος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα γρήγορο εργαλείο για τον σχεδιασμό των εδαφικών κατασκευών.

Η μέθοδος ανάλυσης που εφαρμόζεται για την ανάπτυξη του λογισμικού σε γλώσσα Delphi που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία βασίζεται στο Κινηματικό Θεώρημα Οριακής Ανάλυσης και στην Απλοποιημένη Φασματική Ανάλυση.

Το Κινηματικό Θεώρημα Οριακής Ανάλυσης βασίζεται στο θεώρημα του «άνω ορίου» (upper bound theorem) και δηλώνει ότι «το πρανές θα καταρρεύσει αν ο ρυθμός του έργου που παράγεται από τις εξωτερικές φορτίσεις και το ίδιο βάρος του, υπερβεί το ρυθμό κατανάλωσης της ενέργειας, για κάθε ένα κινηματικά αποδεκτό μηχανισμό αστοχίας» (2):

$$\int_V \sigma_{ij}^* \epsilon_{ij}^* dV \geq \int_S T_i v_i dS + \int_V X_i v_i^* dV, \quad j=1,2,3 \quad (\text{Εξ. 2.50})$$

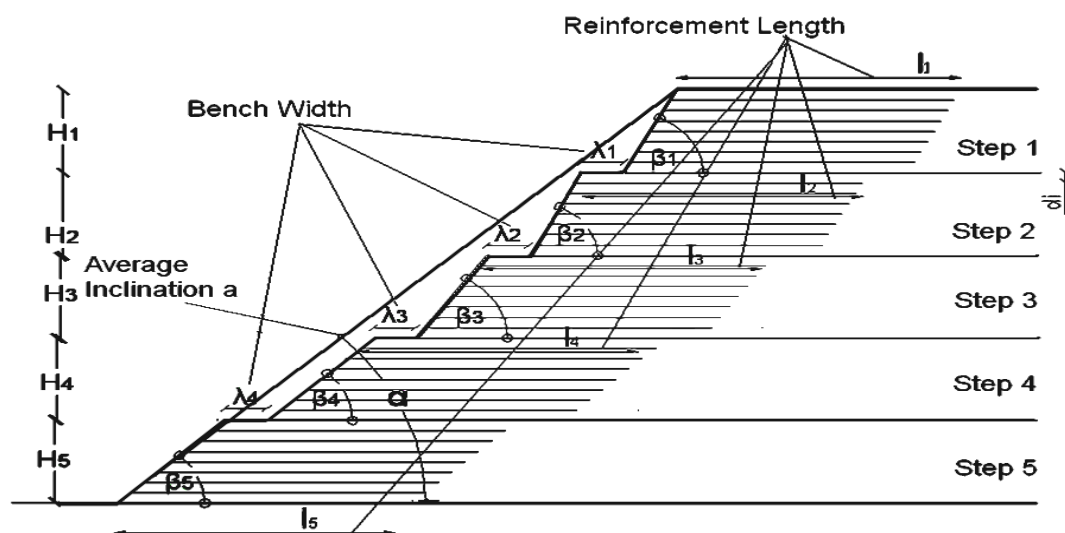
όπου, ϵ_{ij}^* ο ρυθμός παραμόρφωσης σε κάθε κινηματικά αποδεκτό πεδίο ταχυτήτων, σ_{ij}^* η αντίστοιχη συνιστώσα των τάσεων, ταχύτητα $v_i^* = v_i$ σε όριο S , X_i το διάνυσμα των δυνάμεων (ίδιο βάρος και αδρανειακή δύναμη λόγω σεισμού) και τέλος V ο όγκος.

Τέλος, σύμφωνα με την Απλοποιημένη Φασματική Ανάλυση, η επιρροή της σεισμικής φόρτισης στην εδαφική μάζα εκφράζεται από μία στατική δύναμη με

οριζόντια κατεύθυνση. Αυτή η δύναμη υπολογίζεται από το γινόμενο του συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης και του βάρους της ολισθαίνουσας μάζας. Η εκτίμηση της αναμενόμενης σεισμικής επιτάχυνσης προκύπτει από τη χρήση διαφόρων σχέσεων με βάση τα σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής.

2.5.1. Μεθοδολογία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών με απλή και σύνθετη γεωμετρία

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών, βασίζεται σε αναλυτική λύση που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της Διδακτορικής Διατριβής της Υποψήφιας Διδάκτορα Καπόγιαννη, Ε. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία με την οποία αναπτύχθηκε το λογισμικό σε γλώσσα Delphi (13), τα οπλισμένα πρανή με μεγάλο ύψος και απότομη κλίση, χωρίζονται σε περισσότερα πρανή (αναβαθμούς) με μικρότερο ύψος και μεταβαλλόμενη κλίση όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9. Η εφελκυστική αντοχή και το μήκος του οπλισμού μπορεί να είναι διαφορετικά για τον κάθε ένα αναβαθμό, ενώ όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο Σχήμα 2.9, υπάρχει οριζόντια απόσταση μεταξύ τους, η οποία ορίζεται ανάλογα με τις ανάγκες της κατασκευής.



Σχήμα 2. 7: Πολύοροφο οπλισμένο πρανές (Ε. Καπόγιαννη, 2008)

Προκειμένου να υπολογισθεί η συνολική ποσότητα του οπλισμού που απαιτείται για να αποφευχθεί η αστοχία, εξετάζονται διάφοροι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας και οι πιο κρίσιμοι από αυτούς χρησιμοποιούνται για την τελική διαστασιολόγηση. Ο

μηχανισμός αστοχίας που παρουσιάζεται εδώ είναι ο μηχανισμός επίπεδης αστοχίας (plane failure mechanism).

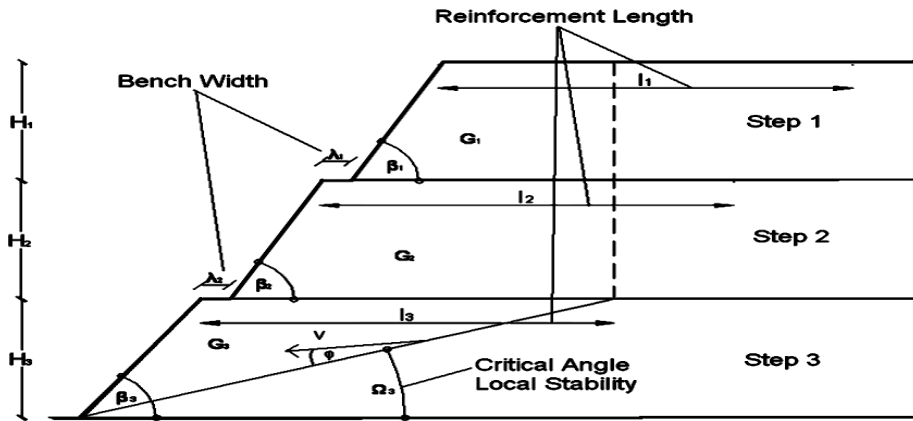
Στο μηχανισμό επίπεδης αστοχίας, θεωρείται ότι η οπλισμένη εδαφική μάζα μετακινείται ως ένα άκαμπτο σώμα με ταχύτητα V (Σχήμα 2.10). Ο μηχανισμός αυτός ορίζεται γεωμετρικά από το ύψος H του πρανούς και τη γωνία Ω που σχηματίζει το επίπεδο αστοχίας με το οριζόντιο επίπεδο (Σχήματα 2.11, 2.12). Βασικός στόχος είναι να προσδιοριστεί η κρίσιμη τιμή της γωνίας Ω δηλαδή ο κρίσιμος μηχανισμός αστοχίας και έπειτα, με βάση το μηχανισμό αυτό, η ποσότητα της απαιτούμενης όπλισης.

Για τα οπλισμένα πρανά με αναβαθμούς, ο μηχανισμός επίπεδης αστοχίας εφαρμόζεται δύο φορές. Αρχικά, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η εφελκυστική αντοχή και το μήκος του οπλισμού επαρκούν έναντι τοπικής ευστάθειας για τον κάθε ένα αναβαθμό ξεχωριστά (Σχήμα 2.11) και στη συνέχεια έναντι ολικής ευστάθειας για ολόκληρο το πρανές (Σχήμα 2.12). Είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν και οι δύο μορφές του μηχανισμού, καθώς ο έλεγχος έναντι τοπικής ευστάθειας δίνει κρισιμότερα αποτελέσματα για τους ανώτερους αναβαθμούς, ενώ ο έλεγχος έναντι ολικής ευστάθειας είναι κρισιμότερος για τους κατώτερους αναβαθμούς.

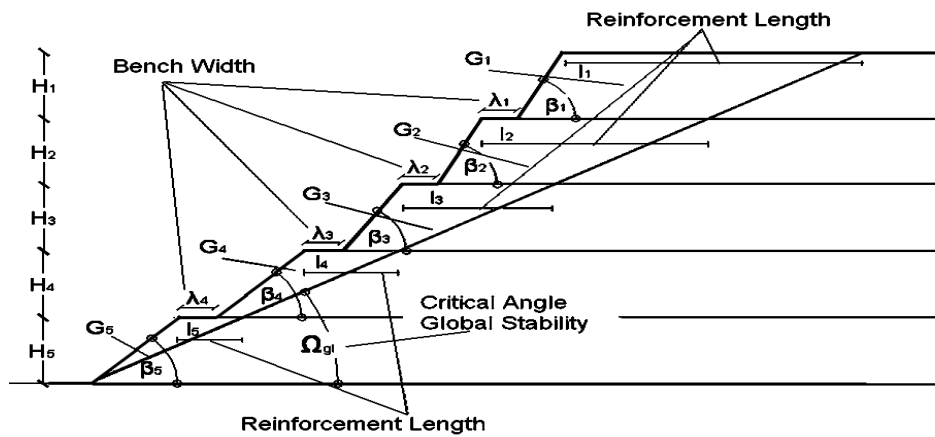
Πιο αναλυτικά, ο ρυθμός παραγωγής εξωτερικού έργου (λόγω ίδιου βάρους του πρανούς και αδρανειακής δύναμης λόγω σεισμού), δίνεται από την εξίσωση:

$$W = (G_1 + G_2 + \dots + G_i) \cdot V \cdot \sin(\Omega - \varphi) + k_h \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_i) \cdot V \cdot \cos(\Omega - \varphi) \quad (\text{Εξ. 2.51})$$

όπου G_1, G_2, \dots, G_i , το βάρος της εδαφικής μάζας για το κάθε ένα πρανές ξεχωριστά με διαφορετικές εκφράσεις για τον έλεγχο έναντι τοπικής ευστάθειας και για τον έλεγχο ολικής ευστάθειας και k_h , η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση ανηγμένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας.



Σχήμα 2. 8: Έλεγχος έναντι τοπικής ευστάθειας (αναβαθμός 3) (Ε.Καπόγιαννη, 2008)



Σχήμα 2. 9: Έλεγχος έναντι ολικής ευστάθειας (Ε.Καπόγιαννη, 2008)

Σύμφωνα με τους Ausilio et al. (2000), η κατανάλωση της ενέργειας υπολογίζεται ως εξής:

$$D = V \cdot \cos(\Omega - \varphi) \sum_{i=1}^n T_i \quad (\text{Εξ. 2.52})$$

Επίσης, σύμφωνα με τους Ling et al. (1997), η εφελκυστική αντοχή T_i , μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την ακόλουθη Εξίσωση :

$$T_i = K \cdot \gamma \cdot z_i \cdot d_i \quad (\text{Εξ. 2.53})$$

όπου K η συνολική ποσότητα του οπλισμού σε κανονικοποιημένη μορφή, με την ακόλουθη έκφραση:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \gamma \cdot H^2}$$

(Εξ. 2.54)

Αντικαθιστώντας τις Εξισώσεις 2.53 και 2.54 στην Εξίσωση 2.52, προκύπτει η ακόλουθη έκφραση για τον υπολογισμό του ρυθμού κατανάλωσης ενέργειας:

$$D = \frac{1}{2} \cdot V \cdot \cos(\Omega - \varphi) \cdot K \cdot \gamma \cdot H^2$$

(Εξ. 2.55)

Εξισώνοντας τον ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας με τον ρυθμό παραγωγής ενέργειας, υπολογίζεται η συνολική ποσότητα του οπλισμού σε κανονικοποιημένη μορφή K για τοπική και ολική ευστάθεια.

I. Τοπική ευστάθεια:

Για κάθε αναβαθμό i, υπολογίζεται ξεχωριστά η συνολική ποσότητα του οπλισμού σε κανονικοποιημένη μορφή K, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$K_i = \frac{2 \cdot (G_1 + \dots + G_i) \cdot \tan(\Omega_i - \varphi_i) + 2 \cdot k_h \cdot (G_1 + \dots + G_i)}{\gamma_i \cdot H_i^2}$$

(Εξ. 2.56)

Η συμμετοχή των υπερκείμενων αναβαθμών στον μηχανισμό τοπικής ευστάθειας, σχετίζεται με τη γεωμετρία της κατασκευής (κλίση αναβαθμών και απόσταση λ) και η μάζα τους έχει διαφορετική έκφραση για κάθε περίπτωση (Σχήμα 4). Οι εξισώσεις υπολογισμού της μάζας των αναβαθμών που συμμετέχουν στο μηχανισμό τοπικής ευστάθειας είναι υπό δημοσίευση και δεν αναφέρονται στην παρούσα εργασία για λόγους συντομίας. Ενδεικτικά για τους αναβαθμούς: 1 και 5, εφαρμόζονται οι παρακάτω εξισώσεις:

Αναβαθμός 1:

$$G_1 = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \gamma_1 \cdot H^2 \cdot \sin(\beta_1 - \Omega_1)}{\sin(\Omega_1) \cdot \sin(\beta_1)}$$

(Εξ. 2.57)

Αναβαθμός 5:

$$G_1 = \left[2 \cdot \left(l_5 - \lambda_4 - \lambda_3 - \lambda_2 - \frac{H_4}{\tan(\beta_4)} - \frac{H_3}{\tan(\beta_3)} - \frac{H_2}{\tan(\beta_2)} \right) - \frac{H_1}{\tan\beta_1} \right] \cdot \gamma_1 \cdot \frac{H_1}{2}$$

(Εξ. 2.58)

$$G_2 = \left[2 \cdot \left(l_5 - \lambda_4 - \lambda_3 - \lambda_2 - \frac{H_4}{\tan(\beta_4)} - \frac{H_3}{\tan(\beta_3)} \right) - \frac{H_2}{\tan(\beta_2)} \right] \cdot \gamma_2 \cdot \frac{H_2}{2}$$

(Εξ. 2.59)

$$G_3 = \left[2 \cdot \left(l_5 - \lambda_4 - \lambda_3 - \frac{H_4}{\tan(\beta_4)} \right) - \frac{H_3}{\tan(\beta_3)} \right] \cdot \gamma_3 \cdot \frac{H_3}{2}$$

(Εξ. 2.60)

$$G_4 = \left[2 \cdot (l_5 - \lambda_4) - \frac{H_4}{\tan(\beta_4)} \right] \cdot \gamma_4 \cdot \frac{H_4}{2}$$

(Εξ. 2.61)

$$G_5 = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \gamma_5 \cdot H_5^2 \cdot \sin(\beta_5 - \Omega_5)}{\sin(\Omega_5) \cdot \sin(\beta_5)}$$

(Εξ. 2.62)

Αντικαθιστώντας τις μέγιστες τιμές του K στην Εξίσωση 2.53, υπολογίζεται η μέγιστη απαιτούμενη εφελκυστική αντοχή του οπλισμού για κάθε ένα αναβαθμό και σε κάθε μία στάθμη.

Επίσης, μπορεί να υπολογισθεί και το απαιτούμενο μήκος του οπλισμού σε κάθε στάθμη:

$$l_i = \frac{H_i \cdot \sin(\beta_i - \Omega_i)}{\sin(\beta_5) \cdot \sin(\Omega_i)}$$

(Εξ. 2.63)

(Ως μήκος του οπλισμού, θα πρέπει να τοποθετείται κατ' ελάχιστο ίσο προς $0.7H_i$ για τον κάθε ένα αναβαθμό).

II. Ολική ευστάθεια:

Ο υπολογισμός της συνολικής ποσότητας του οπλισμού σε κανονικοποιημένη μορφή K , για τον έλεγχο έναντι ολικής ευστάθειας πραγματοποιείται σύμφωνα με την παρακάτω Εξίσωση 2.64:

$$K_{gi} = \frac{2 \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_n) \cdot \tan(\Omega_{gi} - \varphi_{gi}) + 2 \cdot k_h \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_n)}{\gamma_{gi} \cdot (H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}$$

(Εξ. 2.64)

όπου n, το πλήθος των αναβαθμών.

Το βάρος της εδαφικής μάζας έχει διαφορετική έκφραση για τον κάθε ένα αναβαθμό. Οι εξισώσεις υπολογισμού της μάζας των αναβαθμών που συμμετέχουν στο μηχανισμό ολικής ευστάθειας είναι υπό δημοσίευση και δεν αναφέρονται στην παρούσα εργασία για λόγους συντομίας. Ενδεικτικά για τους αναβαθμούς: 1 και 5, εφαρμόζονται οι παρακάτω εξισώσεις:

$$G_1 = \left(\frac{H_1 + 2 \cdot H_2 + 2 \cdot H_3 + 2 \cdot H_4 + 2 \cdot H_5}{\tan(\Omega)} - \frac{H_1}{\tan(\beta_1)} - \frac{2 \cdot H_2}{\tan(\beta_2)} - \frac{2 \cdot H_3}{\tan(\beta_3)} - \frac{2 \cdot H_4}{\tan(\beta_4)} - \frac{2 \cdot H_5}{\tan(\beta_5)} - 2 \cdot \lambda_1 - 2 \cdot \lambda_2 - 2 \cdot \lambda_3 - 2 \cdot \lambda_4 \right) \cdot \gamma_1 \cdot \frac{H_1}{2}$$

(Εξ. 2.65)

$$G_5 = \left(\frac{G_5}{\tan(\Omega)} - \frac{H_5}{\tan(\beta_5)} \right) \cdot \gamma_5 \cdot \frac{H_5}{2}$$

(Εξ. 2.66)

Με αντικατάσταση της μέγιστης τιμής του K στην Εξίσωση 2.53, προκύπτει η απαιτούμενη εφελκυστική αντοχή για την κάθε μία στρώση του οπλισμού.

Το απαιτούμενο μήκος του οπλισμού, υπολογίζεται για κάθε ένα αναβαθμό από την παρακάτω Εξίσωση 2.67 :

$$l_i = \frac{H_i + H_{i+1} + \dots + H_n}{\tan(\Omega)} - \frac{H_i}{\tan(\beta_i)} - \frac{H_{i+1}}{\tan(\beta_{i+1})} - \dots - \frac{H_n}{\tan(\beta_n)} - \lambda_i - \lambda_{i+1} - \dots - \lambda_{n-1}$$

(Εξ. 2.67)

Για τον τελικό σχεδιασμό των πολυωρόφων πρανών με σύνθετη γεωμετρία, επιλέγονται οι μέγιστες τιμές για κάθε μία στρώση. Όπως αναφέρθηκε ξανά, οι μηχανισμοί τοπικής ευστάθειας δίνουν κρισιμότερα αποτελέσματα για τους άνω αναβαθμούς, ενώ οι μηχανισμοί ολικής ευστάθειας για τους κατώτερους. Εφαρμόζοντας και τους δύο ελέγχους, το πρανές μπορεί να διαστασιολογηθεί ακριβέστερα και ασφαλέστερα.

Με αντίστοιχο τρόπο μπορεί να υπολογισθεί ο κρίσιμος συντελεστής επιτάχυνσης του πρανούς για τοπική και ολική ευστάθεια, Εξισώσεις 2.68 και 2.69 αντίστοιχα:

$$k_{yi} = \frac{K_i \cdot \gamma_i \cdot H_i^2 - 2 \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_i) \cdot \tan(\Omega_i - \varphi_i)}{2 \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_i)}$$

(Εξ. 2.68)

$$k_{ygi} = \frac{K_{gi} \cdot \gamma_{gi} \cdot (H_1 + H_2 + \dots + H_i)^2 - 2 \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_i) \cdot \tan(\Omega_{gi} - \varphi_{gi})}{2 \cdot (G_1 + G_2 + \dots + G_i)}$$

(Εξ. 2.69)

Η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για τοπική και ολική ευστάθεια προκύπτει ως η ελάχιστη τιμή από τις ανωτέρω εξισώσεις, είναι δε η επιτάχυνση η οποία ασκούμενη στο πρανές το φέρει σε κατάσταση οριακής ισορροπίας (συντελεστής ασφαλείας ίσος προς τη μονάδα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

3.1. Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται διερεύνηση της κρίσιμης επιφάνειας αστοχίας και της κρίσιμης επιτάχυνσης για διάφορες γεωμετρίες άοπλων πρανών. Επιπλέον, εξετάζεται η επίδραση του οπλισμού ως προς την ευστάθεια του πρανούς. Προκειμένου να γίνει αυτή η διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν δυο λογισμικά που στηρίζονται στις μεθόδους ανάλυσης ευστάθειας πρανών, όπως αυτές αναπτύχθηκαν στο 2^ο Κεφάλαιο. Το πρώτο λογισμικό στηρίζεται στη μέθοδο Sarma και Tan και το δεύτερο στη μέθοδο Sarma και Hoek. Επίσης, χρησιμοποιείται λογισμικό σε γλώσσα Delphi, με βάση το οποίο προσδιορίζεται ο οπλισμός που εφαρμόζεται στο πρανές ώστε να αυξηθεί η αντοχή του. Ο οπλισμός αυτός εισάγεται στο λογισμικό που στηρίζεται στη μέθοδο Sarma και Hoek και υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας και η κρίσιμη επιτάχυνση για οπλισμένο πλέον πρανές. Τέλος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων ως προς την κρίσιμη επιτάχυνση και μελετάται η επίδραση του οπλισμού στην ευστάθεια των πρανών.

Το λογισμικό που αναφέρεται στη μέθοδο Sarma και Tan είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί. Παρόλα αυτά ο χρήστης πρέπει να δώσει ιδιαίτερη προσοχή στις παραμέτρους του πρανούς που θα εισάγει. Δηλαδή, να εισάγει στις σωστές μονάδες μέτρησης στις παραμέτρους του πρανούς, για παράδειγμα οι γωνίες πρέπει να είναι σε μοίρες, το ειδικό βάρος σε kN, η συνοχή σε kPa, το ύψος του πρανούς σε m και η απόσταση του πρώτου σημείου από το πόδι του πρανούς σε m. Από αυτό το λογισμικό υπολογίζονται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Επίσης, πρέπει να προσεχθεί που θα είναι το πρώτο σημείο από το πόδι του πρανούς γιατί με το συγκεκριμένο λογισμικό υπολογίζεται η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς η οποία ξεκινά από το συγκεκριμένο σημείο, δηλαδή ελέγχει ποια είναι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για το συγκεκριμένο σημείο. Έτσι, λοιπόν προκύπτει διαφορετική κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης αν το πρώτο σημείο του πρανούς βρίσκεται στη θέση +1, σε σχέση με την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης της οποίας το πρώτο σημείο βρίσκεται στη θέση -1 ή στη θέση 0. Αυτό που αλλάζει είναι η γεωμετρία του πρώτου τμήματος του πρανούς.

Όσον αφορά το λογισμικό που στηρίζεται στη μέθοδο Sarma και Hoek, αν και είναι γραμμένο σε γλώσσα BASIC, μια γλώσσα αρκετά ξεπερασμένη για τα σημερινά δεδομένα, παρόλα αυτά είναι και εκείνο εύκολο στη χρήση. Στο συγκεκριμένο λογισμικό εισάγεται απευθείας η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το λογισμικό Sarma – Tan. Σε αυτό το πρόγραμμα ο χρήστης πρέπει να δώσει προσοχή στα αρχικά δεδομένα που ορίζει πριν να εισάγει τις συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης του πρανού. Δηλαδή, πρέπει να προσδιοριστεί αν οι διατμητικές τάσεις στο πρανές είναι ομοιόμορφες ή όχι, ο αριθμός των τμημάτων του πρανού και η ύπαρξη ή όχι δυνάμεων νερού. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να υπάρχουν ομοιόμορφες διατμητικές δυνάμεις σε όλο το πρανές και να μην υπάρχει η παρουσία νερού. Βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε σε αυτό το πρόγραμμα ήταν ότι δεν υπήρχε η δυνατότητα αποθήκευσης των δοκιμών που έγιναν με αυτό το πρόγραμμα λόγω ασυμβατότητας του προγράμματος με τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα των υπολογιστών.

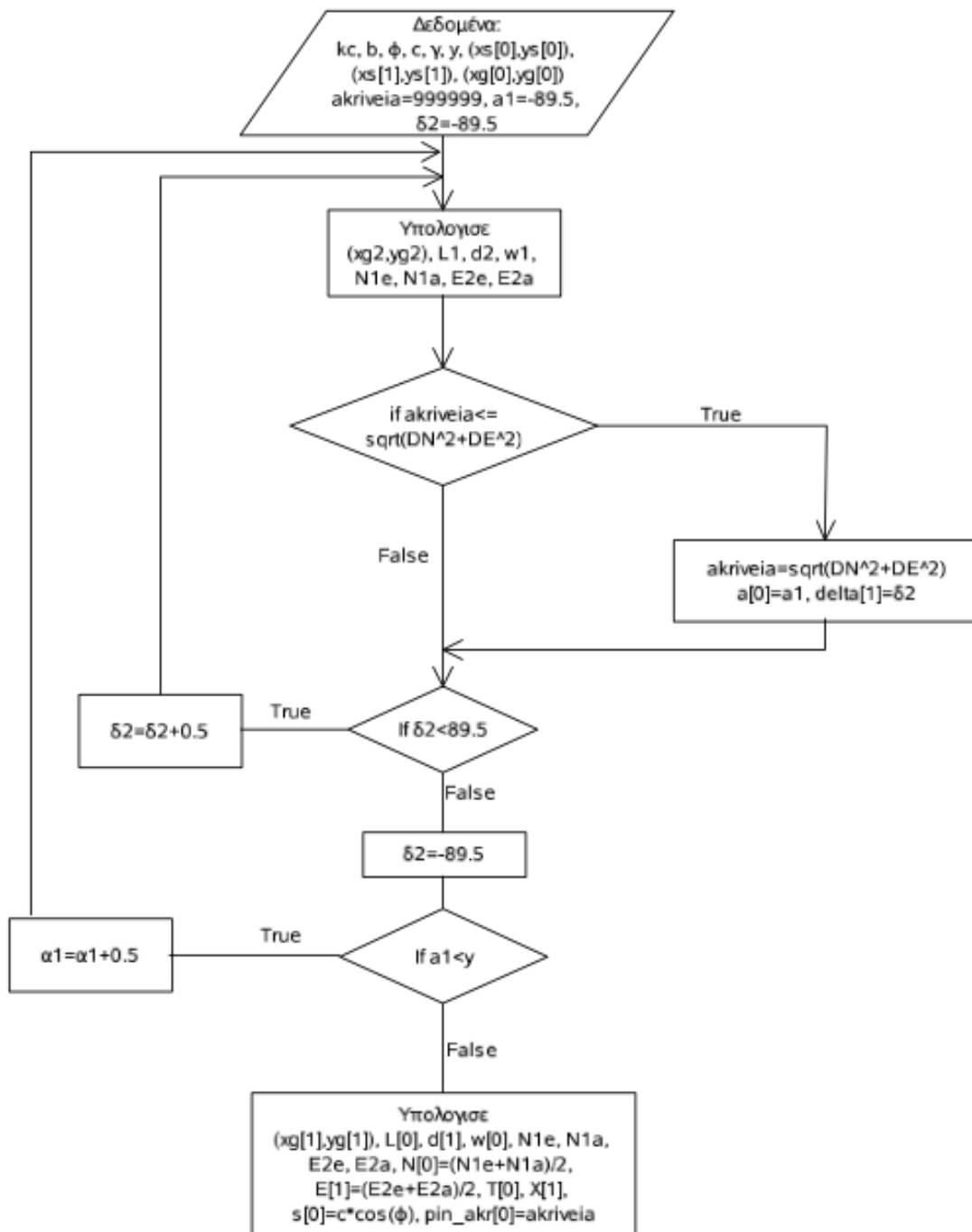
Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα σε γλώσσα Delphi που χρησιμεύει για τον υπολογισμό του οπλισμού των πρανών. Επειδή αυτό το πρόγραμμα αφορά τον υπολογισμό οπλισμού για πολυώροφα πρανή και στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται μονώροφα πρανή, όλα τα δεδομένα για το υπό εξέταση πρανές εισήχθησαν στην στήλη που αναφέρεται στο πρώτο τμήμα του πρανού. Για αυτό τον λόγο τέθηκε μηδέν η παράμετρος λ που αναφέρεται στην απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στα τμήματα του πολυώροφου πρανού και επιπλέον, θεωρήθηκε ότι το υπό εξέταση πρανές είναι ασυνεκτικό καθώς η τιμή της συνοχής που λήφθηκε υπόψη ήταν πολύ μικρή.

3.2. Λογισμικό για τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας αστοχίας των πρανών κατά Sarma και Tan (15)

Σε προηγούμενη διπλωματική εργασία της Ραΐση, Ε. (2009), αναπτύχθηκε λογισμικό σε περιβάλλον C++ για τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας αστοχίας ομογενών πρανών χωρίς την παρουσία νερού σύμφωνα με τη μέθοδο Sarma και Tan.

Το πρόγραμμα αποτελείται από πέντε ενότητες. Αρχικά ορίζεται μια βιβλιοθήκη συναρτήσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα. Έπειτα, προσδιορίζονται τα δεδομένα του προβλήματος και οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς. Στη συνέχεια αφού προσδιοριστεί το σημείο εκκίνησης του μηχανισμού αστοχίας, ακολουθεί η επίλυση του πρώτου τμήματος του πρανούς. Ακολουθεί η διαδοχική επίλυση των τμημάτων 2 έως $n-2$, με τη χρήση ενός επαναληπτικού βρόχου και τέλος, η επίλυση των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανούς $n-1$ και n γίνεται χωριστά από τα προηγούμενα τμήματα, με στόχο τον προσδιορισμό της τελικής κρίσιμης επιφάνειας.

Για να επιλυθούν τα μη-γραμμικά συστήματα εξισώσεων ώστε να προσδιοριστούν τα τμήματα του πρανούς, εφαρμόζονται επαναληπτικές διαδικασίες για όλα τα στάδια των υπολογισμών. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για τον υπολογισμό του πρώτου τμήματος του πρανούς.

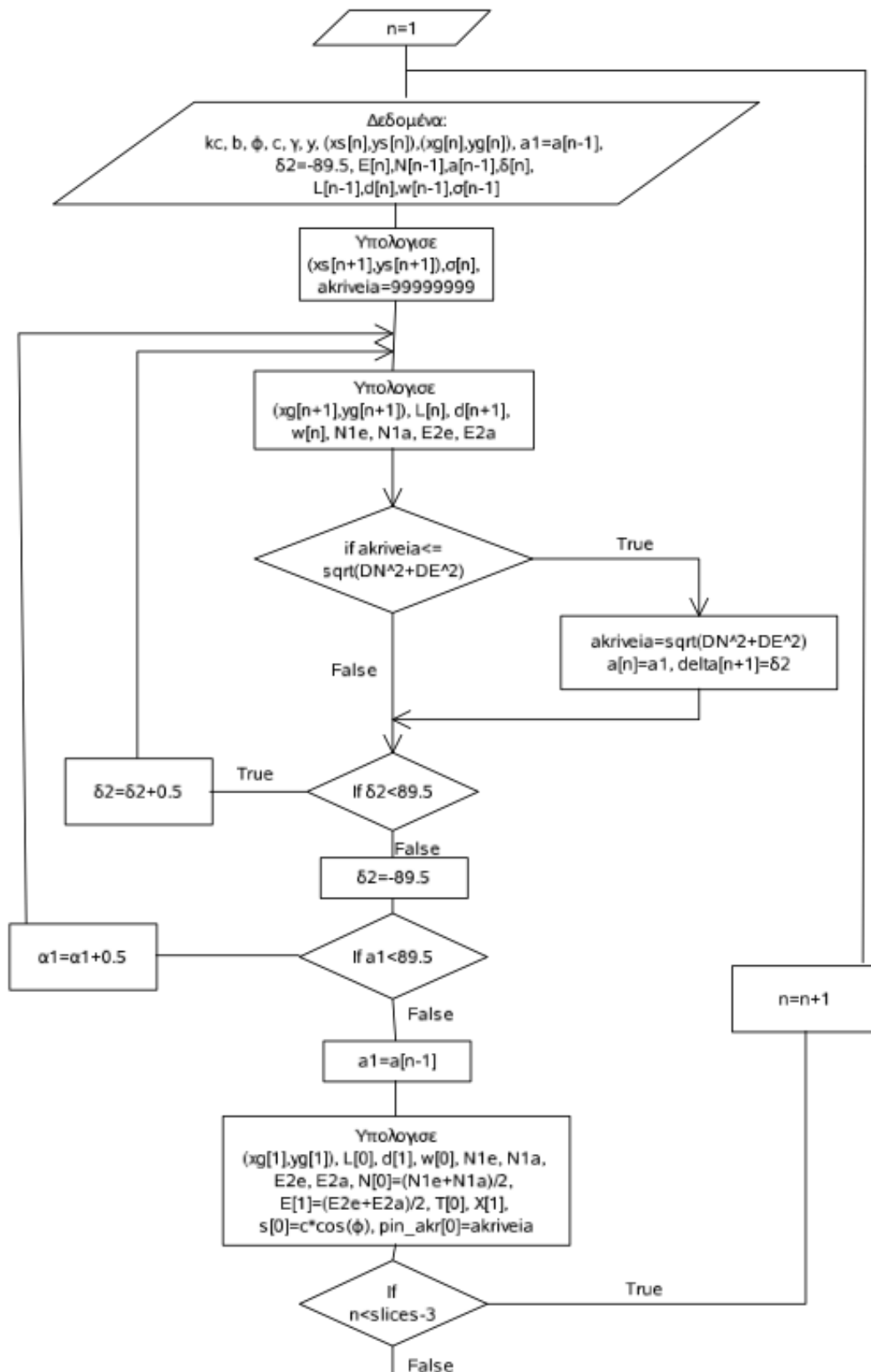


Εικόνα 3. 1: Διάγραμμα ροής για την επίλυση του πρώτου τμήματος του πρανούς (E.Ράση, 2009)

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι αρχικά εισάγονται τα δεδομένα στο πρόγραμμα τα οποία είναι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση k_c , η γωνία του εδάφους b , η γωνία τριβής του πρανούς ϕ , η συνοχή του εδάφους c , το ειδικό βάρος του εδάφους γ , οι συντεταγμένες του αρχικού σημείου της επιφάνειας ολίσθησης και της ελεύθερης επιφάνειας (τις οποίες καθορίζει ο χρήστης), οι

συντεταγμένες του επόμενου σημείου της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς, το εύρος των γωνιών α_1 και δ_2 και υπολογίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του τμήματος και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο εσωτερικό δεξή όριο του τμήματος. Χρησιμοποιείται λοιπόν μια επαναληπτική διαδικασία μέχρι να επιλεγεί η καλύτερη λύση για αυτό το τμήμα.

Στη συνέχεια ακολουθεί η επίλυση των τμημάτων 2 έως n-2, των οποίων το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2. Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα ροής σε αυτό το στάδιο αυτό εισάγονται τα αρχικά δεδομένα στο πρόγραμμα από τον υπολογισμό του προηγούμενου τμήματος, δηλαδή η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση k_c , η γωνία τριβής του εδάφους ϕ , η συνοχή c , οι γεωμετρικές συντεταγμένες και οι δυνάμεις στην εσωτερική αριστερή πλευρά του τμήματος και υπολογίζονται η γεωμετρία και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο νέο τμήμα.



Εικόνα 3. 2: Διάγραμμα ροής για την επίλυση των τμημάτων 2 έως n-2 (Ε.Ραΐση, 2009)

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα ενδιάμεσα τμήματα εντός των δυο τελευταίων (n-1 και n) για τα οποία εφαρμόζονται διαφορετικές εξισώσεις και πραγματοποιείται και έλεγχος σύγκλισης των κρίσιμων επιταχύνσεων που υπολογίζει το πρόγραμμα. Εάν η επιτάχυνση που υπολογίστηκε για τα δυο τελευταία τμήματα συγκλίνει με την επιτάχυνση που υπολογίστηκε για τα προηγούμενα τμήματα, τότε το πρόγραμμα τερματίζει. Ενώ αν αυτές οι δυο επιταχύνσεις δεν συγκλίνουν τότε ακολουθείται μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία το πρόγραμμα παίρνει αυτόματα μια νέα τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και υπολογίζει το πρανές από την αρχή ώστε να επιλεγεί ο κατάλληλος συνδυασμός που θα οδηγήσει στη σύγκλιση του προγράμματος και στον προσδιορισμό της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και της επιφάνειας αστοχίας.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα μέρος του κώδικα σε C++ αυτού του προγράμματος για τον υπολογισμό των τμημάτων 2 έως n-2.

```
// (N-2) SLICES
for (n=1; n<=(slices-3); n++)
{
    akriveia=99999999;

    xs[n+1]=ypol_xs(dsx,xs[n]);
    ys[n+1]=ypol_ys(xs[n+1],y,xk,yk);
    s[n]=(2*N[n-1]/L[n-1])-s[n-1];

    a1=radtodeg(a[n-1]);
    for (i=1; i<(180-2*radtodeg(a[n-1])); i++)
    {
        a1=degtorad(a1);

        delta2=-89.5;
        for (j=1; j<360; j++)
        {
            delta2=degtorad(delta2);

            xg[n+1]=ypol_xg(xs[n+1],ys[n+1],xg[n],yg[n],delta2,a1);
            yg[n+1]=ypol_yg(xg[n],yg[n],xg[n+1],a1);

            L[n]=LineLen(xg[n],yg[n],xg[n+1],yg[n+1]);
            d[n+1]=LineLen(xg[n+1],yg[n+1],xs[n+1],ys[n+1]);
            w[n]=g*emvadon(xs[n],ys[n],xs[n+1],ys[n+1],xg[n],yg[n],xg[n+1],yg[n+1],xk,yk);

            E2e=(w[n]*sin(f-a1-b)/cos(b)+E[n]*cos(2*f-a1-delta[n])/cos(f)+c*L[n]*cos(f)-
            c*d[n]*sin(f-a1-delta[n])+c*d[n+1]*sin(f-a1-delta2))*cos(f)/cos(2*f-a1-delta2);
            N1e=(w[n]*cos(f-delta2+b)/cos(b)+E[n]*sin(delta[n]-delta2)/cos(f)+c*L[n]*sin(f-delta2-
            a1)-c*d[n]*cos(f-delta2+delta[n])+c*d[n+1]*cos(f))*cos(f)/cos(2*f-a1-delta2);

            E2a=(-c*d[n+1]*tan(f)+c*d[n+1]*tan(delta2+y)+0.5*g*d[n+1]*d[n+1]*cos(f-
            delta2+b)/(cos(b)*cos(f))/(1+tan(f)*tan(f));
```



```
N1a=(-c*L[n]*tan(f)+0.5*L[n]*L[n]*sin(f-a1-b)/(cos(b)*cos(f))+s[n]*L[n]*cos(2*f-a1-  
delta[n])/cos(f)*cos(f)*cos(delta[n]+a1))-c*L[n]*sin(f-a1-  
delta[n])/cos(f)*cos(delta[n]+a1))+c*L[n]*tan(a1+delta[n])/(1+tan(f)*tan(f));  
  
if (sqrt((N1e-N1a)*(N1e-N1a)+(E2e-E2a)*(E2e-E2a))<akriveia)  
{  
    akriveia=sqrt((N1e-N1a)*(N1e-N1a)+(E2e-E2a)*(E2e-E2a));  
    a[n]=a1;  
    delta[n+1]=delta2;  
}  
delta2=radtodeg(delta2)+0.5;  
}  
a1=radtodeg(a1)+0.5;  
}  
  
xg[n+1]=ypol_xg(xs[n+1],ys[n+1],xg[n],yg[n],delta[n+1],a[n]);  
yg[n+1]=ypol_yg(xg[n],yg[n],xg[n+1],a[n]);  
  
L[n]=LineLen(xg[n],yg[n],xg[n+1],yg[n+1]);  
d[n+1]=LineLen(xg[n+1],yg[n+1],xs[n+1],ys[n+1]);  
w[n]=g*emvadon(xs[n],ys[n],xs[n+1],ys[n+1],xg[n],yg[n],xg[n+1],yg[n+1],xk,yk);  
  
E2e=(w[n]*sin(f-a[n]-b)/cos(b)+E[n]*cos(2*f-a[n]-delta[n])/cos(f)+c*L[n]*cos(f)-c*d[n]*sin(f-  
a[n]-delta[n])+c*d[n+1]*sin(f-a[n]-delta[n+1]))*cos(f)/cos(2*f-a[n]-delta[n+1]);  
N1e=(w[n]*cos(f-delta[n+1]+b)/cos(b)+E[n]*sin(delta[n]-delta[n+1])/cos(f)+c*L[n]*sin(f-  
delta[n+1]-a[n])-c*d[n]*cos(f-delta[n+1]+delta[n])+c*d[n+1]*cos(f)*cos(f)/cos(2*f-a[n]-delta[n+1]);  
E2a=(-c*d[n+1]*tan(f)+c*d[n+1]*tan(delta[n+1]+y)+0.5*g*d[n+1]*d[n+1]*cos(f-  
delta[n+1]+b)/(cos(b)*cos(f)))/(1+tan(f)*tan(f));  
N1a=(-c*L[n]*tan(f)+0.5*L[n]*L[n]*sin(f-a[n]-b)/(cos(b)*cos(f))+s[n]*L[n]*cos(2*f-a[n]-  
delta[n])/cos(f)*cos(f)*cos(delta[n]+a[n])-c*L[n]*sin(f-a[n]-  
delta[n])/cos(f)*cos(delta[n]+a[n])+c*L[n]*tan(a[n]+delta[n])/(1+tan(f)*tan(f));  
  
E[n+1]=(E2a+E2e)/2;  
N[n]=(N1a+N1e)/2;  
X[n+1]=E[n+1]*tan(f)+c*d[n+1];  
T[n]=N[n]*tan(f)+c*L[n];  
pin_akr[n]=akriveia;
```

3.3. Λογισμικό για τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας αστοχίας των πρανών κατά Sarma και Hoek

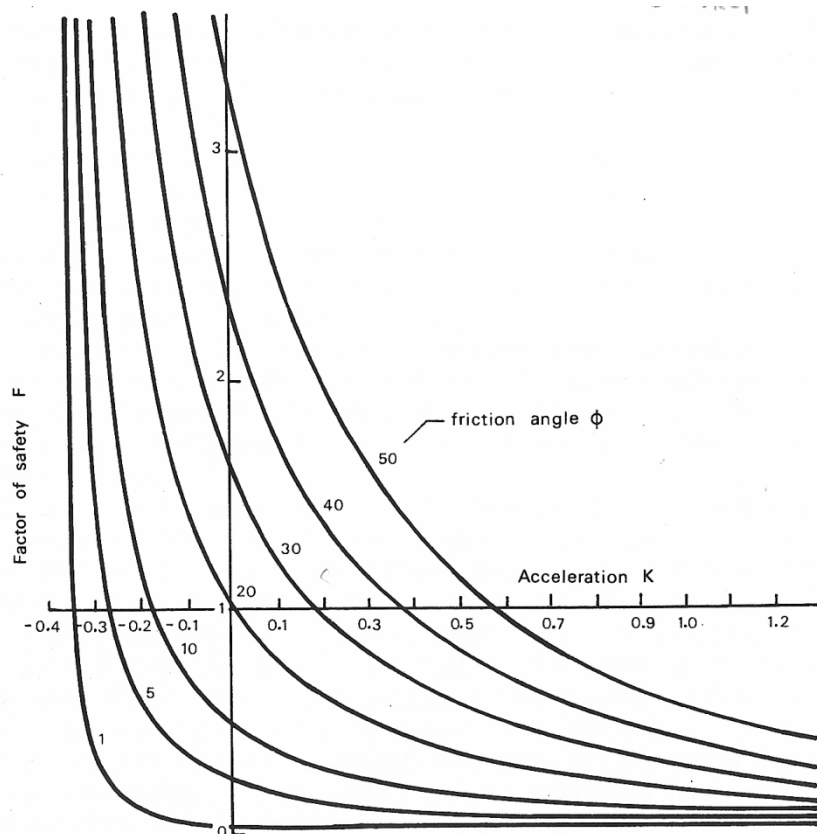
Το λογισμικό αυτό έχει αναπτυχθεί στην απλούστερη μορφή της γλώσσας BASIC και έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην υπάρχουν καθόλου απαιτήσεις από τον υπολογιστή για το πρόγραμμα, έτσι αυτό το πρόγραμμα μπορεί να λειτουργήσει σε οποιονδήποτε υπολογιστή χρησιμοποιεί λογισμικό Microsoft ή BASIC και να τροποποιηθεί σε οποιαδήποτε μορφή της BASIC.

Στο πρόγραμμα έχει δημιουργηθεί μια επιλογή γραφικών η οποία επιτρέπει στον χρήστη να δει τη γεωμετρία του αναλυόμενου πρανούς. Αυτό προϋποθέτει ότι υπάρχει μια μορφή της BASIC η οποία να υποστηρίζει αυτά τα γραφικά στον

υπολογιστή, αλλιώς το πρόγραμμα θα λειτουργεί κανονικά αλλά ο χρήστης δεν θα μπορεί να δει γραφικά τα αποτελέσματα.

Ένα κρίσιμο συστατικό του προγράμματος είναι η επανάληψη του συντελεστή ασφαλείας κατά την οποία οι τιμές των διατμητικών δυνάμεων αυξάνονται ή μειώνονται προοδευτικά μέχρι να βρεθεί ο στατικός συντελεστής ασφαλείας (για $K = 0$). Έχει αποδειχτεί ότι αυτή η επανάληψη μπορεί να είναι και πολύ ενοχλητική προσέγγιση και μπορεί να συμβεί αριθμητική αστάθεια αν χρησιμοποιηθούν ακατάλληλες τιμές για το F . Η επαναληπτική τεχνική που χρησιμοποιείται περιγράφεται παρακάτω.

Στο Σχήμα 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο συντελεστής ασφαλείας συναρτήσει της επιτάχυνσης K για ένα εύρος γωνιών τριβής για μια τυπική ανάλυση πρανού. Σε αυτό το σχήμα φαίνεται ότι η καμπύλη του συντελεστή ασφαλείας F συναρτήσει της επιτάχυνσης K μοιάζει πολύ με μια ορθογωνική υπερβολή και αυτό δείχνει ότι ένα διάγραμμα του $1/F$ συναρτήσει του K θα είναι μια ευθεία γραμμή. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2 αυτό είναι μια αποδεκτή παραδοχή στα πλαίσια του ενδιαφέροντος, π.χ. από $K = K_c$ μέχρι $K = 0$, αν και για σημαντικά μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές του K η καμπύλη δεν είναι ευθεία. Αυτή η παρατήρηση έχει αποδειχτεί ότι συμβαίνει για μεγάλο εύρος αναλύσεων.

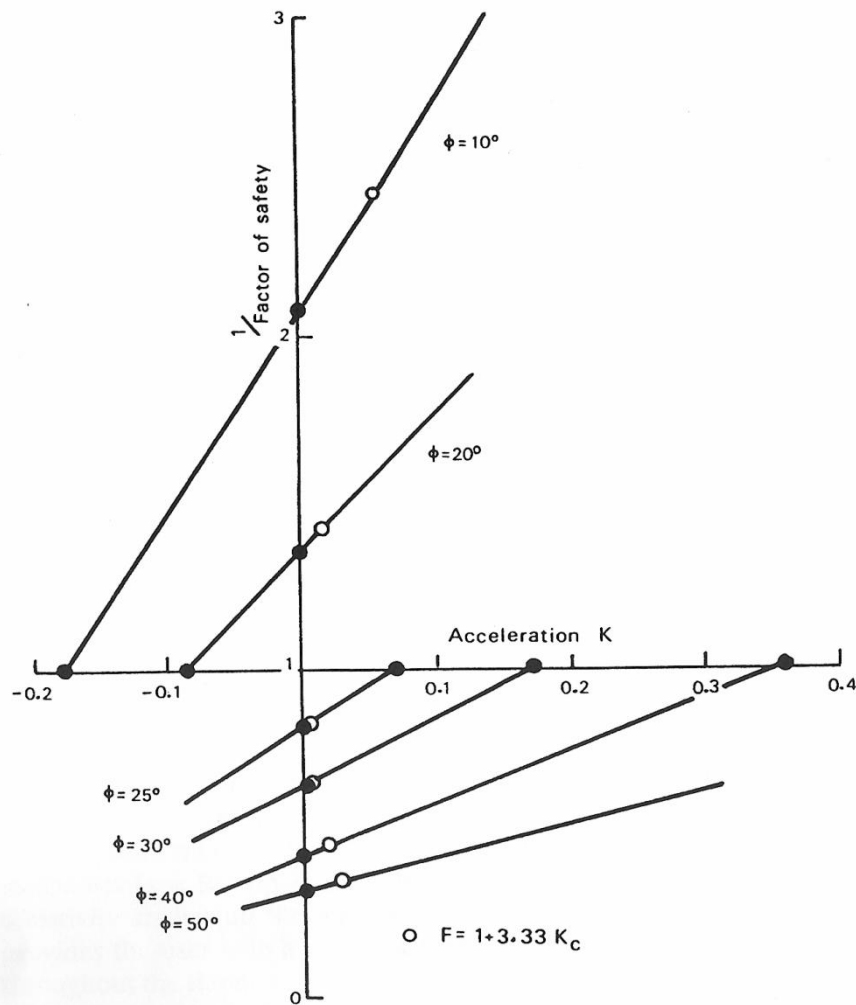


Εικόνα 3. 3: Συντελεστής ασφαλείας συναρτήσει της επιτάχυνσης για ένα τυπικό πρανές (E.Hoek, 1987)

Οι Sarma και Bhave (9) σχεδίασαν τις τιμές της κρίσιμης επιτάχυνσης k_c συναρτήσει του στατικού συντελεστή ασφαλείας F για μεγάλο αριθμό αναλύσεων ευστάθειας και βρήκαν μια γραμμική σχέση που τις συνδέει η οποία είναι:

$$F = 1 + 3.33k_c \quad (\text{Εξ. 3.1})$$

Αν και αυτή η σχέση δεν παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια για μεγάλο αριθμό προβλημάτων όταν χρησιμοποιείται αυτή η ανάλυση για προβλήματα βραχομηχανικής, μπορεί να δώσει ένα χρήσιμο σημείο κοντά στον $K = 0$ άξονα στο σχήμα του $1/F$ συναρτήσει του K , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Μια γραμμική παρεμβολή ή παρέκταση, που χρησιμοποιεί αυτό το σημείο και την τιμή του k_c για $F = 1$, δίνει μια ακριβή εκτίμηση του στατικού συντελεστή ασφαλείας. Αυτή η τεχνική έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ γρήγορη και ακριβής και έχει ενσωματωθεί στο πρόγραμμα. Για κρίσιμες περιπτώσεις, στις οποίες θεωρείται απαραίτητο να σχεδιαστεί η πλήρης καμπύλη F συναρτήσει του k , παρέχεται στο χρήστη μια προαιρετική υπορουτίνα για να σχεδιάσει την καμπύλη.



Εικόνα 3. 4: Διάγραμμα αντίστροφου συντελεστή ασφαλείας συναρτήσει της επιτάχυνσης (E.Hoek, 1987)

Επειδή, στο λογισμικό των Sarma – Hoek ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση 3.1, δηλαδή ο συντελεστής b είναι ίσος με 3.33, ο οποίος αναφέρεται σε φράγματα, στην παρούσα διπλωματική εργασία ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίσθηκε με το συντελεστή b να προκύπτει από τον τύπο:

$$b = 1.18 + \frac{0.66}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 1.2})$$

ο οποίος συνδέει το συντελεστή b με το πηλίκο $1/\tan\beta$, όπου β η γωνία κλίσης του πρανούς. Η Εξίσωση 1.2 αναφέρεται σε άοπλα πρανή. Για τα οπλισμένα πρανή ο συντελεστής b υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$b = 1.63 + \frac{0.64}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 1.3})$$

Οι Εξισώσεις 1.2 και 1.3 έχουν υπολογισθεί με τη μέθοδο της παλινδρόμησης με δεδομένα αποτελέσματα μεγάλου αριθμού αναλύσεων σε προγενέστερη διπλωματική εργασία (14).

Με βάση την Εξίσωση 1.1 προκύπτει ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για άοπλο πρανές δίνεται από τη σχέση:

$$k_{cr} = \frac{F-1.0}{1.18+\frac{0.66}{\tan\beta}} \quad (\text{Εξ. 1.4})$$

και για οπλισμένο πρανές:

$$k_{cr} = \frac{F-1.0}{1.63+\frac{0.64}{\tan\beta}} \quad (\text{Εξ. 4.5})$$

Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιούνται και στην εφαρμογή Land Hazard Analysis (ver. 2.0) για τον υπολογισμό της k_{cr} .

Επιπροσθέτως, το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε κάποια κουμπιά με τα οποία μπορούμε να εκτελέσουμε κάποιες λειτουργίες του, όπως να παρουσιάσουμε τα δεδομένα που εισάγαμε και την κρίσιμη επιτάχυνση και συντελεστή ασφαλείας που προκύπτει για αυτά, να επαναυπολογίσει την κρίσιμη επιτάχυνση και το συντελεστή ασφαλείας από τα δεδομένα, να ενεργοποιήσει την υπορουτίνα η οποία υπολογίζει την κρίσιμη επιτάχυνση για διάφορους συντελεστές ασφαλείας. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αλλάξει τη γραμμή όπου εμφανίζεται η δύναμη του νερού, να αποθηκεύσει τα δεδομένα σε αρχείο, να μεταφέρει το χρήστη στην αρχική εικόνα όπου ο χρήστης ορίζει κάποια χαρακτηριστικά του πρανούς πριν ξεκινήσει η ανάλυσή του. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα να αναπαρασταθεί γραφικά η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας του πρανούς και τέλος υπάρχει κουμπί που δίνει τη δυνατότητα να εγκαταλείψει ο χρήστης το συγκεκριμένο πρόγραμμα. Όλες αυτές οι λειτουργίες ενεργοποιούνται με τη χρήση των κουμπιών F1-F8.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα απόσπασμα από τον κώδικα όπως αυτός αναπτύχθηκε σε γλώσσα BASIC (4).

```
10 ' SARMA - NON-VERTICAL SLICE METHOD OF SLOPE STABILITY ANALYSIS
20 ' Version 2.0:Written by Dr.E.Hoek, Golder Associates, April 1986
30 ' Reference : Sarma, S.K. (1979), Stability analysis of embankments
40 '           and slopes, J. Geotech. Engg. Div., ASCE., Vol. 105,
50 '           No. GT12, pages 1511-1524.
60 '
70 ' Dimensioning of variables
80 '
90 CLEAR:STATUS="i":RAD=3.141593/180:F=1:M=1:D$="b:"
100 DIM A(39,50),WW(50),WH(50),ACC(10),ACL(100),PB(50),PS(50),PHALP(50)
110 DIM ZW(50),FL(100),THETA(50),TV(50),TH(50),ZWT(50),SLOPE(50)
120 '
130 ' Definition of function keys
140 '
150 KEY OFF:FOR I = 1 TO 8:KEY I,"":NEXT I:KEY 1,"a":KEY 2,"b"
160 KEY 3,"c":KEY 4,"d":KEY 5,"e":KEY 6,"f":KEY 7,"g":KEY 8,"h"
170 '
180 ' Display of first page
190 '
200 SCREEN 0,0:WIDTH 80:CLS:LOCATE 5,17:COLOR 0,7:
210 PRINT " SARMA NON-VERTICAL SLICE STABILITY ANALYSIS "
220 COLOR 7,0:LOCATE 7,12
230 PRINT "Copyright - Evert Hoek, 1985. This program is one of"
240 LOCATE 8,12
250 PRINT "a series of geotechnical programs developed as working"
260 LOCATE 9,12
270 PRINT "tools and for educational purposes. Use of the program"
280 LOCATE 10,12
290 PRINT "is not restricted but the user is responsible for the"
300 LOCATE 11,12
310 PRINT "application of the results obtained from this program."
320 LOCATE 14,16:PRINT "Note: In order to operate this program a data"
330 LOCATE 15,16:PRINT "disk with at least one file with an extension"
340 LOCATE 16,16:PRINT ".SAR is required. When starting a new disk,"
350 LOCATE 17,16:PRINT "ensure that such a file is stored on the disk"
360 LOCATE 18,16:PRINT "before it is used."
370 LOCATE 21,12
380 PRINT "Specify drive to be used for data disk (default B:) "
390 LOCATE 21,65:INPUT " ",D$:IF LEN(D$)=0 THEN D$="b:"
400 IF RIGHT$(D$,1)=":" THEN D$=D$ ELSE D$=D$+":"
410 '
420 ' Display of second page
430 '
440 CLS:LOCATE 25,12:PRINT "to terminate input enter [q]";
450 LOCATE 25,41:PRINT "in response to any question":LOCATE 10,12
460 INPUT "Do you wish to read data from a disk file (y/n) ? : ",DISK$
470 IF LEFT$(DISK$,1)="q" OR LEFT$(DISK$,1)="Q" THEN 6990
480 IF LEN(DISK$)=0 THEN 450
490 IF LEFT$(DISK$,1)="Y" OR LEFT$(DISK$,1)="y" THEN 680
500 LOCATE 11,12
510 INPUT "Number of slices to be included in analysis : ",NUM$
520 IF LEFT$(NUM$,1)="q" OR LEFT$(NUM$,1)="Q" THEN 6990
530 IF LEN(NUM$)=0 THEN 500 ELSE NUM=VAL(NUM$)
540 FLAG2=0:LOCATE 12,12
550 INPUT "Unit weight of water = ",WATER$
560 IF LEFT$(WATER$,1)="q" OR LEFT$(WATER$,1)="Q" THEN 6990
570 IF LEN(WATER$)=0 THEN 540 ELSE WATER =VAL(WATER$)
580 IF WATER = 0 THEN FLAG2=1
590 FLAG3=0:LOCATE 13,12
600 INPUT "Are shear strengths uniform throughout slope (y/n) ? ",STRENGTH$
610 IF LEFT$(STRENGTH$,1)="q" OR LEFT$(STRENGTH$,1)="Q" THEN 6990
620 IF LEN(STRENGTH$)=0 THEN 590
```

Εικόνα 3. 5: Απόσπασμα κώδικα προγράμματος σε γλώσσα BASIC (E.Hoek, 1987)

3.4. Λογισμικό για τον υπολογισμό του οπλισμού των πρανών σε γλώσσα

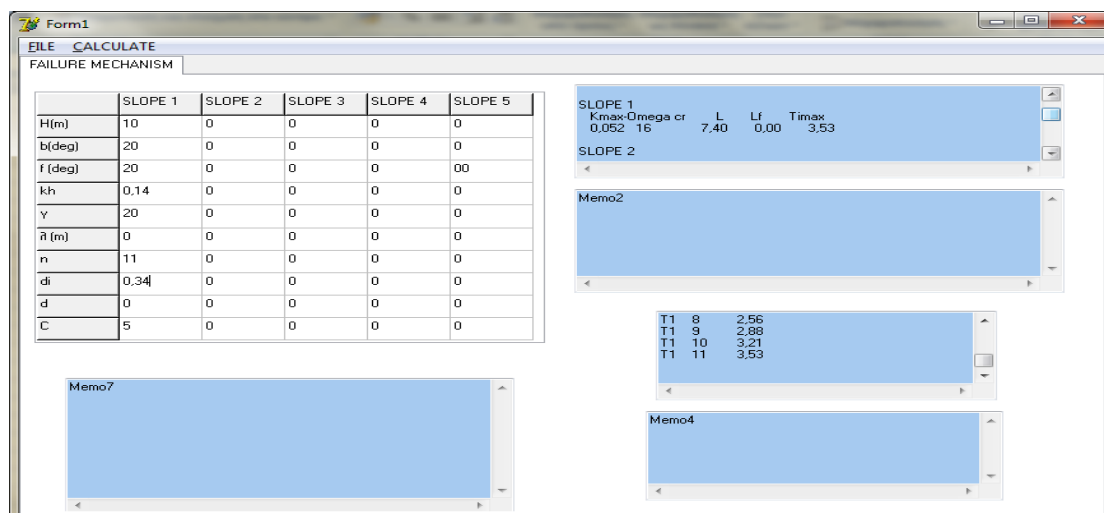
Delphi

Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει αναπτυχθεί για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών σύνθετης γεωμετρίας που υφίστανται στατική και σεισμική φόρτιση. Η μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί και πάνω στην οποία στηρίζεται το παρόν λογισμικό καλύπτει όλα τα στάδια σχεδιασμού από την ενίσχυση των παραμέτρων σχεδιασμού μέχρι τη διαστασιολόγηση και την επάρκεια των οπλισμένων πρανών. Η αναλυτική λύση που εφαρμόζεται βασίζεται στο κινηματικό θεώρημα οριακής κατάστασης και στην απλοποιημένη φασματική ανάλυση και αφορά ομογενή, μη συνεκτικά εδάφη που αναμένεται να παραμορφωθούν πλαστικά, ακολουθώντας το κριτήριο αστοχίας Coulomb. Συγκεκριμένα μελετώνται διάφοροι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας και οι πιο κρίσιμοι χρησιμοποιούνται για την τελική διαστασιολόγηση του πρανούς.

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία έχει αναπτυχθεί λογισμικό σε γλώσσα προγραμματισμού Delphi το οποίο έχει την παρακάτω δομή. Αρχικά, εκτιμάται η μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση, εισάγονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφών (ϕ , γ), του ύψους H και της γωνίας κλίσης β για κάθε ένα αναβαθμό, της απόστασης λ των αναβαθμών μεταξύ τους, του πλήθους n των στρώσεων του οπλισμού d_i . Επίσης, πρέπει να υπολογιστεί μια κατάλληλη τιμή της μέγιστης αναμενόμενης οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης. Ακολούθως, γίνεται ανάλυση σύμφωνα με το μηχανισμό επίπεδης αστοχίας, αρχικά για τοπική ευστάθεια και στη συνέχεια για ολική ευστάθεια. Τα αποτελέσματα του προγράμματος είναι η γωνία που προσδιορίζει τον κρίσιμο μηχανισμό Ω_i για κάθε τμήμα και Ω_{gl} για όλο το πρανές, η μέγιστη ποσότητα της όπλισης K_i για κάθε τμήμα και K_{gl} για όλο το πρανές, η μέγιστη εφελκυστική αντοχή για κάθε μια στάθμη του πρανούς (T_i και T_{gl}), το απαιτούμενο μήκος όπλισης (l_i και l_{gl}) και το τελικό μήκος όπλισης. Τέλος, συγκρίνονται οι μέγιστες τιμές που υπολογίσθηκαν από τους μηχανισμούς τοπικής και ολικής ευστάθειας και επιλέγονται οι μέγιστες αυτών για την τελική διαστασιολόγηση (13).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε το συγκεκριμένο πρόγραμμα θεωρώντας πρανές χωρίς αναβαθμούς, εφόσον ήταν απαραίτητη μόνο η τιμή του απαιτούμενου

οπλισμού για το κάθε πρανές που αναλύθηκε ώστε να χρησιμοποιηθεί στο λογισμικό Sarma – Hoek και να υπολογιστεί η κρίσιμη επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας για το οπλισμένο πρανές που μελετάται. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το παράθυρο του λογισμικού Delphi. Οι υπολογισμοί που εμφανίζονται εδώ αφορούν μονώροφο πρανές, καθώς έχουν δοθεί τιμές μόνο για το πρώτο τμήμα και οι υπόλοιπες τιμές έχουν δοθεί ίσες με μηδέν.



3.5. Στόχος εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί ο μηχανισμός αστοχίας άοπλων και οπλισμένων πρανών διαφορετικής γεωμετρίας χρησιμοποιώντας τις μεθόδους Sarma – Tan και Sarma – Hoek. Αρχικά, χρησιμοποιείται το λογισμικό που στηρίζεται στη μέθοδο Sarma – Tan στο οποίο τίθενται τα χαρακτηριστικά του άοπλου πρανούς που θα μελετηθεί με σκοπό να προσδιοριστεί ο μηχανισμός αστοχίας του πρανούς και η κρίσιμη επιτάχυνση για το συγκεκριμένο πρανές. Στη συνέχεια, ο μηχανισμός αστοχίας που προέκυψε εισάγεται στο λογισμικό που στηρίζεται στη μέθοδο Sarma – Hoek με βάση το οποίο επαναυπολογίζεται η κρίσιμη επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς. Έχοντας υπολογίσει για το ίδιο πρανές την κρίσιμη επιτάχυνση σύμφωνα με τις δυο μεθόδους, συγκρίνονται τα αποτελέσματα για να εξετασθεί αν η κρίσιμη επιτάχυνση που υπολογίστηκε παρουσιάζει διαφορές.

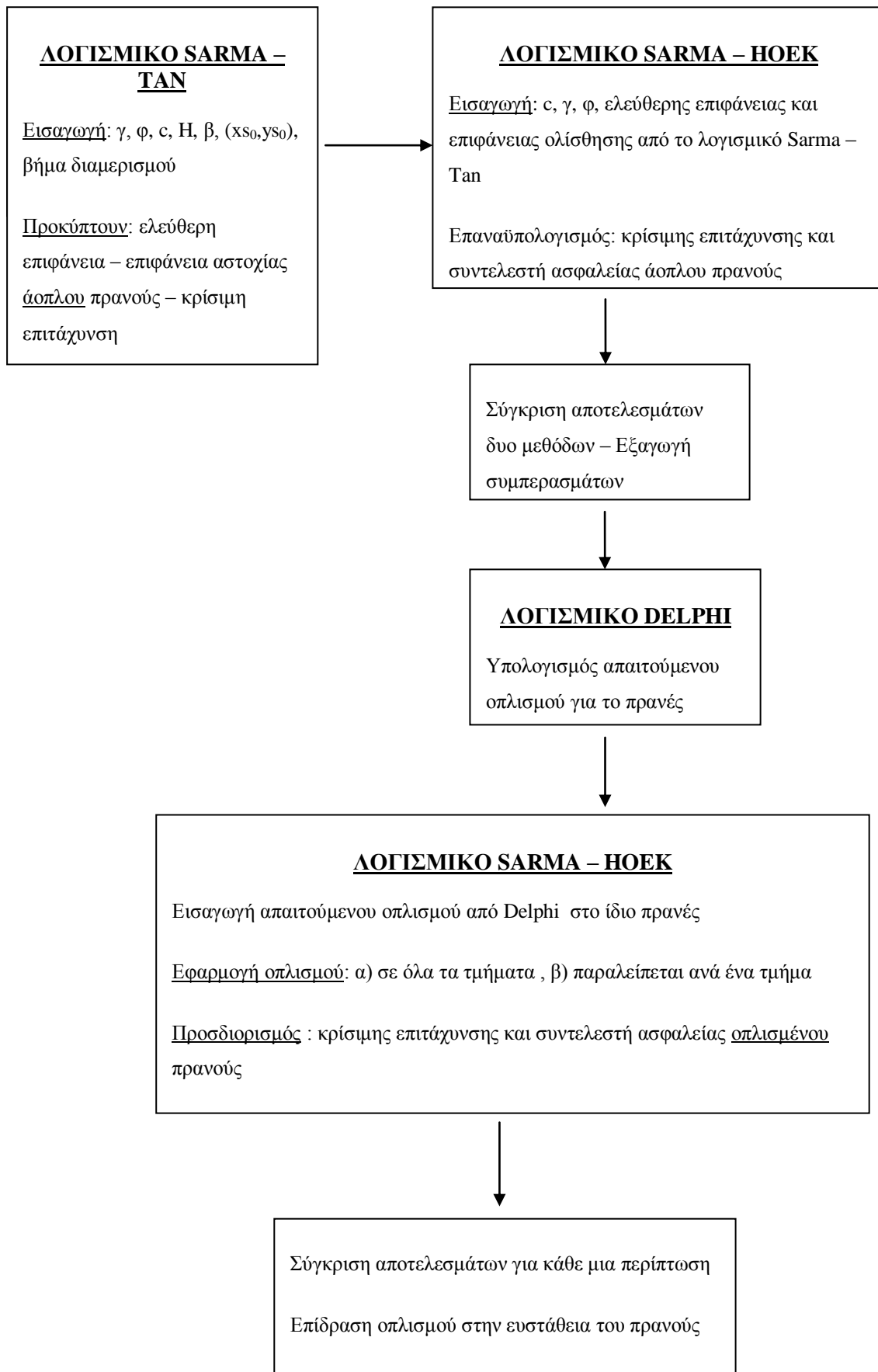
Έπειτα, χρησιμοποιώντας το λογισμικό που αναπτύχθηκε σε γλώσσα Delphi υπολογίζεται η απαιτούμενη δύναμη οπλισμού που χρειάζεται να εφαρμοσθεί στο

συγκεκριμένο πρανές, η οποία εισάγεται στο πρόγραμμα Sarma – Hoek ώστε να υπολογιστεί η αντίστοιχη κρίσιμη επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας για το οπλισμένο πλέον πρανές. Πρέπει να σημειωθεί ότι έγινε διερεύνηση της κρίσιμης επιτάχυνσης και του συντελεστή ασφαλείας σε οπλισμένα πρανή για διαφορετικές στρώσεις οπλισμού. Δηλαδή, επιλέχθηκε να εφαρμοσθεί οπλισμός σε όλα τα τμήματα του πρανούς και να παραλείπεται ο οπλισμός ανά ένα τμήμα και μελετήθηκε πώς μεταβάλλεται ο συντελεστής ασφαλείας και η κρίσιμη επιτάχυνση για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις. Αφού υπολογιστούν όλα τα παραπάνω στοιχεία, μπορούν να αξιολογηθούν ώστε να μελετηθεί ο μηχανισμός αστοχίας (από ποιες παραμέτρους επηρεάζεται) και το πώς μεταβάλλεται η κρίσιμη επιτάχυνση ανάλογα αν το πρανές είναι άοπλο ή οπλισμένο, καθώς και πως οι στρώσεις του οπλισμού επηρεάζουν το συντελεστή ασφαλείας και την κρίσιμη επιτάχυνση.

Σκοπός της χρησιμοποίησης αυτών των προγραμμάτων είναι η διερεύνηση τους. Ο χρήστης επιλέγει πολλά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά για το κάθε πρανές που μελετά. Έτσι, μέσω της χρήσης αυτών των προγραμμάτων θα μπορέσει να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να κάνει την επιλογή αυτών των χαρακτηριστικών. Παρακάτω ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής στο οποίο παρουσιάζονται οι εργασίες που εκτελούνται σε κάθε λογισμικό, τα αποτελέσματα που δίνει κάθε λογισμικό και η σχέση εξάρτησης μεταξύ των λογισμικών.

Σε αυτό το διάγραμμα παρουσιάζονται με συντομία όλα τα δεδομένα εισόδου σε κάθε λογισμικό και τα αποτελέσματα που προκύπτει από κάθε ένα αλλά και το πώς χρησιμοποιούνται αυτά προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις. Αρχικά, εισάγονται τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση πρανούς στο λογισμικό Sarma – Tan και από αυτό προκύπτουν οι συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς καθώς και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για το άοπλο πρανές. Στη συνέχεια, εισάγονται τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά καθώς και οι συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης του άοπλου πρανούς στο λογισμικό Sarma – Hoek και από εκεί προκύπτει η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς. Τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από το κάθε λογισμικό συγκρίνονται και βγαίνουν τα κατάλληλα συμπεράσματα για την κάθε μέθοδο.

Ακολουθως, χρησιμοποιείται το λογισμικό σε γλώσσα Delphi με το οποίο γίνεται ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού ώστε να οπλιστούν τα πρανή που εξετάστηκαν νωρίτερα ως άοπλα. Αφού προκύψει ο απαιτούμενος οπλισμός εισάγονται στο λογισμικό Sarma – Hoek εκ νέου τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του πρανού, οι συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και ο οπλισμός. Υπολογίζεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας για το οπλισμένο πλέον πρανές και προκύπτουν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για το πώς επηρεάζεται η ευστάθεια του πρανού από την παρουσία του οπλισμού τόσο σε όλα τα τμήματα του πρανού όσο και αν ο οπλισμός εφαρμοσθεί επιλεκτικά σε κάποια τμήματα του πρανού.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εφαρμογών των προγραμμάτων Sarma-Tan, Sarma-Hoek για την παραμετρική διερεύνηση της ευστάθειας των άοπλων πρανών, του λογισμικού σε γλώσσα Delphi από οποίο προκύπτει ο απαιτούμενος οπλισμός των πρανών και στη συνέχεια τα αποτελέσματα για τα οπλισμένα πρανά όπως αυτά προέκυψαν από το λογισμικό Sarma – Hoek. Τέλος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το κάθε λογισμικό για τα άοπλα και τα οπλισμένα πρανά.

1. Γενικά στοιχεία

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό κατά Sarma και Tan για την επίλυση των άοπλων πρανών που επιλέχθηκαν να εξετασθούν. Από το λογισμικό αυτό προκύπτουν οι συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς, η κάθετη δύναμη N που ασκείται στο εσωτερικό όριο κάθε τμήματος, η κάθετη δύναμη E που ασκείται στην επιφάνεια ολίσθησης κάθε τμήματος, η μεταβλητή ακρίβεια, οι διατμητικές δυνάμεις X και T και η κρίσιμη επιτάχυνση k_c του πρανούς.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό κατά Sarma και Hoek στο οποίο καθορίζονται ο αριθμός των τμημάτων που χωρίζεται το πρανές, όπως αυτά υπολογίστηκαν από το λογισμικό Sarma – Tan, η ύπαρξη δυνάμεων νερού στο πρανές, οι οποίες ορίστηκαν μηδενικές καθώς έγινε ανάλυση για ξηρό πρανές, η ομοιομορφία των διατμητικών δυνάμεων. Επιπλέον, εισήχθησαν οι συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς, όπως αυτές προέκυψαν από το πρόγραμμα Sarma – Tan, η συνοχή του πρανούς, το ειδικό βάρος και η γωνία τριβής. Επίσης, στο συγκεκριμένο λογισμικό υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθούν η δύναμη του οπλισμού και η γωνία με την οποία εφαρμόζεται ο οπλισμός. Τέλος, εφόσον εισαχθούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα το πρόγραμμα υπολογίζει την κρίσιμη επιτάχυνση και το συντελεστή ασφαλείας.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό σε γλώσσα Delphi, για να υπολογισθεί ο απαιτούμενος οπλισμός για την όπλιση του πρανούς, ο οποίος εισήχθη στο

λογισμικό κατά Sarma - Tan ώστε να υπολογισθεί εκ νέου η κρίσιμη επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας για το συγκεκριμένο πρανές όταν είναι οπλισμένο. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι με την εισαγωγή του οπλισμού αυξάνεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς, καθώς η εφαρμογή του οπλισμού συμβάλει στην αύξηση της ευστάθειας του πρανούς.

Τέλος, εφόσον πραγματοποιήθηκαν όλες οι παραπάνω διεργασίες έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων, Sarma – Tan και Sarma – Hoek, για άοπλα πρανή και παρατηρήθηκε το πώς μεταβάλλεται ο συντελεστής ασφαλείας όταν τα πρανή οπλισθούν. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση του οπλισμού στην ευστάθεια των πρανών μέσω της εφαρμογής του κατάλληλου οπλισμού στα αρχικά άοπλα πρανή και στη μετατροπή τους σε οπλισμένα.

4.1. Άοπλα πρανή

4.1.1. Μέθοδος Sarma – Tan

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό που στηρίζεται στη συγκεκριμένη μέθοδο, μελετήθηκε κατά πόσο επιδρούν διάφορες παράμετροι στη σύγκλιση της κρίσιμης επιτάχυνσης που υπολογίζεται από το πρόγραμμα για τα τμήματα 1 έως n-2 και αυτής που υπολογίζεται τα τμήματα n-1 έως n. Οι παράμετροι που μεταβάλλαμε ήταν το βήμα, η αρχική σεισμική επιτάχυνση, η γωνία τριβής και το ειδικό βάρος.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των διαφορετικών άοπλων πρανών που μελετήθηκαν, που αφορούν την κρίσιμη επιτάχυνση ολίσθησης και την κρίσιμη επιτάχυνση ολίσθησης όπως αυτή υπολογίστηκε από το πρόγραμμα.

4.1.1.1. Παραδείγματα

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 4.1) που παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά των άοπλων πρανών που μελετήθηκαν και οι κρίσιμες επιταχύνσεις που προέκυψαν. Κάθε ένα από τα παραδείγματα αναλύεται παρακάτω με λεπτομέρεια.

Πίνακας 4. 1: Συγκεντρωτικός πίνακας φυσικών χαρακτηριστικών άοπλων πρανών που αναλύθηκαν και κρίσιμων επιταχύνσεων που προέκυψαν για κάθε ένα από αυτά.

A/A	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γ) (kN/m ³)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ (φ) (°)	ΣΥΝΟΧΗ (c) (kPa)	ΑΡΧΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (kc)	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ (β) (°)	ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ (H) (m)	ΒΗΜΑ (m)	ΤΕΛΙΚΗ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (kcend)	ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ
1	20	35	5	0.040	34	15	1.00	0.18	
2	20	35	5	0.400	34	15	1.00	0.18	
3	20	35	5	0.120	34	15	1.00	0.18	
4	20	35	5	0.150	34	15	1.00	0.18	
5	20	35	5	0.180	34	15	1.00	0.18	
6	20	30	5	0.040	34	15	1.00	0.10	0.08
7	20	35	5	0.040	34	15	0.50	0.14	0.18
8	20	35	5	0.040	34	15	2.00	0.20	0.18
9	20	35	5	0.200	34	10	0.99	0.24	
10	20	35	5	0.120	34	20	0.99	0.14	0.16
11	20	35	5	0.120	34	20	1.50	0.16	
12	20	35	5	0.120	30	15	1.00	0.24	
13	20	35	5	0.120	40	15	1.00	0.12	0.10
14	20	35	5	0.120	40	15	1.50	0.10	
15	20	31	5	0.115	30	20	1.00	0.22	0.14
16	20	31	5	0.115	30	20	1.50	0.14	
17	20	20	5	0.300	12	10	1.00	0.40	0.24
18	20	20	5	0.300	12	5	1.00	0.30	
19	20	15	5	0.300	12	10	1.00	0.14	
20	20	20	5	0.180	20	10	1.00	0.14	
21	20	20	5	0.240	20	10	1.00	0.14	
22	20	35	5	0.240	20	10	1.00	0.40	0.38
23	20	20	5	0.240	20	10	2.74	0.14	
24	20	20	5	0.300	30	10	1.00	0.08	
25	20	35	5	0.300	30	10	1.50	0.30	
26	20	35	5	0.300	30	10	1.00	0.30	
27	20	35	5	0.300	30	10	0.50	0.30	
28	22	35	5	0.105	30	10	1.00	0.30	0.28
29	22	35	5	0.105	35	15	1.00	0.16	
30	22	35	5	0.105	35	10	1.00	0.22	
31	20	30	5	0.115	35	10	0.99	0.14	0.12
32	20	30	5	0.115	30	15	0.99	0.16	0.14
33	20	41	5	0.230	40	10	0.99	0.26	

Προκειμένου να μελετηθεί ποιοι παράγοντες συμβάλουν στη σύγκλιση της κρίσιμης επιτάχυνσης στα τμήματα 1 έως n-2 και n-1 έως n, μεταβλήθηκαν κάποια από τα χαρακτηριστικά του πρανούς και συγκεκριμένα το βήμα, την αρχική σεισμική επιτάχυνση, τη γωνία τριβής και το ειδικό βάρος του πρανούς. Έτσι λοιπόν, τα παραπάνω παραδείγματα κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την παράμετρο που μεταβάλλεται κάθε φορά ώστε να μελετηθεί πως αυτή επιδρά στην σύγκλιση της κρίσιμης επιτάχυνσης για όλα τα τμήματα του πρανούς.

Τα παραδείγματα 12, 15, 16, 17, 18, 19, 28, 29, 30, 31, 32 και 33 παρουσιάζονται στο Παράρτημα της παρούσας διπλωματικής.

4.1.1.2. Μεταβολή αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης

Αρχικά, εξετάστηκε το πώς επιδρά η αρχική σεισμική επιτάχυνση που δίνεται από το χρήστη στο πρόγραμμα ώστε να ξεκινήσει του υπολογισμούς προκειμένου να υπολογισθεί η τελική κρίσιμη επιτάχυνση του άοπλου πρανούς που μελετάται. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα παραδείγματα στα οποία μεταβλήθηκε η αρχική σεισμική επιτάχυνση καθώς και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει για κάθε ένα από αυτά.

Πίνακας 4. 2: Συγκεντρωτικός πίνακας παραδειγμάτων με διαφορετική αρχική σεισμική επιτάχυνση

A/A	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γ) (kN/m ³)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ (φ) (°)	ΣΥΝΟΧΗ (c) (kPa)	ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (kc)	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ (β) (°)	ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ (H) (m)	ΒΗΜΑ (m)	ΤΕΛΙΚΗ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (kcend)
1	20	35	5	0.04	34	15	1	0.18
2	20	35	5	0.40	34	15	1	0.18
3	20	35	5	0.12	34	15	1	0.18
4	20	35	5	0.15	34	15	1	0.18
5	20	35	5	0.18	34	15	1	0.18
20	20	20	5	0.18	20	10	1	0.14
21	20	20	5	0.24	20	10	1	0.14

Με βάση τα παραπάνω παραδείγματα και τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από αυτά, παρατηρείται ότι παρόλο που μεταβάλλεται η αρχική σεισμική επιτάχυνση, η κρίσιμη επιτάχυνση που προκύπτει είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις. Συγκεκριμένα στα παραδείγματα 1-5 γίνονται δοκιμές για ένα εύρος επιταχύνσεων από 0.04 έως 0.40, δηλαδή εξετάζονται τιμές σεισμικής επιτάχυνσης πολύ μεγάλες, μεσαίες και

πολύ μικρές. Σε όλες τις περιπτώσεις η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει είναι 0.18. Επίσης, στα παραδείγματα 20 και 21 η αρχική σεισμική επιτάχυνση παίρνει τιμές 0.18 και 0.24 και τελικά και στις δυο περιπτώσεις η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που υπολογίζει το πρόγραμμα για το συγκεκριμένο πρανές είναι 0.14. Διαπιστώνεται λοιπόν, ότι η μεταβολή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης που δίνεται από το χρήστη προκειμένου να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί δεν επηρεάζει την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει για πρανές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Δηλαδή, αυτό που συμπεραίνεται είναι ότι όποια τιμή κι αν δοθεί ως αρχική σεισμική επιτάχυνση, η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης που υπολογίζεται δεν μεταβάλλεται γιατί το συγκεκριμένο πρανές μπορεί να αστοχήσει μόνο όταν η σεισμική επιτάχυνση που θα εφαρμοστεί σε αυτό πάρει συγκεκριμένη τιμή.

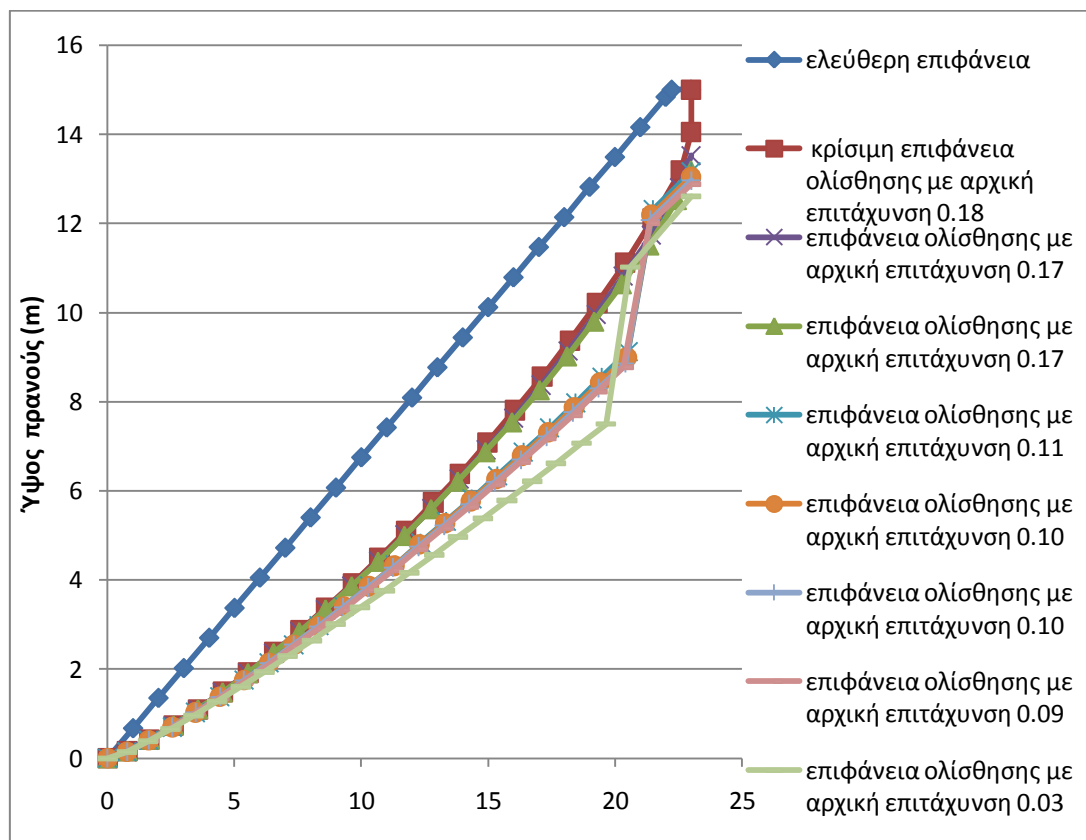
- **Παράδειγμα 1**

Στο πρώτο παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 3: Αποτελέσματα παραδείγματος 1

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0							
1	11.5	23.5	1	0.67	0.78	0.16	0	4.1	5.76	5.69	7.99
2	16.5	20	2	1.35	1.66	0.42	0.12	9.64	11.88	11.69	12.95
3	19	17.5	3	2.02	2.6	0.74	0.18	15.84	17.47	17.81	17.17
4	20.5	15.5	4	2.7	3.56	1.1	0.09	22.43	22.8	23.99	21.1
5	21.5	13.5	5	3.37	4.55	1.49	0.59	29.22	27.85	30.13	24.83
6	23	12	6	4.05	5.55	1.92	0.2	35.57	31.87	35.8	27.74
7	24.5	10.5	7	4.72	6.57	2.38	0.5	41.22	35.86	40.77	30.71
8	25.5	9	8	5.4	7.6	2.87	0.7	46.17	39.18	45.1	33.16
9	26.5	8	9	6.07	8.62	3.38	0.53	50.48	40.83	48.92	34.3
10	27.5	6.5	10	6.75	9.68	3.93	0.87	53.9	44.24	51.89	36.93
11	28.5	5.5	11	7.42	10.72	4.5	0.62	56.31	44.93	54.11	37.37
12	30	4.5	12	8.09	11.76	5.1	1.11	57.44	46.41	55.23	38.53
13	30.5	3	13	8.77	12.84	5.74	0.64	57.77	48.35	55.64	40.1
14	31.5	2	14	9.44	13.89	6.38	0.87	56.99	47.33	55.23	39.31
15	33	0.5	15	10.12	14.97	7.08	0.67	54.58	48.52	53.39	40.41
16	34	-1	16	10.79	16.05	7.81	0.53	50.97	47.55	50.61	39.8
17	35	-2.5	17	11.47	17.13	8.56	0.56	46.48	45.7	47.08	38.56
18	36.5	-4.5	18	12.14	18.22	9.37	0.4	40.61	44.54	42.34	37.97
19	38	-6.5	19	12.82	19.3	10.21	0.29	33.75	41.31	36.73	35.77
20	39.5	-9.5	20	13.49	20.4	11.12	0.65	26.05	38.48	30.26	34.07
21	42	-13.5	21	14.16	21.49	12.11	0.58	17.2	34.01	22.63	31.2
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.13	8.05	27.77	14.39	27.19
23	65	0	23	15	23	14.05	0	-0.48	1.71	4.4	5.94
kcend:	0.18										
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.13				
23	65	0	23	15	23	14.05	0.13	-0.48			
kcend:	0.18										



Σχήμα 4. 1: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 1)

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι ενδιάμεσες επιφάνειες που δημιουργούνται με βάση την αρχική σεισμική επιτάχυνση που έχει τεθεί από το πρόγραμμα, μέχρι να βρεθεί η κατάλληλη αρχική σεισμική επιτάχυνση η οποία θα δημιουργήσει την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης στην οποία θα αντιστοιχεί και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που θα είναι ίδια για όλα τα τμήματα του πρανούς, δηλαδή τα τμήματα 1 έως n-2 και n-1 έως n να συγκλίνουν. Αρχικά, για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί στο πρόγραμμα, η αρχική σεισμική επιτάχυνση τέθηκε 0.04, επειδή όμως με αυτή την επιτάχυνση δεν δημιουργήθηκε κάποια επιφάνεια ολίσθησης, το πρόγραμμα μείωσε αυτή την τιμή σε 0.03 και έτσι δημιουργήθηκε μια επιφάνεια ολίσθησης η οποία όμως δεν ήταν κρίσιμη καθώς το πρανές δεν συγκλίνει αφού η επιτάχυνση που προκύπτει από το πρόγραμμα για τα 21 από τα 23 τμήματα του πρανούς είναι 0.36 ενώ για τελευταία 2 τμήματα 0.04.

Έπειτα, το πρόγραμμα επιλέγει να αυξήσει την τιμή της επιτάχυνσης μέχρι να βρει την κατάλληλη αρχική τιμή επιτάχυνσης η οποία θα οδηγήσει σε σύγκλιση του

πρανούς. Έτσι λοιπόν, η επόμενη τιμή της αρχικής επιτάχυνσης από την οποία προκύπτει επιφάνεια είναι η τιμή 0.09 για την οποία όμως πάλι δεν συγκλίνει το πρανές, αφού η επιτάχυνση που προκύπτει για τα 21 από τα 23 τμήματα είναι 0.38 και για τα 2 τελευταία 0.10. Η επόμενη τιμή της επιτάχυνσης με την οποία το πρόγραμμα δημιουργεί επιφάνεια είναι η τιμή 0.10 με την οποία γίνονται δυο δοκιμές και δημιουργούνται δυο επιφάνειες καμία από τις οποίες όμως δεν είναι η κρίσιμη αφού δεν συγκλίνουν οι επιταχύνσεις των πρώτων 21 τμημάτων με τα δυο τελευταία. Ακολουθώντας, το πρόγραμμα παίρνει την αμέσως επόμενη επιτάχυνση η οποία είναι 0.11 και δημιουργεί και για αυτή μια επιφάνεια, η οποία πάλι δεν είναι η κρίσιμη εφόσον δεν συγκλίνουν οι επιταχύνσεις των αρχικών τμημάτων και των δυο τελευταίων, οι οποίες αντίστοιχα είναι 0.38 και 0.10.

Η επόμενη τιμή που επιλέγει το πρόγραμμα να χρησιμοποιήσει ως αρχική για να υπολογίσει μια νέα επιφάνεια είναι η τιμή 0.17, για την οποία κάνει 2 δοκιμές, όμως ούτε και από εκείνη προκύπτει κρίσιμη επιφάνεια καθώς δεν συγκλίνουν οι επιταχύνσεις που προκύπτουν για τα πρώτα 21 τμήματα και για τα δυο τελευταία, οι οποίες είναι για την πρώτη δοκιμή με 0.17 αρχική επιτάχυνση 0.34 και 0.18 αντίστοιχα και για τη δεύτερη δοκιμή με 0.17 είναι 0.28 και 0.18 αντίστοιχα. Επομένως, το πρόγραμμα παίρνει στη συνέχεια την τιμή 0.18 ως αρχική επιτάχυνση για την οποία προκύπτει κρίσιμη επιφάνεια αφού η επιτάχυνση που προκύπτει είναι ίδια για όλα τα τμήματα του πρανούς και είναι κρίσιμη επιτάχυνση, η οποία είναι 0.18. Από αυτή την επαναληπτική διαδικασία που εκτελεί το πρόγραμμα διαπιστώνουμε ότι αν και δημιουργούνται κάποιες επιφάνειες με αρχικές επιταχύνσεις μικρότερες από 0.18, παρόλα αυτά δεν είναι κρίσιμες και το πρόγραμμα τις απορρίπτει και κάνει δοκιμές με μεγαλύτερες αρχικές επιταχύνσεις μέχρι να βρει την κρίσιμη η οποία είναι 0.18.

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται όλες οι ενδιάμεσες επιφάνειες ολίσθησης που δημιουργήθηκαν καθώς και η κρίσιμη σεισμική επιφάνεια ολίσθησης. Με βάση το σχήμα, παρατηρείται ότι όσο μικρότερη είναι η αρχική σεισμική επιτάχυνση από την οποία έχει δημιουργηθεί η αντίστοιχη επιφάνεια ολίσθησης, τόσο πιο πολύ αποκλίνει η συγκεκριμένη επιφάνεια από την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και τόσο μεγαλύτερες ανομοιομορφίες παρουσιάζονται ιδιαίτερα στα τελευταία τμήματα των επιφανειών αυτών. Επιπλέον, εξάγεται το συμπέρασμα ότι όσο πιο κοντινή στην τιμή

της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης είναι η αρχική σεισμική επιτάχυνση από την οποία δημιουργείται η επιφάνεια ολίσθησης, τόσο πιο ομαλή είναι σαν επιφάνεια και τόσο καλύτερα προσεγγίζει την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης.

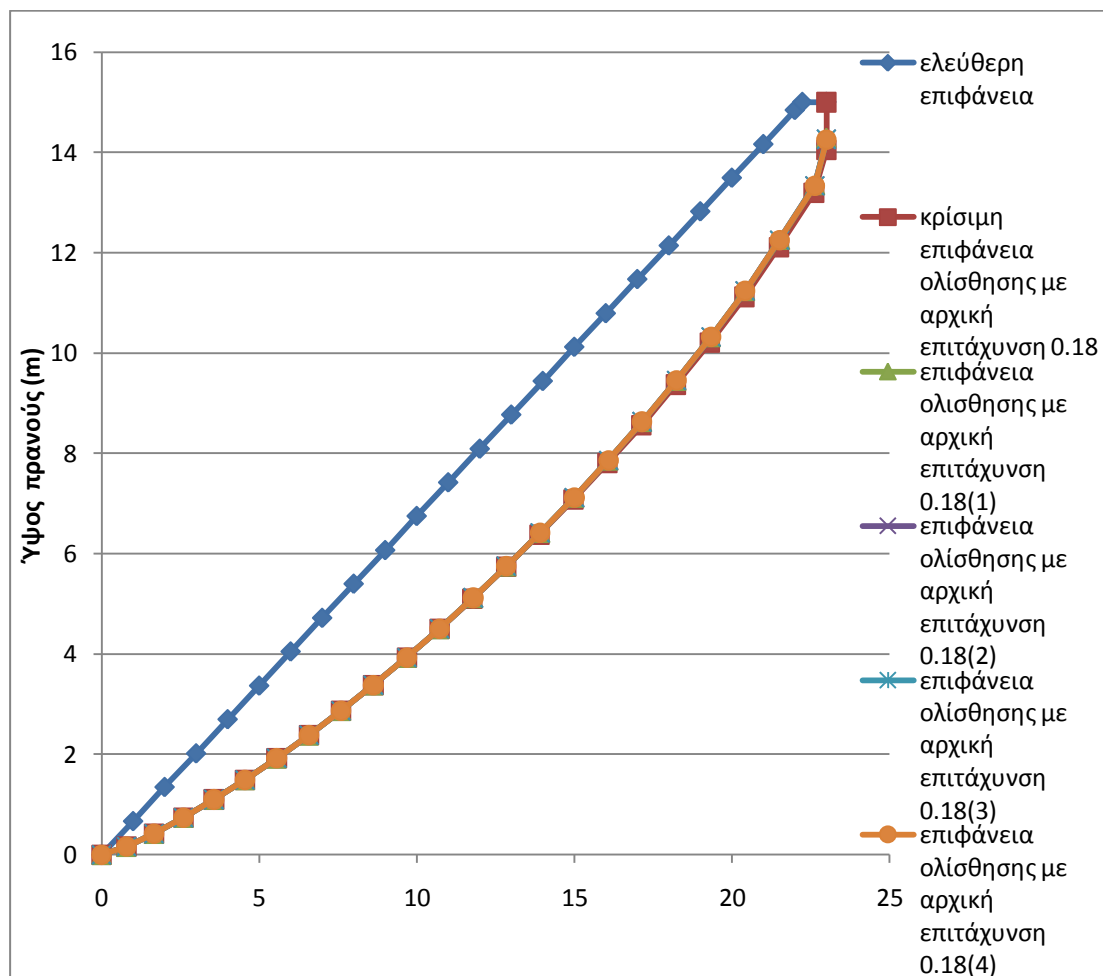
- **Παράδειγμα 2**

Τα χαρακτηριστικά του πρανού που εξετάζεται στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.4$
- Γωνία πρανού $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανού 15 m
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 4: Αποτελέσματα παραδείγματος 2

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0							
1	11.5	23.5	1	0.67	0.78	0.16	0	4.1	5.76	5.69	7.99
2	16.5	20	2	1.35	1.66	0.42	0.12	9.64	11.89	11.69	12.95
3	19	17.5	3	2.02	2.6	0.74	0.18	15.84	17.47	17.81	17.17
4	20.5	15.5	4	2.7	3.56	1.1	0.09	22.43	22.8	23.99	21.1
5	21.5	13.5	5	3.37	4.55	1.49	0.59	29.22	27.85	30.13	24.83
6	23	12	6	4.05	5.55	1.92	0.2	35.57	31.87	35.8	27.74
7	24.5	10.5	7	4.72	6.57	2.38	0.5	41.22	35.86	40.77	30.71
8	25.5	9	8	5.4	7.6	2.87	0.7	46.17	39.18	45.1	33.16
9	26.5	8	9	6.07	8.62	3.38	0.53	50.49	40.83	48.92	34.3
10	27.5	6.5	10	6.75	9.68	3.93	0.87	53.9	44.24	51.89	36.93
11	28.5	5.5	11	7.42	10.72	4.5	0.62	56.31	44.93	54.11	37.37
12	30	4.5	12	8.09	11.76	5.1	1.11	57.44	46.41	55.23	38.53
13	30.5	3	13	8.77	12.84	5.74	0.64	57.77	48.35	55.64	40.1
14	31.5	2	14	9.44	13.89	6.38	0.87	56.99	47.33	55.23	39.31
15	33	0.5	15	10.12	14.97	7.08	0.67	54.58	48.52	53.39	40.41
16	34	-1	16	10.79	16.05	7.81	0.53	50.97	47.55	50.61	39.8
17	35	-2.5	17	11.47	17.13	8.56	0.56	46.48	45.7	47.09	38.56
18	36.5	-4.5	18	12.14	18.22	9.37	0.4	40.61	44.54	42.34	37.97
19	38	-6.5	19	12.82	19.3	10.21	0.29	33.75	41.31	36.73	35.77
20	39.5	-9.5	20	13.49	20.4	11.12	0.65	26.05	38.48	30.26	34.07
21	42	-13.5	21	14.16	21.49	12.11	0.58	17.2	34.01	22.63	31.2
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.12	8.05	27.77	14.39	27.19
23	65	0	23	15	23	14.05	0	-0.48	1.71	4.4	5.94
kcend:	0.18										
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.12				
23	65	0	23	15	23	14.05	0.12	-0.48			
kcend:	0.18										



Σχήμα 4. 2: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 2)

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι επιφάνειες ολίσθησης που σχηματίζονται για διάφορες αρχικές τιμές επιταχύνσεων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα δόθηκε σαν αρχική τιμή επιτάχυνσης 0.4 για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί στο πρόγραμμα. Αυτή η τιμή όμως είναι πολύ μεγάλη για να την αντέξει το συγκεκριμένο πρανές και το πρόγραμμα δεν μπορεί να δημιουργήσει κάποια επιφάνεια ολίσθησης. Έτσι το πρόγραμμα άρχισε να μειώνει την τιμή της επιτάχυνσης που του δόθηκε μέχρι να βρει την κατάλληλη τιμή με την οποία θα μπορέσει να δημιουργήσει μια επιφάνεια ολίσθησης και να δώσει τιμή για την επιτάχυνση. Η αρχική τιμή της επιτάχυνσης μειωνόταν ανά 0.01 μέχρι να βρεθεί η τιμή 0.18 όπου εκεί δημιουργήθηκε επιφάνεια ολίσθησης και δόθηκαν κάποιες τιμές για την τελική επιτάχυνση. Έγιναν πέντε δοκιμές με αρχική επιτάχυνση 0.18, από τις οποίες δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες επιφάνειες ολίσθησης. Οι τέσσερις από τις

πέντε δοκιμές απορρίφθηκαν καθώς δεν υπήρχε σύγκλιση των τιμών της επιτάχυνσης για τα αρχικά και τα αρχικά και τα 2 τελευταία τμήματα του πρανούς και στις τέσσερεις περιπτώσεις οι αντίστοιχες τιμές ήταν 0.14 και 0.18. Στην τελευταία δοκιμή όμως με αρχική επιτάχυνση 0.18, παρατηρήθηκε σύγκλιση των τιμών της επιτάχυνσης για όλα τα τμήματα του πρανούς και αυτή η επιτάχυνση θεωρείται ότι είναι η κρίσιμη επιτάχυνση, η οποία είναι 0.18 και η αντίστοιχη επιφάνεια που προκύπτει είναι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης.

Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και οι ενδιάμεσες επιφάνειες που δημιουργήθηκαν. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι ενδιάμεσες επιφάνειες και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης ταυτίζονται αφού όλες δημιουργήθηκαν με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.18.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα αυτού του παραδείγματος και του παραδείγματος 1, όπου στο ένα παράδειγμα δόθηκε πολύ μεγάλη αρχική επιτάχυνση (0.40) για να ξεκινήσει το πρόγραμμα τους υπολογισμούς και στο άλλο παράδειγμα πολύ μικρή (0.04), διαπιστώνεται ότι το συγκεκριμένο πρανές δίνει κρίσιμη επιτάχυνση (0.18) και την αντίστοιχη κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης μόνο όταν η αρχική τιμή της επιτάχυνσης με την οποία ξεκινάει να εκτελεί μια επανάληψη είναι 0.18. Δηλαδή, για τιμές μεγαλύτερες από 0.18 δεν σχηματίζει καμία επιφάνεια ολίσθησης και για τιμές μικρότερες από 0.18 αν και σχηματίζει κάποιες ενδιάμεσες επιφάνειες, εντούτοις δεν είναι αποδεκτές καθώς δεν παρατηρείται σύγκλιση των επιταχύνσεων που υπολογίζονται για όλα τα τμήματα του πρανούς. Δηλαδή αν δοθεί μικρότερη τιμή από την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση γίνεται ένα ξεκίνημα ώστε να δημιουργηθούν κάποιες επιφάνειες αστοχίας, αλλά αν δοθεί μεγαλύτερη τιμή τότε το πρανές αστοχεί γιατί δεν ικανοποιούνται οι εξισώσεις βάσει των οποίων έχει αναπτυχθεί η συγκεκριμένη μέθοδος.

• **Παράδειγμα 3**

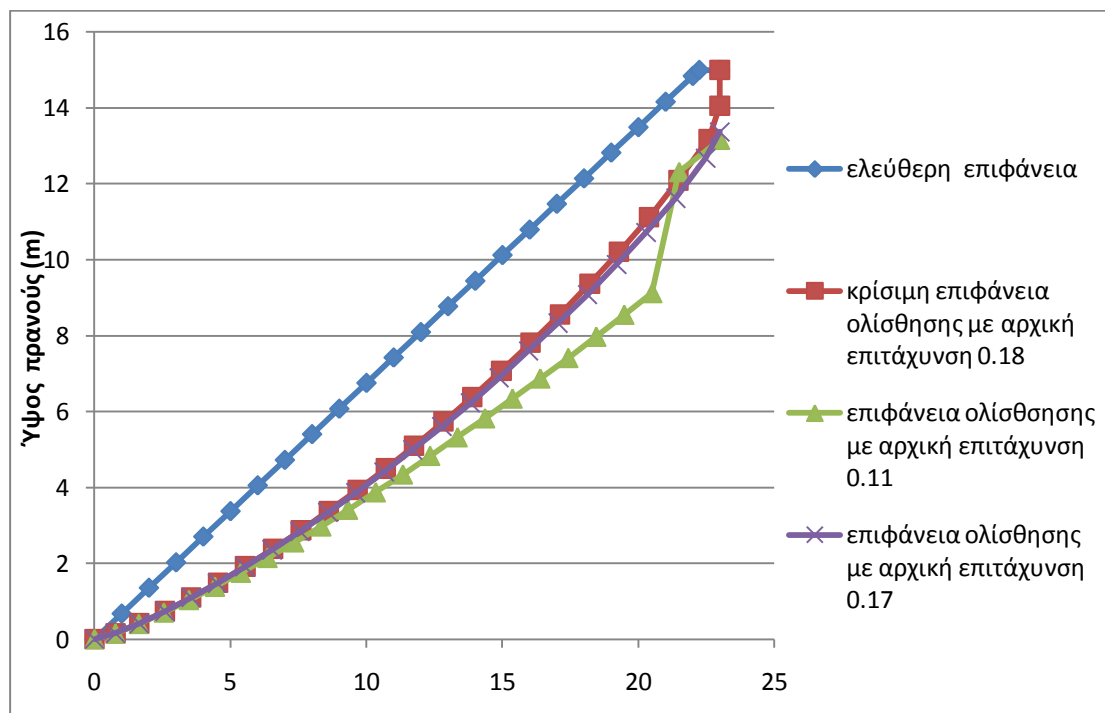
Τα χαρακτηριστικά του πρανούς που εξετάζεται στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$

- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 5: Αποτελέσματα παραδείγματος 3

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0							
1	11.5	23.5	1	0.67	0.78	0.16	0	4.1	5.76	5.69	7.99
2	16.5	20	2	1.35	1.66	0.42	0.13	9.65	11.89	11.7	12.95
3	19	17.5	3	2.02	2.6	0.74	0.19	15.85	17.47	17.82	17.17
4	20.5	15.5	4	2.7	3.56	1.1	0.07	22.45	22.81	24	21.1
5	21.5	13.5	5	3.37	4.55	1.49	0.61	29.24	27.86	30.15	24.83
6	23	12	6	4.05	5.55	1.92	0.22	35.6	31.88	35.82	27.75
7	24.5	10.5	7	4.72	6.57	2.38	0.52	41.25	35.88	40.79	30.72
8	25.5	9	8	5.4	7.6	2.87	0.75	46.22	39.19	45.13	33.17
9	26.5	8	9	6.07	8.62	3.38	0.49	50.54	40.85	48.96	34.31
10	27.5	6.5	10	6.75	9.68	3.93	0.93	53.95	44.26	51.93	36.95
11	28.5	5.5	11	7.42	10.72	4.5	0.59	56.37	44.95	54.15	37.39
12	30	4.5	12	8.09	11.76	5.1	1.05	57.51	46.43	55.28	38.55
13	30.5	3	13	8.77	12.84	5.74	0.72	57.84	48.37	55.69	40.12
14	31.5	2	14	9.44	13.89	6.38	0.81	57.06	47.35	55.28	39.33
15	33	0.5	15	10.12	14.97	7.08	0.71	54.65	48.55	53.45	40.43
16	34	-1	16	10.79	16.05	7.81	0.59	51.05	47.58	50.66	39.82
17	35	-2.5	17	11.47	17.13	8.56	0.54	46.56	45.73	47.14	38.58
18	36.5	-4.5	18	12.14	18.22	9.37	0.5	40.69	44.57	42.39	38
19	38	-6.5	19	12.82	19.3	10.21	0.19	33.82	41.34	36.79	35.79
20	39.5	-9.5	20	13.49	20.4	11.12	0.71	26.12	38.52	30.31	34.1
21	42	-13	21	14.16	21.48	12.09	0.62	17.44	33.58	22.84	30.79
22	44.5	-19.5	22	14.84	22.59	13.18	0.45	8.37	28.19	14.65	27.51
23	64.5	0	23	15	23	14.05	0	0.01	1.64	4.76	5.95
kcend:	0.18										
22	44.5	-19.5	22	14.84	22.59	13.18	0.45				
23	64.5	0	23	15	23	14.05	0.45	0.01			
kcend:	0.18										



Σχήμα 4. 3: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 3)

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε ως αρχική σεισμική επιτάχυνση στο πρόγραμμα 0.12. Η διαδικασία που ακολουθείται για να προκύψει η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης είναι όμοια με αυτή που περιγράφηκε στα προηγούμενα παραδείγματα. Έτσι μετά από επαναλήψεις το πρόγραμμα λαμβάνει ως αρχική σεισμική επιτάχυνση την τιμή 0.18, στην οποία παρατηρείται σύγκλιση των τιμών της υπολογιζόμενης τελικής επιτάχυνσης για όλα τα τμήματα του πρανού και έτσι αυτή η επιτάχυνση είναι η κρίσιμη. Τέλος, προκύπτει και η αντίστοιχη επιφάνεια ολίσθησης η οποία είναι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης.

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζονται η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού και οι ενδιάμεσες επιφάνειες ολίσθησης που δημιουργήθηκαν. Με βάση το σχήμα, παρατηρείται ότι για αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.17, η επιφάνεια ολίσθησης που προκύπτει δεν εμφανίζει ιδιαίτερες ανωμαλίες και προσεγγίζει πιο πολύ την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Ενώ, η επιφάνεια ολίσθησης που προκύπτει με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.11, παρουσιάζει περισσότερες διαφορές σε σχέση με την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, διότι αν και στα αρχικά τμήματα οι δυο επιφάνειες σχεδόν ταυτίζονται, στη συνέχεια αποκλίνουν και απομακρύνονται ως επιφάνειες και στα

τελευταία τμήματα η επιφάνεια ολίσθησης με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.11 παρουσιάζει έντονες ανομοιομορφίες.

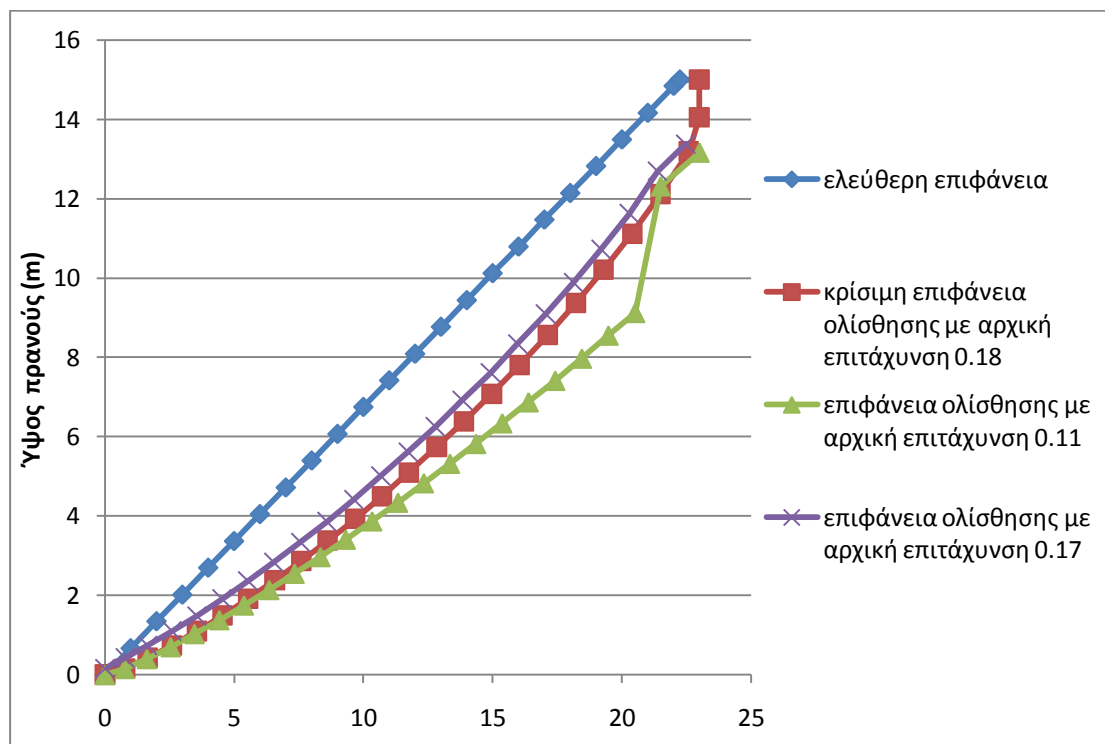
- **Παράδειγμα 4**

Το πρανές που μελετάται στο τέταρτο παράδειγμα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.15$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 6: Αποτελέσματα παραδείγματος 4

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0							
1	11.5	23.5	1	0.67	0.78	0.16	0	4.1	5.76	5.69	7.99
2	16.5	20	2	1.35	1.66	0.42	0.13	9.65	11.89	11.7	12.95
3	19	17.5	3	2.02	2.6	0.74	0.18	15.85	17.47	17.82	17.17
4	20.5	15.5	4	2.7	3.56	1.1	0.08	22.44	22.81	24	21.1
5	21.5	13.5	5	3.37	4.55	1.49	0.61	29.24	27.86	30.15	24.83
6	23	12	6	4.05	5.55	1.92	0.22	35.6	31.88	35.82	27.74
7	24.5	10.5	7	4.72	6.57	2.38	0.52	41.25	35.88	40.79	30.72
8	25.5	9	8	5.4	7.6	2.87	0.75	46.21	39.19	45.13	33.17
9	26.5	8	9	6.07	8.62	3.38	0.49	50.53	40.85	48.95	34.31
10	27.5	6.5	10	6.75	9.68	3.93	0.92	53.95	44.25	51.92	36.95
11	28.5	5.5	11	7.42	10.72	4.5	0.59	56.37	44.95	54.15	37.38
12	30	4.5	12	8.09	11.76	5.1	1.06	57.5	46.43	55.27	38.55
13	30.5	3	13	8.77	12.84	5.74	0.71	57.83	48.37	55.68	40.12
14	31.5	2	14	9.44	13.89	6.38	0.81	57.06	47.35	55.28	39.32
15	33	0.5	15	10.12	14.97	7.08	0.71	54.65	48.54	53.44	40.43
16	34	-1	16	10.79	16.05	7.81	0.59	51.04	47.58	50.66	39.82
17	35	-2.5	17	11.47	17.13	8.56	0.54	46.55	45.73	47.14	38.58
18	36.5	-4.5	18	12.14	18.22	9.37	0.49	40.68	44.57	42.39	37.99
19	38	-6.5	19	12.82	19.3	10.21	0.2	33.82	41.34	36.78	35.79
20	39.5	-9.5	20	13.49	20.4	11.12	0.71	26.11	38.51	30.31	34.1
21	42	-13.5	21	14.16	21.49	12.11	0.62	17.27	34.05	22.67	31.22
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.1	8.08	27.79	14.42	27.21
23	65	0	23	15	23	14.05	0	-0.43	1.7	4.43	5.93
kcend:	0.18										
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.1				
23	65	0	23	15	23	14.05	0.1	-0.43			
kcend:	0.18										



Σχήμα 4. 4: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 4)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε ως αρχική σεισμική επιτάχυνση η τιμή 0.15. Μετά από επαναλήψεις που έγιναν με διάφορες τιμές αρχικών σεισμικών επιταχύνσεων, προέκυψε η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση η οποία είναι ίση με 0.18.

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς και οι ενδιάμεσες επιφάνειες ολίσθησης που δημιουργήθηκαν. Παρατηρείται ότι για αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.17, η επιφάνεια ολίσθησης που προκύπτει δεν εμφανίζει ιδιαίτερες ανωμαλίες και προσεγγίζει πιο πολύ την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Αντιθέτως, η επιφάνεια ολίσθησης που προκύπτει από αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.11, παρουσιάζει περισσότερες διαφορές σε σχέση με την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, αφού ενώ στα αρχικά τμήματα οι δυο επιφάνειες ταυτίζονται, από το μέσον και μετά αποκλίνουν και απομακρύνονται ως επιφάνειες και επιπλέον στα τελευταία τμήματα η επιφάνεια ολίσθησης με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.11 παρουσιάζει έντονες ανωμαλίες.

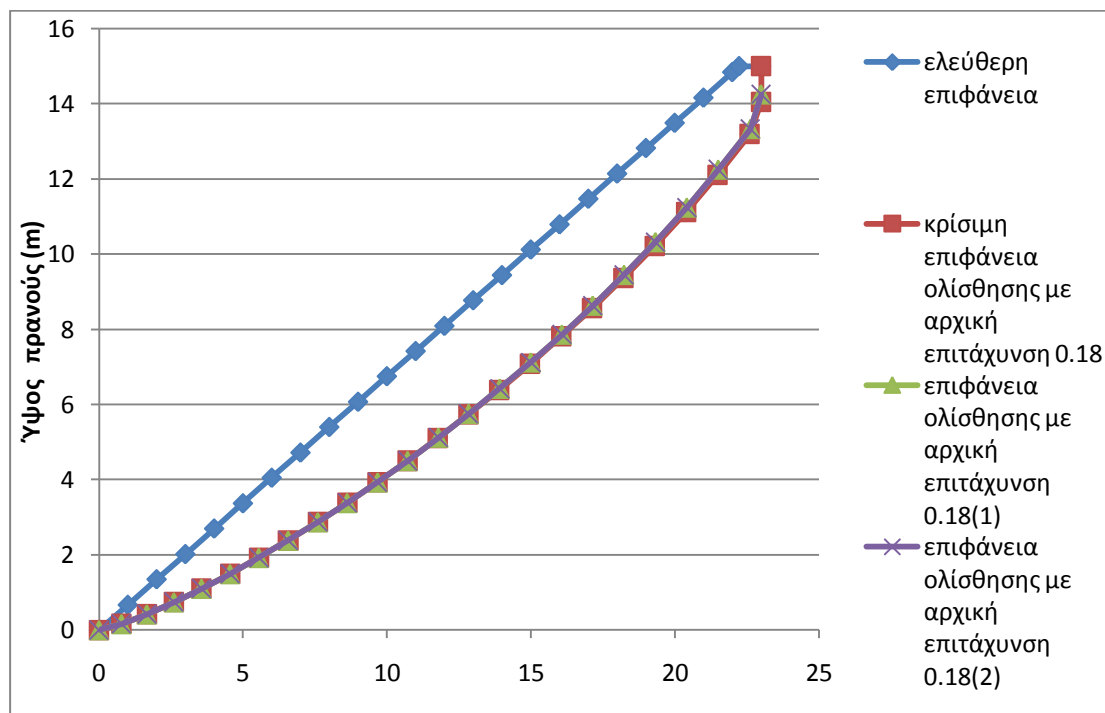
• **Παράδειγμα 5**

Το πρανές που μελετάται στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.18$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 7: Αποτελέσματα παραδείγματος 5

slice	a	Delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0							
1	11.5	23.5	1	0.67	0.78	0.16	0	4.1	5.76	5.69	7.99
2	16.5	20	2	1.35	1.66	0.42	0.13	9.65	11.89	11.7	12.95
3	19	17.5	3	2.02	2.6	0.74	0.18	15.84	17.47	17.81	17.17
4	20.5	15.5	4	2.7	3.56	1.1	0.09	22.44	22.81	23.99	21.1
5	21.5	13.5	5	3.37	4.55	1.49	0.6	29.23	27.85	30.14	24.83
6	23	12	6	4.05	5.55	1.92	0.21	35.58	31.87	35.81	27.74
7	24.5	10.5	7	4.72	6.57	2.38	0.51	41.23	35.87	40.78	30.72
8	25.5	9	8	5.4	7.6	2.87	0.72	46.19	39.18	45.11	33.17
9	26.5	8	9	6.07	8.62	3.38	0.52	50.5	40.84	48.93	34.3
10	27.5	6.5	10	6.75	9.68	3.93	0.89	53.92	44.24	51.9	36.94
11	28.5	5.5	11	7.42	10.72	4.5	0.61	56.33	44.94	54.12	37.38
12	30	4.5	12	8.09	11.76	5.1	1.09	57.47	46.41	55.25	38.54
13	30.5	3	13	8.77	12.84	5.74	0.66	57.79	48.36	55.65	40.11
14	31.5	2	14	9.44	13.89	6.38	0.85	57.01	47.34	55.25	39.31
15	33	0.5	15	10.12	14.97	7.08	0.68	54.6	48.53	53.41	40.42
16	34	-1	16	10.79	16.05	7.81	0.55	51	47.56	50.63	39.81
17	35	-2.5	17	11.47	17.13	8.56	0.55	46.51	45.71	47.1	38.57
18	36.5	-4.5	18	12.14	18.22	9.37	0.44	40.64	44.55	42.36	37.98
19	38	-6.5	19	12.82	19.3	10.21	0.25	33.77	41.32	36.75	35.77
20	39.5	-9.5	20	13.49	20.4	11.12	0.67	26.07	38.49	30.28	34.08
21	42	-13.5	21	14.16	21.49	12.11	0.59	17.23	34.02	22.64	31.21
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.11	8.06	27.78	14.4	27.2
23	65	0	23	15	23	14.05	0	-0.46	1.71	4.41	5.94
kcend:	0.18										
22	44.5	-20	22	14.84	22.6	13.19	0.11				
23	65	0	23	15	23	14.05	0.11	-0.46			
kcend:	0.18										



Σχήμα 4. 5: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 5)

Σε αυτό το παράδειγμα τέθηκε ως αρχική σεισμική επιτάχυνση η τιμή 0.18, που με βάση τα προηγούμενα παραδείγματα είναι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για το συγκεκριμένο πρανές. Παρόλα αυτά, το πρόγραμμα εκτελεί δυο επαναλήψεις με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.18 κατά τις οποίες δεν παρατηρείται σύγκλιση του πρανούς, ενώ στην τρίτη επανάληψη που εκτελεί το πρόγραμμα με αρχική επιτάχυνση 0.18 η επιτάχυνση που προκύπτει είναι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και έχει τιμή 0.18 και δημιουργείται και η αντίστοιχη κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης.

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται οι ενδιάμεσες επιφάνειες που δημιουργούνται καθώς και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης καθώς και οι ενδιάμεσες επιφάνειες σχεδόν ταυτίζονται και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τιμή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης που δημιουργήθηκαν όλες αυτές είναι 0.18, που είναι ίση με την τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης.

• **Παράδειγμα 20**

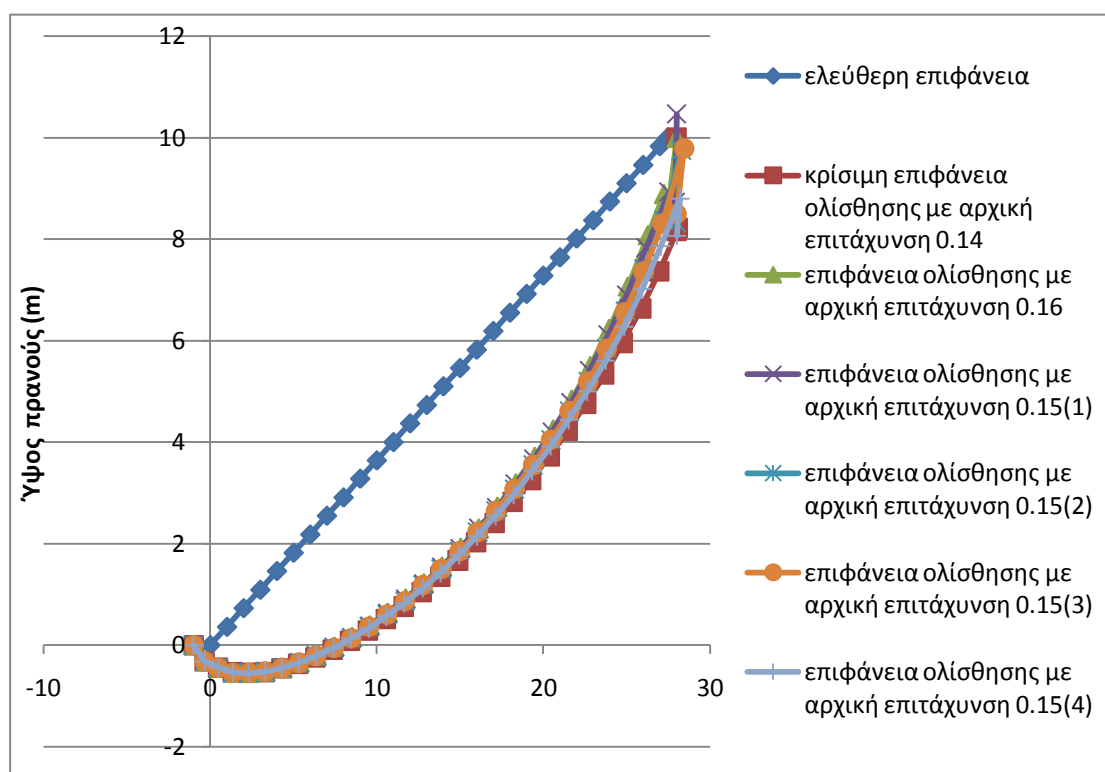
Το πρανές του συγκεκριμένου παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.18$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 8: Αποτελέσματα παραδείγματος 20

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-25.5	45	0	0	-0.32	-0.32	0.06	5.51	5.3	4.29	5.68
2	-8.5	33	1	0.36	0.48	-0.44	0.09	12.82	12.31	9.47	8.52
3	-6	27	2	0.73	1.36	-0.53	0.19	23.4	21.6	15.61	12.29
4	-1	23	3	1.09	2.3	-0.55	0.31	34.54	29.37	21.5	15.42
5	1.5	20	4	1.46	3.28	-0.53	0.24	46.12	36.28	27.33	18.09
6	3.5	17.5	5	1.82	4.28	-0.46	0.11	57.74	42.64	32.99	20.53
7	5.5	15.5	6	2.18	5.29	-0.37	0.55	68.8	48.01	38.28	22.56
8	7	13.5	7	2.55	6.33	-0.24	0.38	79.29	53.59	43.19	24.74
9	8.5	12	8	2.91	7.36	-0.09	0.77	88.84	57.04	47.66	25.98
10	9.5	10.5	9	3.28	8.41	0.09	0.65	97.88	61.12	51.83	27.55
11	10.5	9	10	3.64	9.47	0.29	0.64	106.07	64.86	55.58	28.99
12	12	7.5	11	4	10.54	0.51	0.11	112.52	68.27	58.55	30.32
13	13	6	12	4.37	11.62	0.76	0.57	117.7	70.82	60.96	31.32
14	14.5	4.5	13	4.73	12.71	1.04	0.8	120.82	72.95	62.47	32.17
15	15.5	3	14	5.1	13.8	1.35	1.04	122.51	74.2	63.35	32.68
16	17	2	15	5.46	14.87	1.67	1.04	122.47	72.72	63.52	32.03
17	18	0.5	16	5.82	15.97	2.03	0.15	121.13	75.23	63.05	33.16
18	19	-1	17	6.19	17.07	2.41	0.22	118.2	74.89	61.91	33.07
19	20.5	-2.5	18	6.55	18.16	2.82	0.47	113.23	73.91	59.89	32.76
20	21.5	-4	19	6.92	19.26	3.25	0.39	107.11	72.09	57.36	32.12
21	23	-6	20	7.28	20.37	3.72	0.83	98.98	71.83	53.9	32.21
22	24.5	-8	21	7.64	21.48	4.23	0.72	89.16	68.47	49.69	31
23	26	-10	22	8.01	22.57	4.76	0.33	78.24	64.16	44.96	29.43
24	27.5	-12.5	23	8.37	23.67	5.33	0.45	66.37	60.65	39.71	28.28
25	29.5	-15.5	24	8.74	24.77	5.96	0.45	53.33	55.89	33.84	26.65
26	31.5	-19.5	25	9.1	25.87	6.63	0.28	39.63	50.35	27.52	24.79
27	34	-25	26	9.46	26.97	7.37	0.45	25.54	43.18	20.82	22.35
28	37.5	-34	27	9.83	28.08	8.22	0.3	11.33	34.66	13.8	19.6
29	37.5	0	28	10	28	8.16	0	-0.09	-0.68	9.16	0.27

kcend:	0.14										
28	37.5	-34	27	9.83	28.08	8.22	0.3				
29	37.5	0	28	10	28	8.16	0.3	-0.09			
kcend:	0.14										



Σχήμα 4. 6: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ (Παράδειγμα 20)

Σε αυτό το παράδειγμα τέθηκε ως αρχική σεισμική επιτάχυνση η τιμή 0.18. ακολουθώντας την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω εκτελέστηκαν επαναλήψεις με αρχική σεισμική επιτάχυνση η οποία μειωνόταν σταδιακά κατά 0.01, μέχρι η τιμή της να γίνει 0.14 από την οποία και προέκυψε η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης με κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση 0.14.

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς και οι ενδιάμεσες επιφάνειες ολίσθησης που δημιουργήθηκαν. Παρατηρείται ότι και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης αλλά και οι ενδιάμεσες επιφάνειες έχουν σχεδόν κυκλική μορφή αστοχίας. Οι ενδιάμεσες επιφάνειες ολίσθησης που δημιουργούνται με αρχική επιτάχυνση 0.15 και 0.16 παρουσιάζουν έντονες ανωμαλίες ιδιαίτερα στα

δυο τελευταία τμήματα καθώς ο μηχανισμός αστοχίας φαίνεται ότι βρίσκεται πιο ψηλά από την ελεύθερη επιφάνεια. Παρόλα αυτά προσεγγίζουν καλά την τελική κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης.

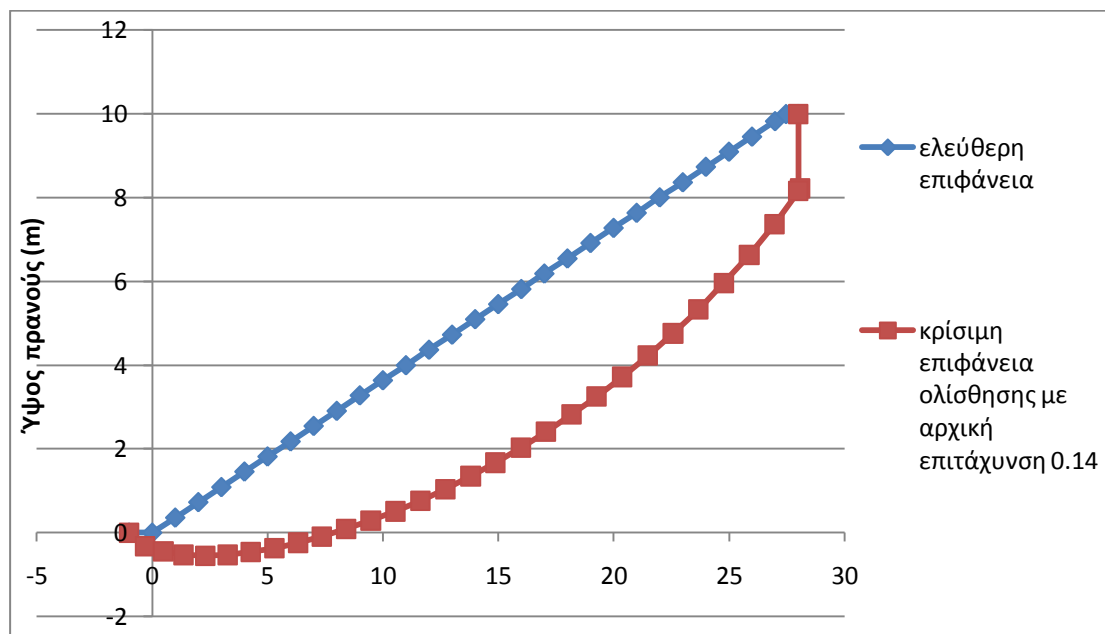
• **Παράδειγμα 21**

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς αυτού του παραδείγματος είναι :

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 20 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 9: Αποτελέσματα παραδείγματος 21

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-25.5	45	0	0	-0.32	-0.32	0.06	5.51	5.3	4.29	5.68
2	-8.5	33	1	0.36	0.48	-0.44	0.09	12.82	12.31	9.47	8.52
3	-6	27	2	0.73	1.36	-0.53	0.18	23.4	21.6	15.61	12.29
4	-1	23	3	1.09	2.3	-0.55	0.31	34.54	29.37	21.5	15.42
5	1.5	20	4	1.46	3.28	-0.53	0.24	46.12	36.28	27.33	18.09
6	3.5	17.5	5	1.82	4.28	-0.46	0.11	57.74	42.64	32.99	20.53
7	5.5	15.5	6	2.18	5.29	-0.37	0.54	68.8	48.01	38.28	22.56
8	7	13.5	7	2.55	6.33	-0.24	0.38	79.29	53.59	43.19	24.74
9	8.5	12	8	2.91	7.36	-0.09	0.77	88.84	57.04	47.66	25.98
10	9.5	10.5	9	3.28	8.41	0.09	0.65	97.89	61.12	51.83	27.55
11	10.5	9	10	3.64	9.47	0.29	0.64	106.07	64.86	55.58	29
12	12	7.5	11	4	10.54	0.51	0.12	112.53	68.27	58.56	30.33
13	13	6	12	4.37	11.62	0.76	0.58	117.7	70.82	60.96	31.32
14	14.5	4.5	13	4.73	12.71	1.04	0.81	120.83	72.95	62.47	32.17
15	15.5	3	14	5.1	13.8	1.35	1.05	122.52	74.2	63.35	32.68
16	17	2	15	5.46	14.87	1.67	1.03	122.47	72.72	63.52	32.03
17	18	0.5	16	5.82	15.97	2.03	0.15	121.13	75.23	63.05	33.16
18	19	-1	17	6.19	17.07	2.41	0.23	118.2	74.89	61.92	33.07
19	20.5	-2.5	18	6.55	18.16	2.82	0.47	113.23	73.91	59.89	32.76
20	21.5	-4	19	6.92	19.26	3.25	0.38	107.12	72.1	57.36	32.12
21	23	-6	20	7.28	20.37	3.72	0.84	98.99	71.83	53.9	32.21
22	24.5	-8	21	7.64	21.48	4.23	0.73	89.17	68.47	49.7	31
23	26	-10	22	8.01	22.57	4.76	0.33	78.24	64.16	44.96	29.43
24	27.5	-12.5	23	8.37	23.67	5.33	0.44	66.37	60.65	39.71	28.28
25	29.5	-15.5	24	8.74	24.77	5.96	0.45	53.34	55.89	33.84	26.65
26	31.5	-19.5	25	9.1	25.87	6.63	0.27	39.64	50.35	27.52	24.79
27	34	-25	26	9.46	26.97	7.37	0.44	25.54	43.19	20.82	22.36
28	37.5	-34	27	9.83	28.08	8.22	0.3	11.33	34.67	13.8	19.6
29	37.5	0	28	10	28	8.16	0	-0.09	-0.68	9.16	0.27
kcend:	0.14										
28	37.5	-34	27	9.83	28.08	8.22	0.3				
29	37.5	0	28	10	28	8.16	0.3	-0.09			
kcend:	0.14										



Σχήμα 4. 7: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$
(Παράδειγμα 21)

Σε αυτό το παράδειγμα τέθηκε ως αρχική σεισμική επιτάχυνση για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί η τιμή 0.24. Μετά από επαναλήψεις προέκυψε η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση η οποία είναι ίση με 0.14 και η αντίστοιχη κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς και παρατηρείται ότι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης παρουσιάζει σχεδόν κυκλική μορφή αστοχίας.

4.1.1.3. Μεταβολή γωνίας τριβής του πρανούς

Στη συνέχεια, η παράμετρος η οποία μεταβλήθηκε είναι η γωνία τριβής του πρανούς. Με την μεταβολή της γωνίας τριβής του πρανούς είναι σαν να εξετάζεται ουσιαστικά ένα διαφορετικό πρανές, αλλά στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής λαμβάνεται υπόψη σαν να μεταβάλλεται μια από τις παραμέτρους του πρανούς. Σκοπός αυτής της μεταβολής είναι να εξετασθεί αν μεταβάλλεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει. Στο επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των παραδειγμάτων στα οποία μεταβλήθηκε η γωνία τριβής του πρανούς.

Πίνακας 4. 10 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για μεταβολή της γωνίας τριβής του πρανούς

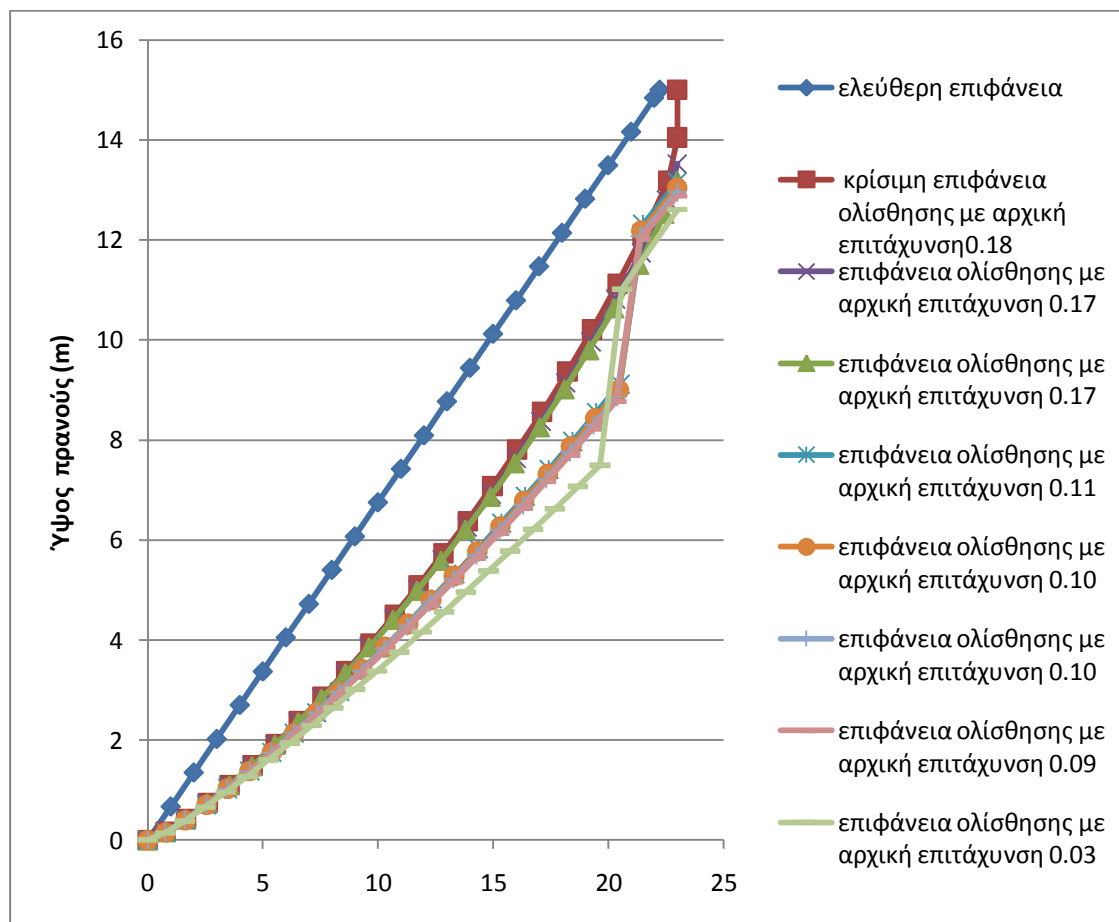
A/A	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γ) (kN/m ³)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ (ϕ) (°)	ΣΥΝΟΧΗ (c) (kPa)	ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (kc)	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ (β) (°)	ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ (H) (m)	ΒΗΜΑ (m)	ΤΕΛΙΚΗ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (kccend)	ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ
1	20	35	5	0.04	34	15	1	0.18	
6	20	30	5	0.04	34	15	1	0.10	0.08
21	20	20	5	0.24	20	10	1	0.14	
22	20	35	5	0.24	20	10	1	0.40	0.38
24	20	20	5	0.30	30	10	1	0.08	
26	20	35	5	0.30	30	10	1	0.30	

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι αν μεταβληθεί η γωνία τριβής του πρανούς, διατηρώντας τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του πρανούς σταθερά, μεταβάλλεται και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει για το συγκεκριμένο πρανές. Επίσης, παρατηρείται ότι με τη μεταβολή της γωνίας τριβής του πρανούς υπάρχει πιθανότητα μη σύγκλισης των επιταχύνσεων των πρώτων και των δυο τελευταίων τμημάτων του υπό εξέταση πρανούς.

• **Παράδειγμα 1**

Στο πρώτο παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $kc = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m



Σχήμα 4. 8: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ και γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$ (Παράδειγμα 1)

Ο πίνακας με τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα Sarma – Tan βρίσκεται παραπάνω στην παράγραφο 4.1.1.2 όπου έχει γίνει λεπτομερής ανάλυση για το συγκεκριμένο παράδειγμα. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται η ελεύθερη επιφάνεια, η ενδιάμεσες επιφάνειες και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι ενδιάμεσες επιφάνειες προσεγγίζουν την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης όταν η αρχική τιμή της επιτάχυνση που τίθεται από το πρόγραμμα έχει κοντινή τιμή με την αρχική τιμή από την οποία δημιουργήθηκε η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Αυτές οι επιφάνειες είναι πιο ομαλές και πιο όμοιες με την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Αντιθέτως, οι ενδιάμεσες επιφάνειες οι οποίες δημιουργούνται με αρχική τιμή της επιτάχυνσης πολύ μικρή σε σχέση με την αρχική τιμή της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης δεν προσεγγίζουν τόσο την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και δεν είναι τόσο ομαλές σαν επιφάνειες, ιδιαίτερα στα τελευταία τμήματα του πρανούς.

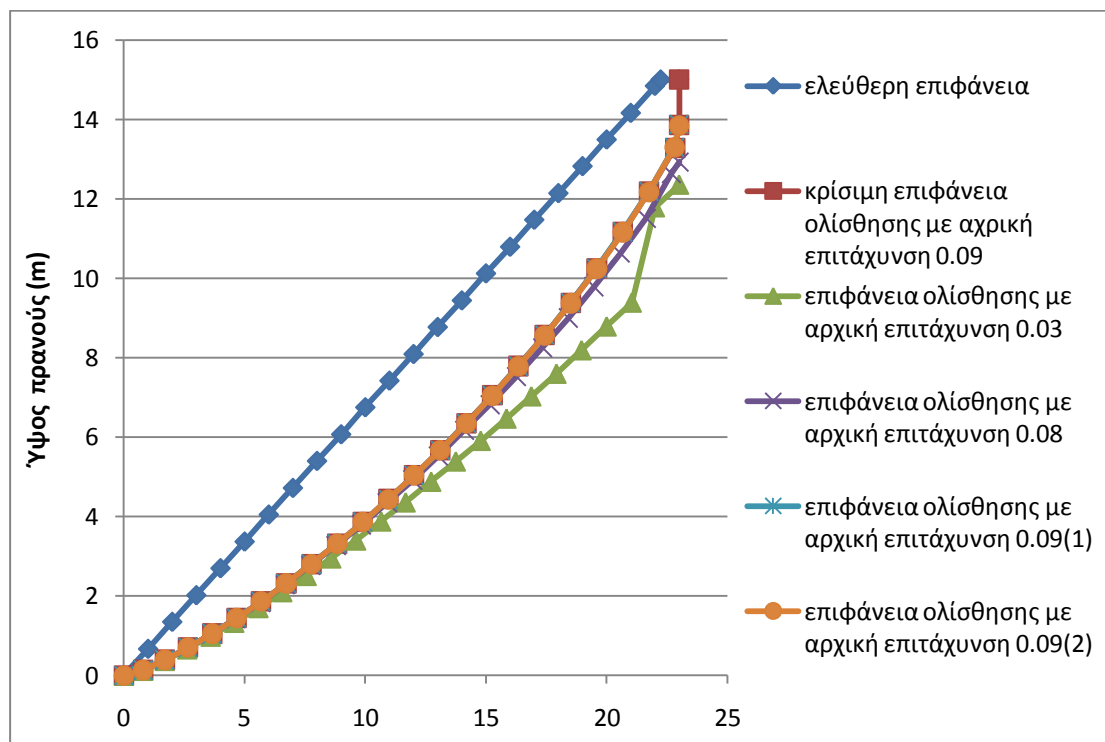
• **Παράδειγμα 6**

Τα χαρακτηριστικά του πρανού του παραδείγματος 6 είναι :

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 30^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανού $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανού $H = 15\text{m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 11: Αποτελέσματα παραδείγματος 6

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0	0	0					
1	9.5	20.5	1	0.67	0.8	0.13	0.02	4.59	6.42	5.54	7.75
2	15.5	17	2	1.35	1.71	0.39	0.22	10.8	13.33	11.27	12.41
3	18	14	3	2.02	2.67	0.7	0.16	17.87	19.86	17.15	16.53
4	19.5	11.5	4	2.7	3.66	1.05	0.26	25.41	26.16	23.08	20.38
5	21	9.5	5	3.37	4.68	1.44	0.26	32.96	31.53	28.83	23.62
6	22.5	8	6	4.05	5.69	1.86	0.41	40.22	36	34.26	26.28
7	23.5	6.5	7	4.72	6.73	2.31	0.63	47.29	40.43	39.44	28.97
8	25	5	8	5.4	7.77	2.8	0.54	53.34	44.64	43.84	31.55
9	26	3.5	9	6.07	8.83	3.31	0.25	58.53	47.97	47.6	33.58
10	27	2	10	6.75	9.9	3.86	0.66	62.67	50.64	50.63	35.23
11	28.5	0.5	11	7.42	10.97	4.44	0.91	65.13	52.91	52.5	36.66
12	29.5	-0.5	12	8.09	12.03	5.04	0.77	66.69	52.85	53.79	36.56
13	30.5	-2	13	8.77	13.11	5.67	0.53	67.13	55.13	54.24	38.11
14	32	-3.5	14	9.44	14.19	6.35	0.85	65.62	55.74	53.38	38.55
15	33	-5	15	10.12	15.27	7.05	0.3	62.93	55.05	51.72	38.22
16	34.5	-6.5	16	10.79	16.34	7.79	0.52	58.69	53.96	49	37.67
17	35.5	-8.5	17	11.47	17.43	8.57	0.69	53.34	53.11	45.46	37.37
18	37	-10.5	18	12.14	18.51	9.38	0.39	46.6	50.27	40.95	35.78
19	39	-13	19	12.82	19.59	10.25	0.53	38.35	47.47	35.29	34.35
20	40.5	-16	20	13.49	20.67	11.17	0.39	29.48	43.03	29.08	31.9
21	43	-20.5	21	14.16	21.74	12.18	0.32	19.57	38.3	21.91	29.48
22	45.5	-28	22	14.84	22.83	13.28	0.2	8.95	31.21	13.99	25.76
23	73.5	0	23	15	23	13.86	0	-0.44	0.84	5.45	3.5
kcend:	0.1										
22	46	-27.5	22	14.84	22.81	13.3	0.25				
23	71	0	23	15	23	13.85	0.25	0.85			
kcend:	0.08										



Σχήμα 4. 9: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ και γωνία τριβής $\phi = 30^\circ$ (Παράδειγμα 6)

Η αρχική σεισμική επιτάχυνση που τέθηκε στο συγκεκριμένο πρανός είναι ίση με 0.04. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε σε προηγούμενα παραδείγματα προέκυψε έπειτα από επαναλήψεις η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση η οποία είναι ίση με 0.1 για τα πρώτα τμήματα και 0.08 για τα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς. Σε αυτό το πρανός δεν επετεύχθη σύγκλιση παρόλα αυτά τα αποτελέσματα θεωρούνται αποδεκτά λόγω της μικρής διαφοράς μεταξύ των επιταχύνσεων τις οποίες θεωρούμε κρίσιμες.

Στο Σχήμα 4.9 απεικονίζονται η ελεύθερη επιφάνεια, η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και οι ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς. Παρατηρείται ότι οι επιφάνειες που δημιουργήθηκαν με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.08 και 0.09 προσεγγίζουν καλύτερα την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης σε αντίθεση με την επιφάνεια που δημιουργήθηκε με αρχική επιτάχυνση 0.03, η οποία αποκλίνει από την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και δεν είναι τόσο ομαλή στα δυο τελευταία τμήματα.

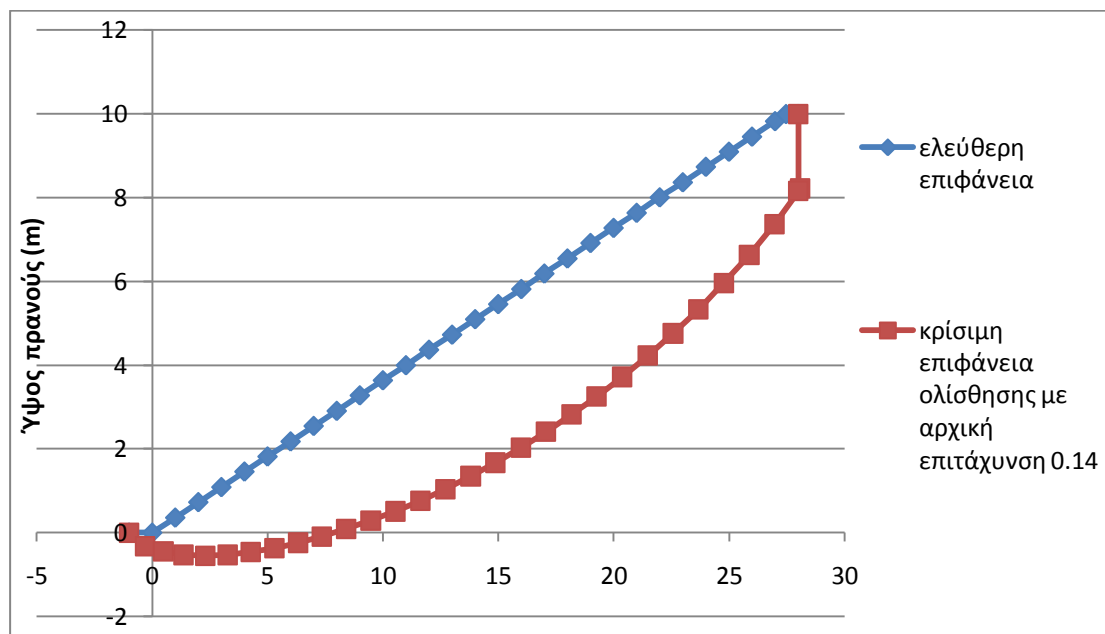
Συγκρίνοντας τα δυο αυτά παραδείγματα τα οποία διαφέρουν ως προς την γωνία τριβής του πρανούς, διαπιστώνεται ότι με τη μεταβολή της γωνία τριβής

μεταβάλλεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει το οποίο είναι αναμενόμενο αφού είναι πιο ασθενές το πρανές. Συγκεκριμένα, μειώνοντας τη γωνία τριβής στο συγκεκριμένο πρανές παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σύγκλιση των επιταχύνσεων των πρώτων τμημάτων και των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανούς, αφού τα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς έχουν διαφορετική κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση σε σχέση με τα πρώτα τμήματα. Επίσης, παρατηρείται ότι με την μείωση της γωνία τριβής για το συγκεκριμένο πρανές μειώνεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση. Συγκεκριμένα, στο παράδειγμα 1 η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προέκυψε ήταν 0.18, ενώ στο παράδειγμα 6 η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση ήταν 0.10 στα πρώτα τμήματα και 0.08 στα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς. Δηλαδή, διαπιστώνεται ότι η μείωση της γωνία τριβής οδηγεί σε μη σύγκλιση του πρανούς και το πρανές παρουσιάζει μειωμένη ευστάθεια.

- **Παράδειγμα 21**

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς του συγκεκριμένου παραδείγματος είναι :

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m



Σχήμα 4. 10: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ και γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$ (Παράδειγμα 21)

Το παραπάνω παράδειγμα έχει αναλυθεί λεπτομερώς στην παράγραφο 4.1.1.2, όπου και βρίσκεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου παραδείγματος από το πρόγραμμα Sarma – Tan. Εδώ παρατίθεται το διάγραμμα που παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του συγκεκριμένου πρανούς. Η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προέκυψε για το συγκεκριμένο πρανές είναι ίση με 0.14. Δεν απεικονίζονται σε όλα τα παραδείγματα οι ενδιάμεσες επιφάνειες που δημιουργούνται πριν να προκύψει η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, γιατί αυτό που κυρίως μελετάται είναι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και όχι τόσο οι ενδιάμεσες.

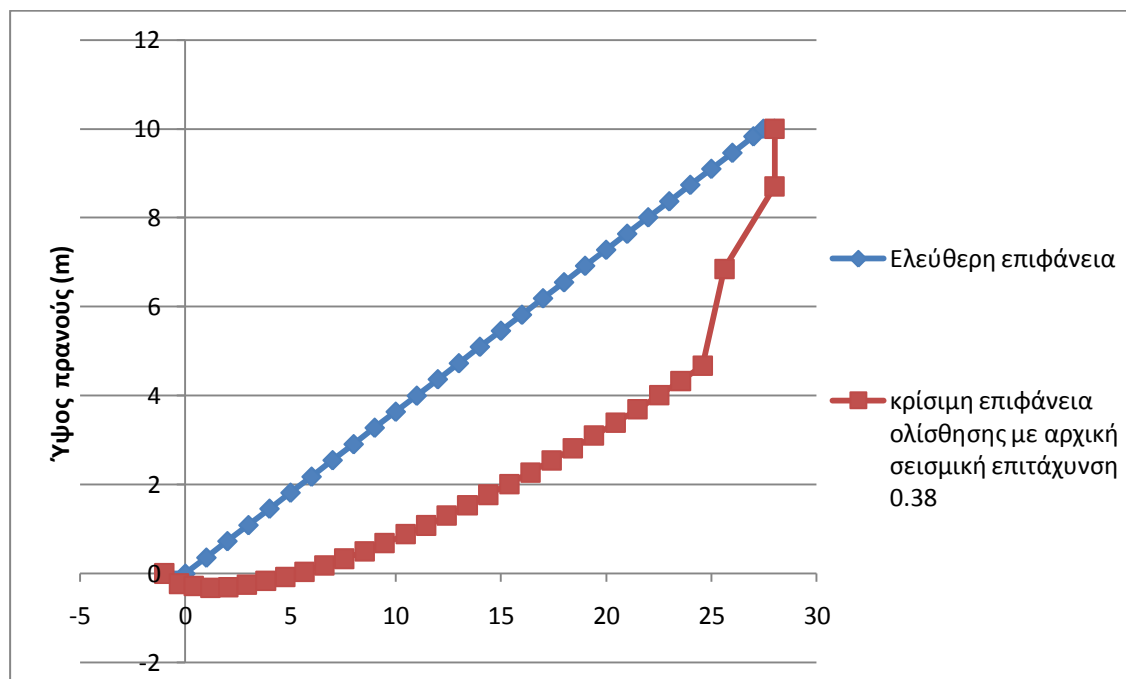
• Παράδειγμα 22

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 12: Αποτελέσματα παραδείγματος 22

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-18	52.5	0	0	-0.3	-0.23	0.06	4.35	4.01	4.92	6.5
2	-4	42	1	0.36	0.42	-0.28	0.06	9.79	9.01	11.18	9.91
3	-3	37	2	0.73	1.21	-0.32	0.24	18.08	16.51	19.22	15.51
4	1	34	3	1.09	2.06	-0.31	0.29	27.07	22.03	27.38	19.66
5	3.5	32	4	1.46	2.93	-0.25	0.13	36.42	26.92	35.57	23.23
6	5	30.5	5	1.82	3.83	-0.17	0.36	46.19	31.38	43.91	26.45
7	6	29	6	2.18	4.75	-0.08	0.57	56.29	36.19	52.33	29.97
8	7.5	28	7	2.55	5.67	0.04	0.59	65.98	39.67	60.37	32.43
9	8	27	8	2.91	6.61	0.18	0.66	76.04	43.43	68.59	35.14
10	9	26	9	3.28	7.56	0.33	0.34	85.62	47.39	76.35	38.02
11	10	25	10	3.64	8.54	0.5	1.27	94.39	51.02	83.42	40.67
12	10.5	24.5	11	4	9.48	0.68	0.96	103.18	51.86	90.54	41.13
13	11.5	23.5	12	4.37	10.48	0.88	1.63	111.08	57.17	96.8	45.13
14	12	23	13	4.73	11.45	1.08	0.4	118.52	57.36	102.8	45.12
15	12.5	22.5	14	5.1	12.43	1.3	1.06	125.95	59.48	108.73	46.65
16	13	22	15	5.46	13.41	1.53	1.3	133.05	61.78	114.37	48.31
17	13.5	21.5	16	5.82	14.4	1.77	1.35	139.66	63.9	119.59	49.83
18	14	21	17	6.19	15.4	2.01	1.32	145.64	65.83	124.33	51.23
19	14.5	20.5	18	6.55	16.4	2.27	1.29	150.92	67.56	128.51	52.48
20	15	20	19	6.92	17.41	2.54	1.32	155.46	69.1	132.12	53.6
21	15	19.5	20	7.28	18.42	2.81	1.08	159.97	70.05	135.7	54.28
22	15.5	19	21	7.64	19.43	3.1	0.91	163.68	71.31	138.66	55.2
23	16	18.5	22	8.01	20.45	3.39	0.7	166.57	72.41	140.99	56.01
24	16.5	18	23	8.37	21.48	3.69	0.52	168.63	73.31	142.68	56.68
25	17	17.5	24	8.74	22.51	4.01	0.39	169.85	74.01	143.72	57.21
26	17.5	17	25	9.1	23.54	4.33	0.36	170.25	74.52	144.13	57.6
27	18	16.5	26	9.46	24.58	4.67	0.45	169.81	74.82	143.9	57.84
28	18.5	-54	27	9.83	31.1	6.85	990.84	342.11	34.32	214.22	58.39
29	54	0	28	10	28	2.59	0	-0.81	163.44	36.49	140.79
kcend:	0.4										
28	18.5	16	27	9.83	25.62	6.85	0.94				
29	38	0	28	10	28	8.71	0.94	166.51			
kcend:	0.38										



Σχήμα 4. 11: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ και γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$ (Παράδειγμα 22)

Σε αυτό το παράδειγμα τέθηκε ως αρχική σεισμική επιτάχυνση η τιμή 0.24, ώστε να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί. Έπειτα από επαναλήψεις προκύπτει η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης από αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.38, για την οποία η επιτάχυνση στα πρώτα τμήματα του πρανούς είναι 0.40 και στα δυο τελευταία είναι. Θεωρείται ότι αυτή η επιτάχυνση αποτελεί την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για το συγκεκριμένο πρανές, αφού η διαφορά που υπάρχει μεταξύ των επιταχύνσεων των αρχικών και των δυο τελευταίων τμημάτων είναι πολύ μικρή και άρα είναι αποδεκτή.

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς. Παρατηρείται ότι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης παρουσιάζει σχεδόν κυκλική μορφή αστοχίας, εκτός από τα δυο τελευταία τμήματα όπου η επιφάνεια ολίσθησης δεν είναι ομαλή και παρουσιάζει έντονες γωνίες. Αυτό ίσως οφείλεται στη διαφορετική κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση των δυο τελευταίων τμημάτων σε σχέση με τα αρχικά τμήματα.

Συγκρίνοντας τα παραδείγματα 21 και 22 τα οποία διαφέρουν ως προς τη γωνία τριβής του πρανούς διατηρώντας όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά ίδια, διαπιστώνεται ότι οι κρίσιμες σεισμικές επιταχύνσεις που προκύπτουν για αυτά είναι διαφορετικές. Η γωνία τριβής του παραδείγματος 21 είναι 20° , ενώ στο παράδειγμα

22 η γωνία τριβής αυξήθηκε στις 35°. Με την αύξηση της γωνίας τριβής αυξήθηκε και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς, δηλαδή στο παράδειγμα 21 που έχει γωνία τριβής 20° η κρίσιμη σεισμικής επιτάχυνση είναι 0.14, ενώ στο παράδειγμα 22 που η γωνία τριβής είναι 35°, η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι 0.40 για τα πρώτα τμήματα και 0.38 για τα δυο τελευταία. Αυτό δηλώνει ότι με την αύξηση της γωνίας τριβής του πρανούς αυξάνεται η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και συνεπώς τα πρανά εμφανίζουν αυξημένη ευστάθεια.

4.1.1.4. Μεταβολή του βήματος

Σε αυτή την ενότητα μελετάται το πώς επηρεάζει η μεταβολή του βήματος την τελική κρίσιμη επιτάχυνση του πρανούς. Επιλέχθηκε είτε να αυξηθεί είτε να μειωθεί το βήμα με το οποίο σχηματίζονται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς ώστε να μπορούν να βγουν τα κατάλληλα συμπεράσματα για την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς.

Παρακάτω ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με όλα τα παραδείγματα που μελετήθηκαν ως προς τη μεταβολή του βήματος. Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.13), η μεταβολή του βήματος του πρανούς επηρεάζει και την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση η οποία είτε αυξάνεται είτε μειώνεται κάθε φορά. Είναι φανερό ότι ο τρόπος που μεταβάλλεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση δεν επηρεάζεται μόνο από την μεταβολή του βήματος αλλά εξαρτάται και από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του πρανούς. Υπάρχουν παραδείγματα στα οποία καθώς μειώνεται το βήμα αυξάνεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση, άλλα στα οποία η αύξηση του βήματος οδηγεί και στην αύξηση της σεισμικής επιτάχυνσης και τέλος κάποια άλλα στα οποία η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση παραμένει σταθερή είτε αυξάνοντας είτε μειώνοντας το βήμα. Όλα αυτά θα αναλυθούν σε παρακάτω ενότητες λεπτομερώς.

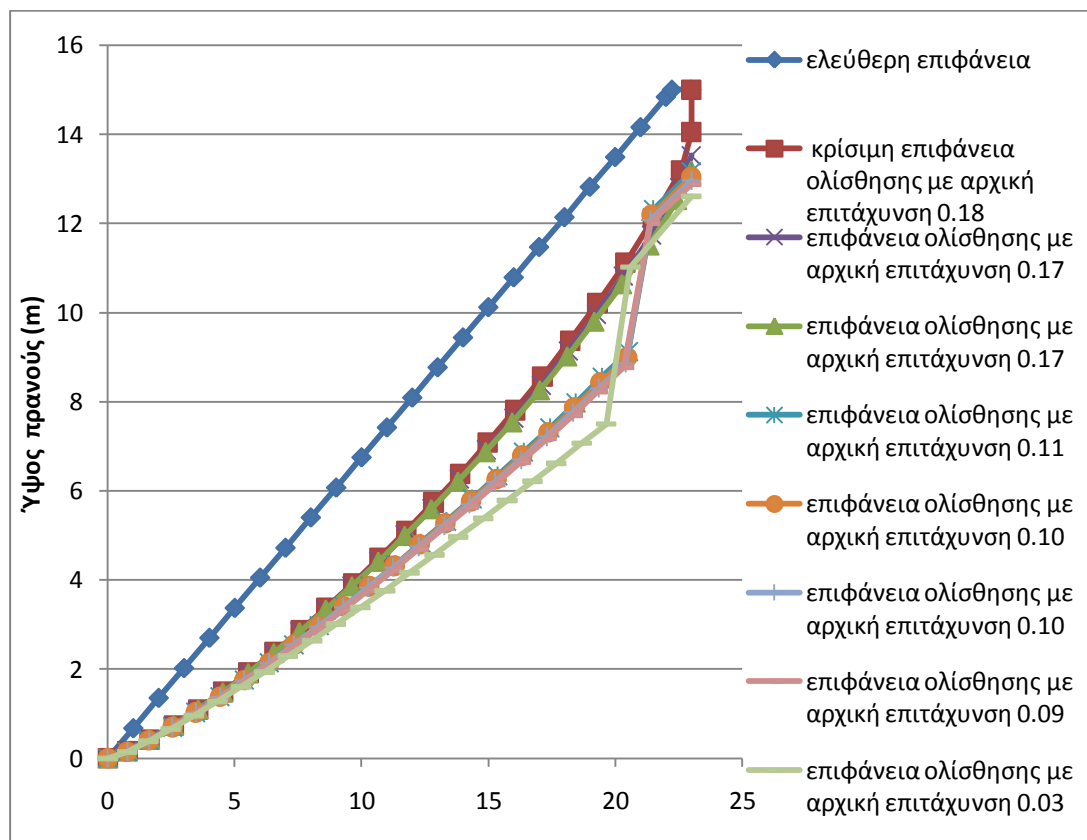
Πίνακας 4. 13 : Συγκεντρωτικός πίνακας παραδειγμάτων που μελετήθηκαν ως προς τη μεταβολή του βήματος του πρανούς

A/A	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γ) (k/m^3)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ (ϕ) ($^\circ$)	ΣΥΝΟΧΗ (c) (kPa)	ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (k_c)	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ (β) ($^\circ$)	ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ (H) (m)	ΒΗΜΑ (m)	ΤΕΛΙΚΗ ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (k_{cend})	ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ
1	20	35	5	0.04	34	15	1.0	0.18	
7	20	35	5	0.04	34	15	0.50	0.14	0.18
8	20	35	5	0.04	34	15	2.00	0.20	0.18
10	20	35	5	0.12	34	20	0.99	0.14	0.16
11	20	35	5	0.12	34	20	1.50	0.16	
13	20	35	5	0.12	40	15	1.00	0.12	0.10
14	20	35	5	0.12	40	15	1.50	0.10	
21	20	20	5	0.24	20	10	1.00	0.14	
23	20	20	5	0.24	20	10	2.74	0.14	
25	20	35	5	0.30	30	10	1.50	0.30	
26	20	35	5	0.30	30	10	1.00	0.30	
27	20	35	5	0.30	30	10	0.50	0.30	

• **Παράδειγμα 1**

Στο πρώτο παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.0 m



Σχήμα 4. 12: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ και βήμα 1.0 m (Παράδειγμα 1)

Το συγκεκριμένο παράδειγμα έχει παρουσιαστεί αναλυτικά στην παράγραφο 4.1.1.2. Η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του συγκεκριμένου πρανούς είναι ίση με 0.18 και το συγκεκριμένο πρανές συγκλίνει.

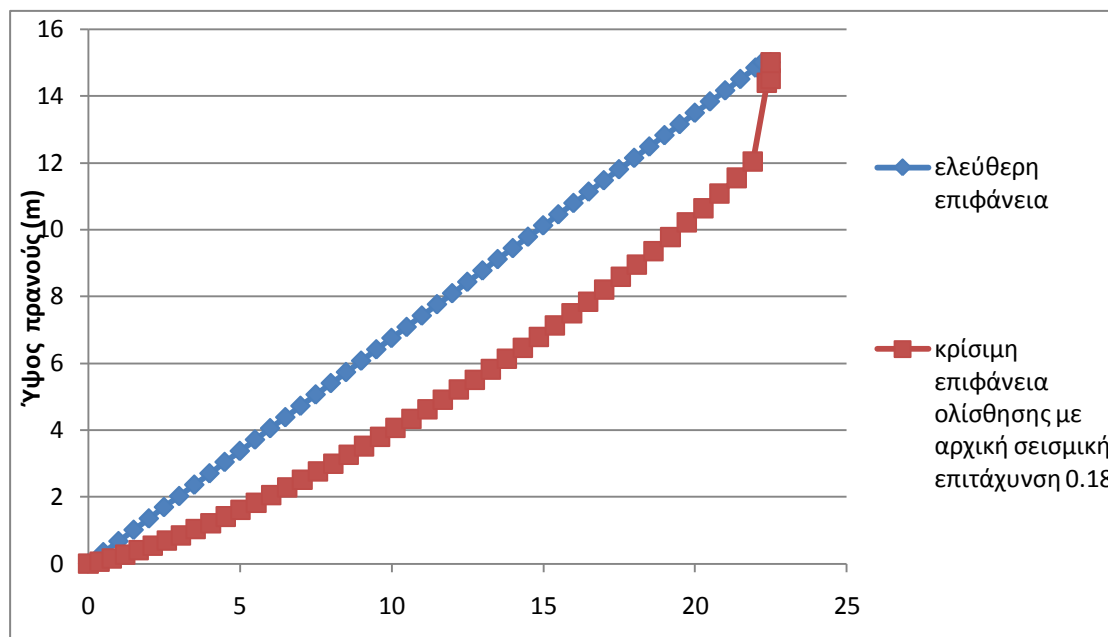
• Παράδειγμα 7

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς που μελετάται σε αυτό το παράδειγμα είναι τα εξής :

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 0.5 m

Πίνακας 4. 14: Αποτελέσματα παραδείγματος 7

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0	0	0					
1	9.5	25.5	0.5	0.34	0.37	0.06	0.05	1.77	2.16	2.77	3.38
2	13	23.5	1	0.67	0.77	0.16	0.06	4.11	3.7	5.71	4.67
3	15	21.5	1.5	1.01	1.21	0.27	0.08	6.87	5.37	8.79	6.01
4	16	20	2	1.35	1.65	0.4	0.09	9.98	6.98	12.04	7.21
5	17	18.5	2.5	1.69	2.12	0.54	0.19	13.36	8.63	15.4	8.46
6	18	17.5	3	2.02	2.58	0.69	0.24	16.92	9.94	18.83	9.39
7	19	16.5	3.5	2.36	3.05	0.85	0.25	20.63	11.41	22.3	10.5
8	20	15.5	4	2.7	3.54	1.03	0.19	24.34	12.87	25.7	11.59
9	20.5	14.5	4.5	3.04	4.03	1.21	0.13	28.1	14.17	29.08	12.55
10	21.5	13.5	5	3.37	4.53	1.41	0.33	31.66	15.47	32.26	13.52
11	22.5	13	5.5	3.71	5.02	1.61	0.56	35.11	15.97	35.34	13.82
12	23	12	6	4.05	5.53	1.83	0.35	38.53	17.74	38.31	15.21
13	23.5	11.5	6.5	4.38	6.02	2.05	0.42	41.83	17.93	41.22	15.25
14	24	10.5	7	4.72	6.55	2.28	0.69	44.99	19.7	43.92	16.66
15	25	10	7.5	5.06	7.05	2.51	0.23	47.74	19.73	46.34	16.59
16	25.5	9.5	8	5.4	7.56	2.76	0.53	50.51	20.41	48.75	17.1
17	26	9	8.5	5.73	8.07	3	0.71	53.18	21.17	51.06	17.66
18	26.5	8.5	9	6.07	8.58	3.26	0.79	55.7	21.87	53.21	18.17
19	27	8	9.5	6.41	9.09	3.52	0.83	58	22.51	55.18	18.65
20	27.5	7.5	10	6.75	9.61	3.79	0.84	60.06	23.09	56.95	19.08
21	27.5	7	10.5	7.08	10.13	4.06	0.84	62.12	23.48	58.72	19.36
22	28	6.5	11	7.42	10.65	4.34	0.81	63.91	23.98	60.27	19.74
23	28.5	6	11.5	7.76	11.17	4.62	0.78	65.43	24.43	61.58	20.08
24	29	5.5	12	8.09	11.69	4.91	0.76	66.66	24.82	62.67	20.37
25	29.5	5	12.5	8.43	12.22	5.21	0.76	67.61	25.15	63.52	20.63
26	30	4.5	13	8.77	12.74	5.51	0.76	68.26	25.42	64.14	20.83
27	30.5	4	13.5	9.11	13.27	5.82	0.79	68.62	25.63	64.51	21
28	31	3.5	14	9.44	13.8	6.14	0.83	68.69	25.77	64.66	21.12
29	31.5	3	14.5	9.78	14.33	6.46	0.88	68.47	25.86	64.56	21.21
30	32	2.5	15	10.12	14.85	6.79	0.95	67.97	25.89	64.24	21.24
31	32.5	2	15.5	10.45	15.38	7.13	1.03	67.2	25.85	63.7	21.24
32	33	1	16	10.79	15.94	7.49	0.97	65.71	27.19	62.52	22.37
33	33.5	0.5	16.5	11.13	16.47	7.84	0.23	63.92	25.4	61.2	20.96
34	34.5	0	17	11.47	17	8.2	0.94	61.89	25.14	59.65	20.81
35	34.5	-1	17.5	11.8	17.56	8.59	0.72	59.61	25.99	57.82	21.58
36	35.5	-1.5	18	12.14	18.08	8.96	0.66	56.9	24.28	55.74	20.23
37	36	-2.5	18.5	12.48	18.64	9.36	0.42	53.89	24.86	53.32	20.82
38	37	-3.5	19	12.82	19.19	9.78	0.67	50.22	24.22	50.38	20.4
39	38	-4.5	19.5	13.15	19.73	10.21	0.58	46.14	23.28	47.09	19.77
40	38.5	-5.5	20	13.49	20.27	10.64	0.27	42.03	22.12	43.76	18.96
41	39.5	-6.5	20.5	13.83	20.81	11.08	0.37	37.75	21.03	40.26	18.22
42	40.5	-8	21	14.16	21.37	11.55	0.33	33.09	20.64	36.35	18.09
43	41.5	-9.5	21.5	14.5	21.91	12.04	0.23	28.21	19.07	32.25	17
44	60.5	59	22	14.84	24.27	16.2	243.18	-59.97	107.39	-28.75	99.13
45	60.5	0	22.2314	15	22.5	13.08	0	0.94	-16.77	10.28	6.23
kcend:	0.14		22.5	15							
44	45	-9	22	14.84	22.37	14.39	13.73				
45	45	0	22.5	15	22.5	14.52	13.73	19.52			
kcend:	0.18				22.5	15					



Σχήμα 4. 13: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανού με γωνία $\beta = 34^\circ$ και βήμα 0.5 m (Παράδειγμα 7)

Το πρανές του συγκεκριμένου παραδείγματος που έχει βήμα 0.5 m δεν συγκλίνει και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση των πρώτων τμημάτων είναι 0.14 και των δυο τελευταίων 0.18.

Η διαφορά του παραδείγματος 7 από το παράδειγμα 1 αφορά στο βήμα, στο παράδειγμα 7 το βήμα είναι 0.5 m σε αντίθεση με το παράδειγμα 1 που το βήμα είναι 1.0 m. Σε αυτό το παράδειγμα η αρχική σεισμική επιτάχυνση τέθηκε 0.04, για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί από το πρόγραμμα. Μετά από επαναλήψεις κατά τις οποίες η τιμή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης αυξάνεται κατά 0.01, προκύπτει η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, για την οποία η επιτάχυνση των πρώτων τμημάτων είναι 0.14 και των δυο τελευταίων 0.18. Παρόλο που δεν συγκλίνει το πρανές, εντούτοις οι επιταχύνσεις αυτές θεωρούνται κρίσιμες εφόσον η διαφορά που εμφανίζεται μεταξύ τους είναι μικρή.

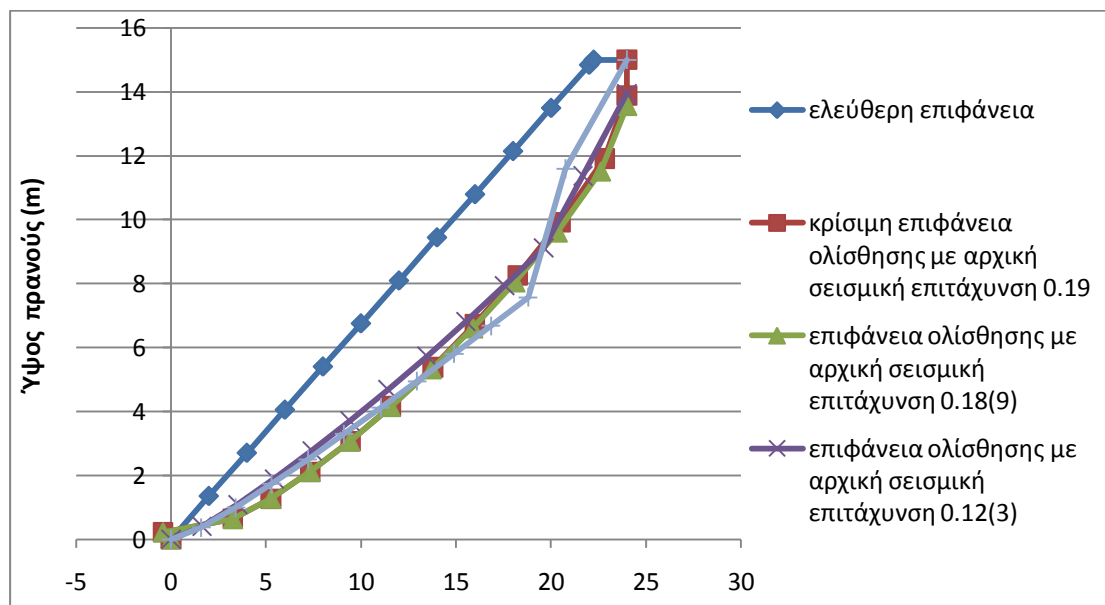
• **Παράδειγμα 8**

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς αυτού του παραδείγματος είναι τα εξής:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 2.0 m

Πίνακας 4. 15: Αποτελέσματα παραδείγματος 8

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0	0	0	0	0	0					
1	-27	65	2	1.35	-0.43	0.22	0.17	-6.56	1.18	8.8	3.22
2	6.5	20	4	2.7	3.25	0.64	1	40.98	68.51	39.67	66.47
3	17.5	15	6	4.05	5.26	1.27	0.53	63.7	82.4	58.98	68.21
4	22	11.5	8	5.4	7.33	2.11	0.5	81.2	100.17	73.64	81.33
5	24.5	8.5	10	6.75	9.45	3.07	1.74	94.32	114.38	84.61	91.74
6	27	6	12	8.09	11.59	4.16	1.21	101.55	123.61	90.88	98.54
7	29	3	14	9.44	13.79	5.38	1.86	102.72	132.14	92.26	105.11
8	31.5	0	16	10.79	16	6.74	1.71	95.92	133.89	87.44	106.73
9	34	-3.5	18	12.14	18.24	8.25	2.12	81.77	131.06	76.76	105.27
10	36.5	-8	20	13.49	20.5	9.92	1.23	61.29	122.68	60.93	99.98
11	39	-17	22	14.84	22.91	11.87	2.65	33.18	111.39	38.76	93.48
12	61	0	24	15	24	13.84	0	0.98	17.85	6.48	23.76
kcend:	0.2										
11	39.5	-15.5	22	14.84	22.83	11.91	1.05				
12	59.5	0	24	15	24	13.89	1.05	6.71			
kcend:	0.18										



Σχήμα 4. 14: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανού με γωνία $\beta = 34^\circ$ και βήμα 2.0 m (Παράδειγμα 8)

Σε αυτό το παράδειγμα το βήμα για τον υπολογισμό της επιφάνειας ολίσθησης τέθηκε ίσο με 2.0 m και η αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.04. Εκτελούνται επαναλήψεις με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.05, 0.06, 0.08, 0.09, 0.10, 0.11, 0.12, 0.13, 0.14, 0.16, 0.17, 0.18 και 0.19 από τις οποίες προκύπτουν επιφάνειες ολίσθησης. Η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης προκύπτει με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.19. Το συγκεκριμένο πρανές δεν συγκλίνει αλλά λόγω της μικρής διαφοράς των επιταχύνσεων μεταξύ των πρώτων και των δυο τελευταίων τμημάτων θεωρείται ότι πρόκειται για κρίσιμες σεισμικές επιταχύνσεις και είναι ίσες με 0.20 και 0.18.

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται η ελεύθερη επιφάνεια, η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και κάποιες από τις ενδιάμεσες επιφάνειες ολίσθησης του πρανού. Παρατηρείται ότι οι ενδιάμεσες επιφάνειες των οποίων η τιμή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης είναι κοντινή σε εκείνη που δημιουργεί την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, προσεγγίζουν καλύτερα εκείνη την επιφάνεια σε αντίθεση με τις επιφάνειες που δημιουργούνται με μικρή τιμή αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης, οι οποίες παρουσιάζουν έντονες δυσμορφίες και δεν προσεγγίζουν καλά την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Επιπροσθέτως, παρατηρώντας την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης διαπιστώνεται ότι ενώ ξεκινά από την θέση (0,0), οι συντεταγμένες του δεύτερου τμήματος είναι (-0.43, 0.22) και παρουσιάζεται μια ανομοιομορφία στη

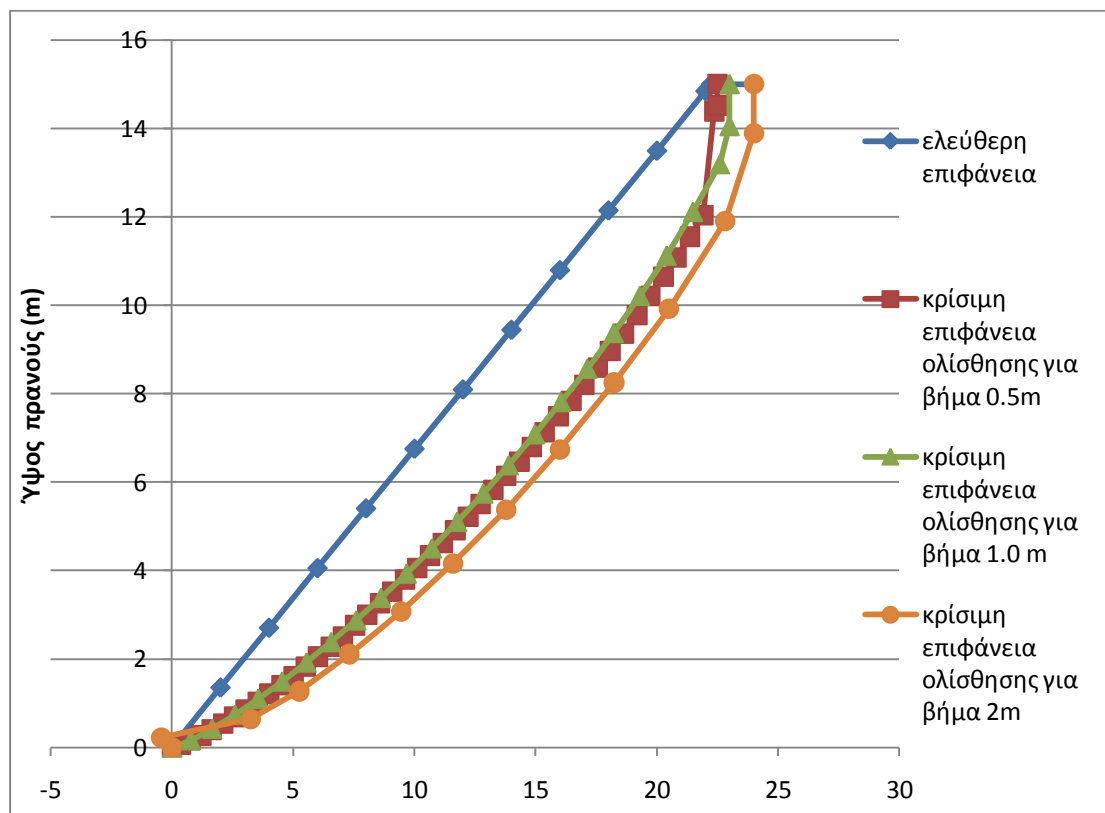
γεωμετρία του τμήματος. Αυτό ίσως οφείλεται στην επιλογή του βήματος, δηλαδή τα 2.0 m που επιλέχθηκαν ως βήμα για να εκτελεστεί αυτή η δοκιμή ίσως είναι αρκετά μεγάλο ως βήμα με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται μια ομοιόμορφη επιφάνεια και σαν αποτέλεσμα να μην παρατηρείται και η σύγκλιση των επιταχύνσεων των πρώτων και των δυο τελευταίων τμημάτων.

Η διαφορά που παρουσιάζουν τα παραδείγματα 1, 7 και 8 αφορά στο βήμα, δηλαδή στο παράδειγμα 1 το βήμα είναι 1.0 m, στο παράδειγμα 7 είναι 0.5 m και στο παράδειγμα 8 είναι ίσο με 2.0 m. Μεταβάλλοντας το βήμα στο ίδιο πρανές παρατηρείται ότι μεταβάλλονται τα τμήματα του πρανούς αλλά και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς, δηλαδή αλλάζει η αντοχή του πρανούς. Αρχικά, παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται το βήμα μειώνεται ο αριθμός των τμημάτων του πρανούς και συνεπώς και η γεωμετρία τόσο της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης όσο και της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς. Για βήμα 0.5 m το πρανές χωρίστηκε σε 45 τμήματα, για βήμα 1.0 m το πρανές χωρίστηκε σε 23 τμήματα και τέλος για βήμα 2.0 m το πρανές χωρίστηκε σε 12 τμήματα, δηλαδή παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται το βήμα υποδιπλασιάζεται ο αριθμός των τμημάτων.

Επίσης, αυτό που είναι σημαντικό να εξετασθεί στην παρούσα ανάλυση είναι το πώς επηρεάζεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση από την μεταβολή του βήματος. Μελετώντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων για κάθε μια από τις παραπάνω τιμές του βήματος διαπιστώνεται ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς επηρεάζεται από την τιμή του βήματος. Συγκεκριμένα, για βήμα 0.5 m και 2.0 m δεν παρατηρείται σύγκλιση των επιταχύνσεων των αρχικών τμημάτων και των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανούς, αφού προκύπτει ότι τα δυο τελευταία τμήματα έχουν διαφορετική σεισμική επιτάχυνση από τα αρχικά. Για βήμα 0.5 m η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που υπολογίζεται για τα αρχικά τμήματα του πρανούς είναι ίση με 0.14 και για τα δυο τελευταία είναι ίση με 0.18. Ομοίως για βήμα 2.0 m η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για τα πρώτα τμήματα του πρανούς είναι 0.2 και για τα δυο τελευταία 0.18. Αντίθετα, όταν το βήμα είναι ίσο με 1.0 m τότε όλα τα τμήματα του πρανούς έχουν την ίδια κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση η οποία είναι ίση με 0.18. Διαπιστώνεται λοιπόν, ότι με την μεταβολή του βήματος επηρεάζεται και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς, καθώς είναι πιθανό να παρατηρηθεί μη σύγκλιση της επιτάχυνσης των αρχικών τμημάτων του πρανούς και των δυο τελευταίων. Στο

συγκεκριμένο παράδειγμα οι τιμές των κρίσιμων επιταχύνσεων που υπολογίζονται κάθε φορά αν και δεν είναι ίδιες σε όλες τις περιπτώσεις, παρόλα αυτά δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλες διαφορές με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η ευστάθεια του πρανούς.

Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζονται συγκριτικά οι κρίσιμες επιφάνειες ολίσθησης όπως αυτές προκύπτουν για κάθε μια τιμή του βήματος. Μπορούν εύκολα να παρατηρηθούν οι διαφορές στη γεωμετρία που εμφανίζει κάθε μια από αυτές τις επιφάνειες ολίσθησης καθώς επίσης και η ανομοιομορφία που παρουσιάζει η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης που δημιουργείται για βήμα 2.0 m. Επίσης, παρατηρείται ότι η επιλογή μεγαλύτερου βήματος είχε ως αποτέλεσμα το τελευταίο σημείο της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς να μετατοπίζεται προς το εσωτερικό του πρανούς, δεν σημαίνει όμως ότι με την αύξηση του βήματος πάντα το τελευταίο σημείο θα μετατοπίζεται προς το εσωτερικό του πρανούς, δηλαδή θα απομακρύνεται όλο και πιο πολύ από το φρύδι του πρανούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή του βήματος διαμερισμού πρέπει να γίνεται με προσοχή γιατί δεν είναι σίγουρο ότι η επιλογή ενός μικρού βήματος θα οδηγήσει σε μια σωστή και ακριβή λύση, γιατί ενδεχομένως να μην υπάρχει νόημα να επιλεγθεί ένα πολύ μικρό βήμα. Πρέπει να υπάρχει μια αρμονική σχέση μεταξύ των παραμέτρων του πρανούς. Επίσης, η κρίσιμες επιφάνειες ολίσθησης που δημιουργήθηκαν με βήμα 0.5 m και 1.0 m προσεγγίζουν αρκετά καλά η μια την άλλη και παρουσιάζουν μεγαλύτερες ομοιότητες ως επιφάνειες μεταξύ τους, στα αρχικά τμήματα κυρίως, σε αντίθεση με τα τελευταία τμήματα στα οποία διαφοροποιούνται αρκετά μεταξύ τους στην γεωμετρία αφού η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 0.5 m είναι πιο απότομη στα τελευταία τμήματα σε σχέση με την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 1.0 m που είναι πιο ομαλή. Επιπλέον, η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 2.0 m παρουσιάζει μεγαλύτερες ομοιότητες στην γεωμετρία της με αυτήν για βήμα 1.0 m, ιδιαίτερα στα τελευταία τμήματα.



Σχήμα 4. 15: Συγκριτική παρουσίαση ελεύθερων επιφανειών και κρίσιμων επιφανειών ολίσθησης για βήμα 0.5 m, 1.0 m και 2.0m

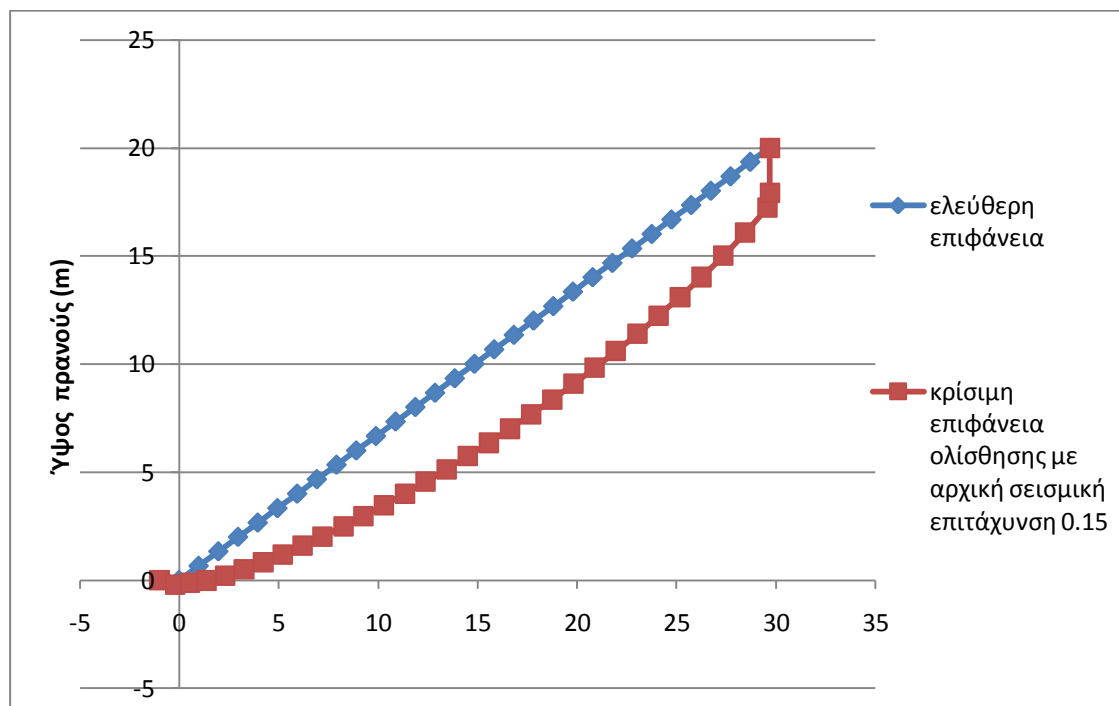
• Παράδειγμα 10

Το πρανές του συγκεκριμένου παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 20 \text{ m}$
- Βήμα 0.99 m

Πίνακας 4. 16: Αποτελέσματα παραδείγματος 10

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0	-1	0					
1	-15.5	45	-0.01	0	-0.22	-0.21	0.09	5.28	4.03	5.21	6.85
2	7	30.5	0.98	0.66	0.52	-0.12	0.18	11.05	9.85	12.29	10.64
3	8	24.5	1.97	1.33	1.36	-0.01	0.39	21.26	19.46	22.22	17.89
4	13.5	20.5	2.96	2	2.3	0.22	0.5	32.14	26.77	32	23.54
5	16.5	18	3.95	2.66	3.25	0.5	0.48	43.15	32.49	41.58	27.71
6	19	16	4.94	3.33	4.22	0.84	0.3	53.79	38.21	50.64	31.93
7	20.5	14.5	5.93	4	5.21	1.2	0.46	64.28	42.7	59.44	35.14
8	22	13	6.92	4.67	6.21	1.61	0.67	74.14	47.81	67.59	38.91
9	23	12	7.91	5.34	7.21	2.03	1.16	83.63	50.54	75.44	40.79
10	24	10.5	8.9	6	8.25	2.5	1.36	92.28	56.31	82.44	45.13
11	25	9.5	9.89	6.67	9.27	2.97	0.48	99.78	57.9	88.61	46.17
12	26	8.5	10.88	7.34	10.3	3.48	0.43	106.39	60.73	94.02	48.26
13	27	7.5	11.87	8.01	11.34	4.01	0.74	111.77	63.44	98.43	50.26
14	28	6.5	12.86	8.67	12.39	4.56	1.35	115.72	65.65	101.71	51.9
15	28.5	5.5	13.85	9.34	13.45	5.14	1.51	118.85	67	104.35	52.91
16	29.5	4.5	14.84	10.01	14.5	5.74	1.66	120.41	68.34	105.75	53.93
17	30.5	3.5	15.83	10.68	15.57	6.36	1.77	120.39	69.21	105.92	54.63
18	31.5	2.5	16.82	11.35	16.63	7.01	1.82	118.81	69.57	104.87	54.96
19	32	1.5	17.81	12.01	17.7	7.68	1.77	116.48	69.07	103.23	54.65
20	33	0.5	18.8	12.68	18.76	8.37	1.27	112.72	68.59	100.47	54.38
21	34	-0.5	19.79	13.35	19.83	9.09	0.58	107.65	67.68	96.67	53.81
22	35	-1.5	20.78	14.02	20.89	9.83	0.26	101.41	66.29	91.93	52.9
23	36	-2.5	21.77	14.68	21.95	10.6	1.18	94.17	64.44	86.36	51.67
24	36.5	-4	22.76	15.35	23.04	11.41	1.15	86.06	63.79	80.03	51.43
25	38	-5.5	23.75	16.02	24.11	12.25	0.65	76.07	60.81	72.21	49.42
26	39	-7	24.74	16.69	25.18	13.11	0.99	65.57	56.57	63.92	46.47
27	40.5	-9	25.73	17.36	26.26	14.03	0.66	53.99	53.5	54.62	44.54
28	42	-12	26.72	18.02	27.36	15.02	0.61	41.26	49.96	44.22	42.39
29	44	-16	27.71	18.69	28.46	16.09	0.48	27.61	43.72	32.88	38.25
30	47	-22.5	28.7	19.36	29.56	17.27	0.18	13.79	36.48	20.94	33.66
31	78.5	0	29.69	20	29.69	17.89	0	-0.02	1.55	10.52	4.25
kcend:	0.14										
30	46.5	-23	28.7	19.36	29.58	17.25	0.24				
31	81	0	29.69	20	29.69	17.92	0.24	-2			
kcend:	0.16										



Σχήμα 4. 16: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ και βήμα 0.99 m (Παράδειγμα 10)

Σε αυτό το παράδειγμα ορίστηκε η τιμή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί να είναι ίση με 0.12 και το βήμα διαμερισμού του πρανούς να είναι ίσο με 0.99 m. Στο συγκεκριμένο πρανές δεν επετεύχθη σύγκλιση και η επιτάχυνση των πρώτων τμημάτων είναι 0.14 και των δυο τελευταίων 0.16. Στο Σχήμα 4.15 παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια αρκετά ήπια επιφάνεια αστοχίας με σχεδόν κυκλική μορφή αστοχίας.

• Παράδειγμα 11

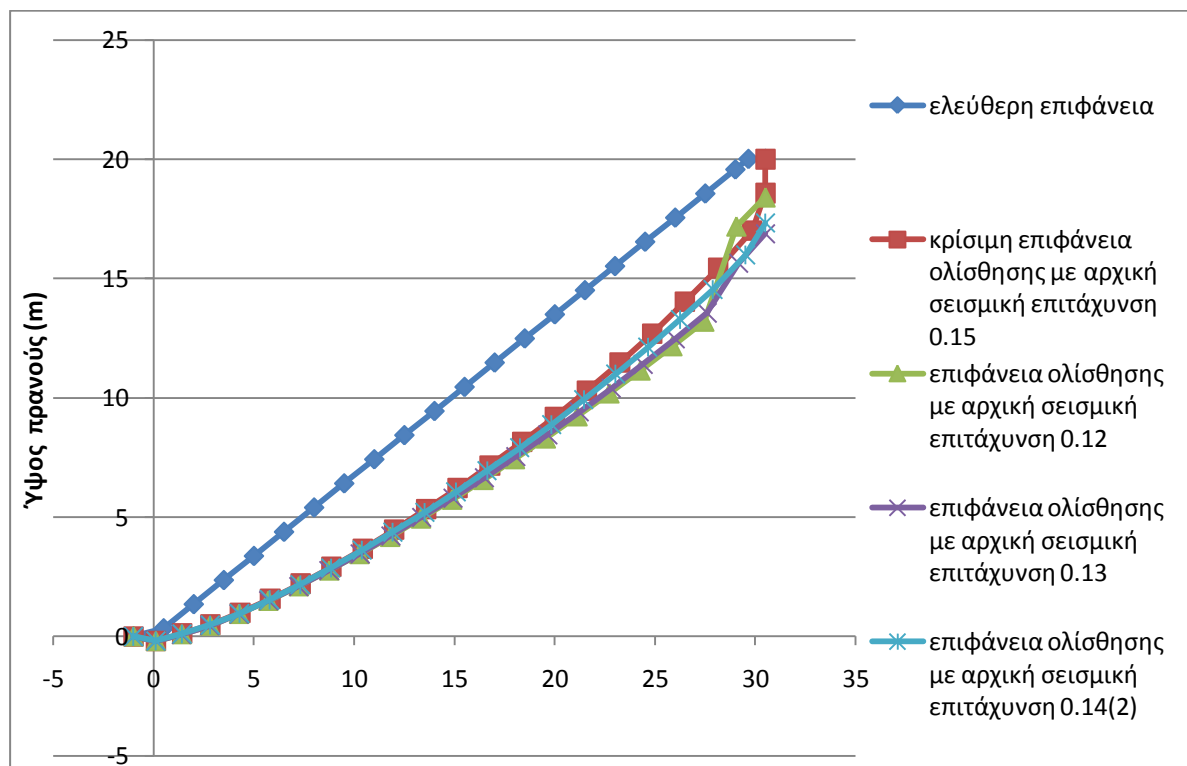
Το πρανές του παραδείγματος αυτού έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 20 \text{ m}$

- Βήμα 1.5 m

Πίνακας 4. 17: Αποτελέσματα παραδείγματος 11

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-9.5	36	0.5	0.34	0.12	-0.19	0.04	7.92	7.59	8.79	10.99
2	13	24.5	2	1.35	1.44	0.12	0.33	18.72	22.1	19.87	22.25
3	15	19.5	3.5	2.36	2.84	0.49	0.38	33.9	39.02	33.65	34.57
4	18.5	16	5	3.37	4.32	0.99	1	49.58	52.59	47.13	44.61
5	21	13.5	6.5	4.38	5.82	1.57	1.06	64.42	63.78	59.61	52.73
6	23	11.5	8	5.4	7.35	2.21	0.95	77.84	73.19	70.74	59.56
7	24.5	10	9.5	6.41	8.88	2.91	0.99	89.94	80.25	80.72	64.6
8	26	8.5	11	7.42	10.44	3.67	0.17	100.05	87.78	89.01	70.12
9	27	7	12.5	8.43	12.01	4.47	1.03	108.36	93.71	95.82	74.45
10	28.5	5.5	14	9.44	13.6	5.34	1.61	113.42	98.69	100.04	78.15
11	29.5	4.5	15.5	10.45	15.17	6.22	1.45	116.71	99.05	102.96	78.33
12	30.5	3	17	11.47	16.77	7.17	1.2	117.69	103.63	103.93	81.89
13	31.5	1.5	18.5	12.48	18.39	8.16	2	115.85	104.57	102.74	82.67
14	33	0	20	13.49	20	9.2	1.1	110.46	104.04	98.78	82.47
15	34.5	-1.5	21.5	14.5	21.61	10.31	1.13	102.01	101.91	92.39	81.13
16	35.5	-3.5	23	15.51	23.25	11.48	1.34	91.37	99.81	84.2	79.94
17	37	-5.5	24.5	16.53	24.87	12.7	0.61	78.12	93.87	73.92	75.88
18	39	-8	26	17.54	26.49	14.02	1.43	62.11	87.74	61.26	71.9
19	40.5	-12	27.5	18.55	28.16	15.44	0.72	44.45	80.49	47.02	67.31
20	43	-18.5	29	19.56	29.85	17.02	0.42	23.71	68.56	30.02	59.56
21	67.5	0	30.5	20	30.5	18.58	0	0.41	10.81	7.38	16.04
kcend:	0.16										
20	43	-18.5	29	19.56	29.85	17.02	0.42				
21	67.5	0	30.5	20	30.5	18.58	0.42	0.41			
kcend:	0.16										



Σχήμα 4. 17: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανού με γωνία $\beta = 34^\circ$ και βήμα 1.5 m (Παράδειγμα 11)

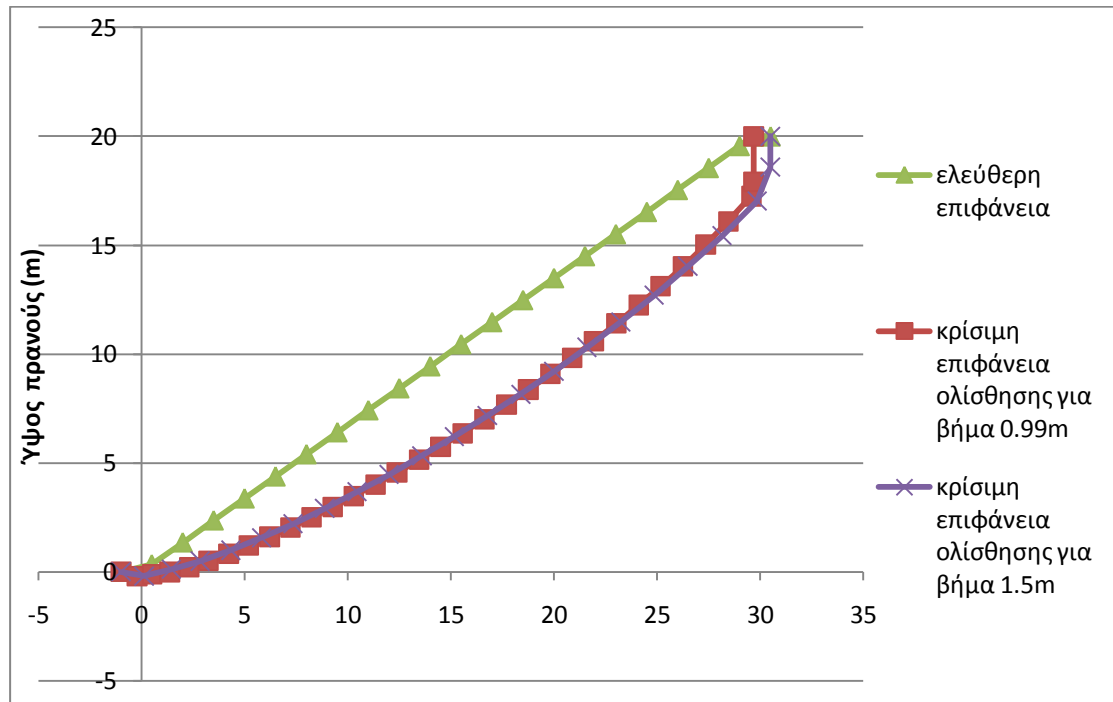
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε το βήμα με το οποίο θα δημιουργηθεί η επιφάνεια ολίσθησης να είναι ίσο με 1.5 m και η αρχική σεισμική επιτάχυνση να είναι ίση με 0.12. Η αύξηση του βήματος είχε ως αποτέλεσμα την σύγκλιση του πρανού του οποίου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι ίση με 0.16.

Στο Σχήμα 4.17 παρουσιάζονται η ελεύθερη επιφάνεια, η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ορισμένες από τις ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανού. Παρατηρείται ότι η ενδιάμεση επιφάνεια που δημιουργήθηκε με αρχική σεισμική επιτάχυνση ίση με 0.14 προσεγγίζει καλύτερα την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, σε αντίθεση με τις επιφάνειες ολίσθησης που δημιουργήθηκαν με αρχική σεισμική επιτάχυνση 0.12 και 0.13 οι οποίες αποκλίνουν από αυτή. Επιπλέον, η επιφάνεια ολίσθησης που προέκυψε από αρχική σεισμική επιτάχυνση ίση με 0.12 παρουσιάζει πιο έντονη ανομοιομορφία στα τελευταία δυο τμήματα σε σχέση με τις άλλες επιφάνειες οι οποίες είναι πιο ομαλές σε εκείνα τα τμήματα.

Συγκρίνοντας τα παραδείγματα 10 και 11 τα οποία διαφοροποιούνται στο βήμα με το οποίο δημιουργούνται οι αντίστοιχες κρίσιμες επιφάνειες ολίσθησης, στο παράδειγμα

10 το βήμα επιλέχθηκε να είναι ίσο με 0.99 m ενώ στο παράδειγμα 11 να είναι ίσο με 1.5 m, διαπιστώνεται ότι η τελική κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση επηρεάζεται από την επιλογή του βήματος. Στο παράδειγμα 10 δεν προέκυψε ενιαία κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για όλα τα τμήματα του πρανούς, αφού τα πρώτα τμήματα είχαν σεισμική επιτάχυνση 0.14 και τα δυο τελευταία 0.16. Αντιθέτως, στο παράδειγμα 11 που το βήμα αυξήθηκε σε 1.5 m προέκυψε ενιαία τιμή της σεισμικής επιτάχυνσης σε όλα τα τμήματα του πρανούς η οποία είναι ίση με 0.16. Με την αύξηση του βήματος δηλαδή παρουσιάζεται αυξημένη σεισμική επιτάχυνση.

Επιπροσθέτως, με την αύξηση του βήματος παρατηρείται ότι μειώνεται ο αριθμός των τμημάτων στα οποία χωρίζεται το πρανές, δηλαδή για βήμα 0.99 m το πρανές χωρίστηκε σε 31 τμήματα ενώ για βήμα 1.5 m το πρανές χωρίστηκε σε 21 τμήματα. Επίσης, παρατηρείται ότι η επιλογή μεγαλύτερου βήματος είχε ως αποτέλεσμα το τελευταίο σημείο της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς να μετατοπίζεται προς το εσωτερικό του πρανούς, δεν σημαίνει όμως ότι με την αύξηση του βήματος πάντα το τελευταίο σημείο θα μετατοπίζεται προς το εσωτερικό του πρανούς, δηλαδή θα απομακρύνεται όλο και πιο πολύ από το φρύδι του πρανούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή του βήματος διαμερισμού πρέπει να γίνεται με προσοχή γιατί δεν είναι σίγουρο ότι η επιλογή ενός μικρού βήματος θα οδηγήσει σε μια σωστή και ακριβή λύση, γιατί ενδεχομένως να μην υπάρχει νόημα να επιλεγθεί ένα πολύ μικρό βήμα. Πρέπει να υπάρχει μια αρμονική σχέση μεταξύ των παραμέτρων του πρανούς.



Σχήμα 4. 18: Συγκριτική παρουσίαση ελευθέρων επιφανειών και κρίσιμων επιφανειών ολίσθησης του πρανούς για βήμα 0.99 m και 1.5 m

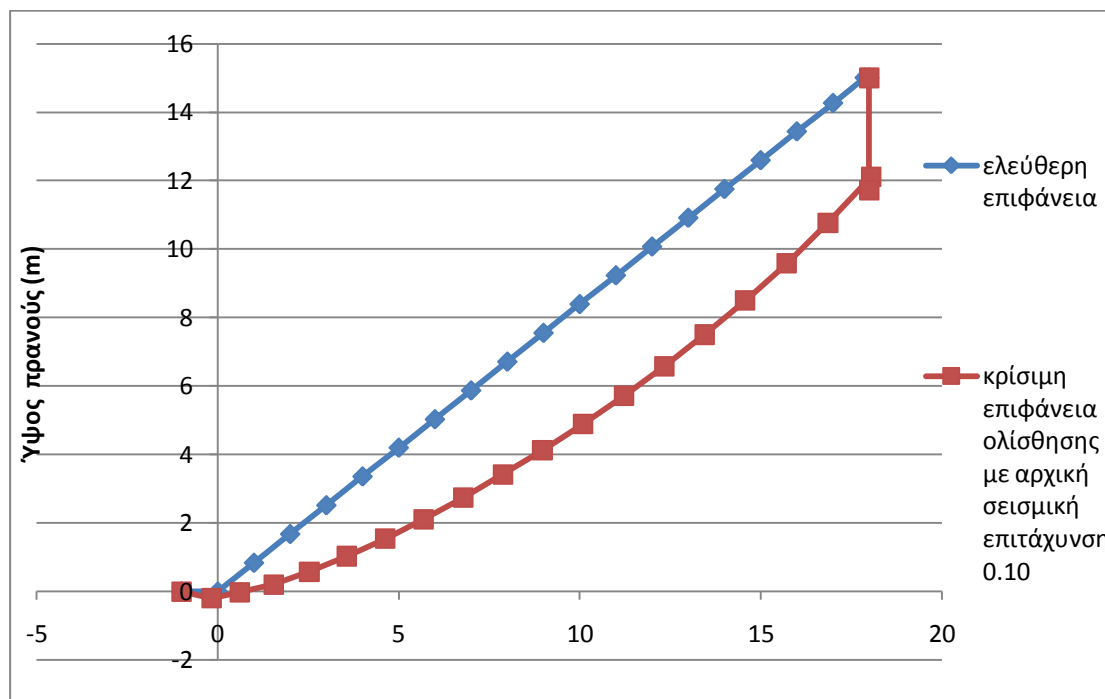
• Παράδειγμα 13

Το πρανές αυτού του Παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 40^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας 4. 18: Αποτελέσματα Παραδείγματος 13

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-13.5	41	0	0	-0.17	-0.2	0.11	5.54	4.09	5.2	7.12
2	13	24.5	1	0.84	0.61	-0.02	0.2	11.46	10.86	12.73	11.62
3	13.5	17.5	2	1.68	1.54	0.2	0.17	22.53	22.62	23.51	20.6
4	20.5	13.5	3	2.52	2.53	0.58	0.71	33.18	30.2	33.2	26.48
5	23.5	10.5	4	3.36	3.57	1.03	0.69	43.61	36.94	42.38	31.51
6	26	8	5	4.2	4.63	1.54	0.44	53.03	43.07	50.52	36.05
7	28	6	6	5.03	5.69	2.11	0.91	61.22	47.66	57.57	39.4
8	30	4	7	5.87	6.78	2.74	0.58	67.62	52.44	63.06	43
9	31.5	2	8	6.71	7.88	3.42	0.5	72.17	56.03	67.03	45.71
10	33	0.5	9	7.55	8.97	4.12	1.19	75.03	56.89	69.69	46.31
11	34.5	-1.5	10	8.39	10.09	4.89	0.65	75.79	60.23	70.58	48.98
12	36	-3.5	11	9.23	11.22	5.71	1.05	74.11	60.98	69.54	49.64
13	38	-5.5	12	10.07	12.34	6.58	0.57	69.66	60.52	66.29	49.49
14	39.5	-7.5	13	10.91	13.45	7.5	0.83	63.45	58.58	61.62	48.23
15	41.5	-10	14	11.75	14.57	8.5	0.77	54.86	57.2	54.93	47.56
16	43.5	-13.5	15	12.59	15.72	9.58	0.9	43.8	54.92	46.11	46.36
17	46	-18	16	13.43	16.86	10.77	0.67	30.44	49.33	35.29	42.77
18	48.5	-26	17	14.26	18.05	12.11	0.17	14.26	41.95	21.98	38.33
19	82.5	0	18	15	18	11.72	0	-0.6	0.74	15.98	2.48
kcend:	0.12										
18	49	-25.5	17	14.26	18.03	12.13	0.23				
19	84.5	0	18	15	18	11.83	0.23	0.76			
kcend:	0.10										



Σχήμα 4. 19: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού με γωνία $\beta = 40^\circ$ και βήμα 1.0 m (Παράδειγμα 13)

Στο παρόν παράδειγμα επιλέχθηκε να τεθεί ως αρχική σεισμική επιτάχυνση η τιμή 0.12 και το βήμα υπολογισμού της επιφάνειας ολίσθησης να είναι ίσο με 1.0 m. Δεν επετεύχθη σύγκλιση στο πρανές αυτού του παραδείγματος και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση των πρώτων τμημάτων είναι 0.12 και των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανού 0.10.

Στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού. Παρατηρώντας το σχήμα και κυρίως την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης διαπιστώνεται ότι στα τελευταία δυο τμήματα υπάρχει μια ανομοιομορφία, διότι το τμήμα 18 (18.03,12.13) βρίσκεται πιο ψηλά σε σχέση με το τμήμα 19 (18,11.83) με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα μη κανονικό σχήμα στην επιφάνεια αστοχίας. Αυτή η ανομοιομορφία πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ενιαία τιμή για την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση σε όλα τα τμήματα του πρανού.

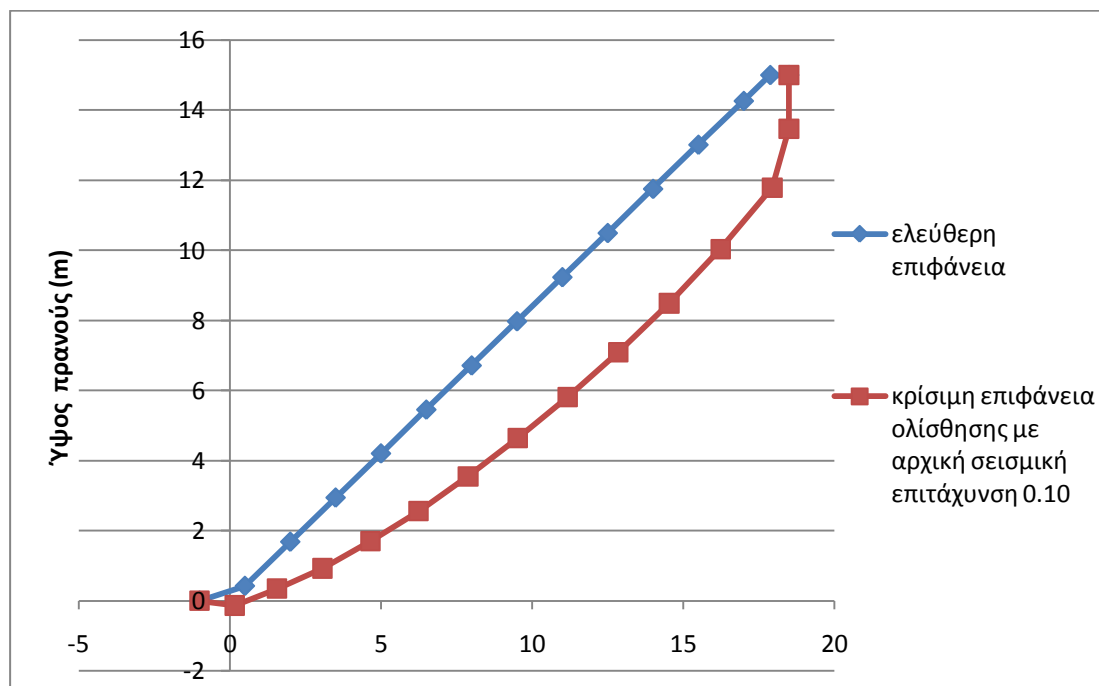
• **Παράδειγμα 14**

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς που εξετάζεται σε αυτό το Παράδειγμα είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 40^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 1.5 m

Πίνακας 4. 19: Αποτελέσματα Παραδείγματος 14

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-6.5	31	0.5	0.42	0.17	-0.13	0.15	8.15	7.54	8.93	11.16
2	19	18	2	1.68	1.57	0.35	0.22	19.12	24.02	20.38	24.22
3	21	12	3.5	2.94	3.07	0.93	0.73	34.4	43.84	34.36	38.75
4	26	8	5	4.2	4.65	1.7	0.87	47.55	58.5	45.92	49.73
5	28.5	5	6.5	5.45	6.25	2.56	1.02	58.83	68.91	55.7	57.35
6	31	2	8	6.71	7.89	3.55	0.78	66.62	78.59	62.47	64.61
7	33.5	-0.5	9.5	7.97	9.53	4.64	0.95	70.01	83.79	65.7	68.5
8	35.5	-3	11	9.23	11.18	5.81	1.08	69.64	86.73	65.88	70.87
9	37.5	-6	12.5	10.49	12.86	7.1	0.27	64.99	88.58	62.55	72.59
10	39.5	-9.5	14	11.75	14.54	8.49	1.36	56.05	86.58	55.75	71.56
11	42.5	-14	15.5	13.01	16.24	10.04	0.69	41.76	81.55	44.51	68.59
12	45.5	-21	17	14.26	17.95	11.79	1.33	23.71	72.02	29.88	62.64
13	72	0	18.5	15	18.5	13.47	0	-0.81	12.85	7.06	17.87
kcend:	0.1										
12	45.5	-21.5	17	14.26	17.97	11.79	0.75				
13	72.5	0	18.5	15	18.5	13.47	0.75	-1.28			
kcend:	0.1										

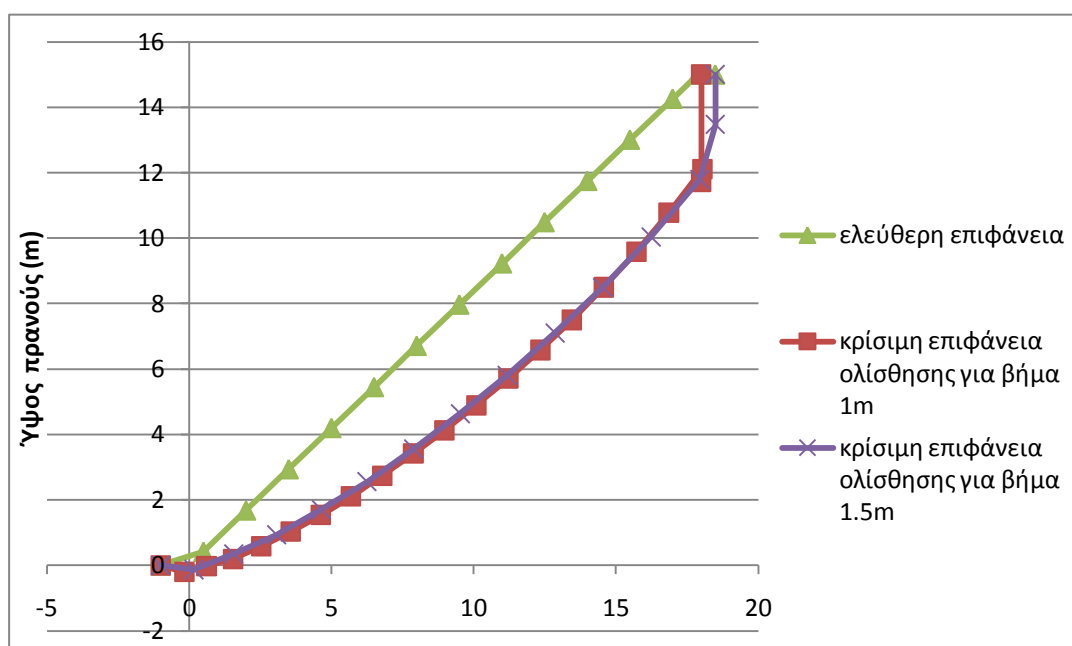


Σχήμα 4. 20: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 40^\circ$ και βήμα 1.5 m (Παράδειγμα 14)

Σε αυτό το παράδειγμα ορίστηκε η τιμή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης ίση με 0.12 και το βήμα διαμερισμού του πρανούς ίσο με 1.5 m. Η αύξηση του βήματος είχε ως αποτέλεσμα την σύγκλιση του πρανούς το οποίο έχει κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση ίση με 0.10. Στο Σχήμα 4.19 απεικονίζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς στην οποία δεν παρατηρείται καμία ανομοιομορφία στη γεωμετρία των τελευταίων τμημάτων του πρανούς.

Συγκρίνοντας τα παραδείγματα 13 και 14 τα οποία διαφέρουν ως προς το βήμα, στο παράδειγμα 13 το βήμα είναι 1.0 m ενώ στο παράδειγμα 14 είναι 1.5 m, διαπιστώνεται ότι με την μεταβολή του βήματος επηρεάζεται και η ευστάθεια του πρανούς. Όταν το βήμα γίνει 1.5 m τότε η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει είναι ενιαία σε όλο το πρανές και ίση με 0.10, ενώ για βήμα 1.0 m τα πρώτα τμήματα του πρανούς έχουν διαφορετική σεισμική επιτάχυνση από τα δυο τελευταία, 0.12 και 0.10 αντίστοιχα. Στην προκειμένη περίπτωση με την αύξηση του βήματος παρουσιάστηκε μειωμένη σεισμική επιτάχυνση για το πρανές παρά το γεγονός ότι αυτή η αύξηση οδήγησε στον υπολογισμό ενιαίας τιμής σεισμικής επιτάχυνσης.

Επιπλέον, η αύξηση του βήματος είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση των τμημάτων στα οποία χωρίζεται το πρανές, δηλαδή για βήμα 1.0 m το πρανές χωρίστηκε σε 19 τμήματα, ενώ για βήμα 1.5 m χωρίστηκε σε 15 τμήματα. Τέλος, παρατηρώντας το Σχήμα 4.20, όπου γίνεται η σύγκριση των κρίσιμων επιφανειών ολίσθησης για βήμα 1.0 m και 1.5 m αντίστοιχα, διαπιστώνεται ότι οι δυο επιφάνειες ολίσθησης ταυτίζονται στο μεγαλύτερο μέρος του εκτός από τα δυο τελευταία τμήματα όπου για την επιφάνεια ολίσθησης με βήμα 1.0 m παρατηρείται ότι υπάρχει μια μικρή ανομοιομορφία ενώ η επιφάνεια ολίσθησης με βήμα 1.5 m είναι πιο ομαλή και έχει καλύτερη γεωμετρία σε αυτή την περιοχή.



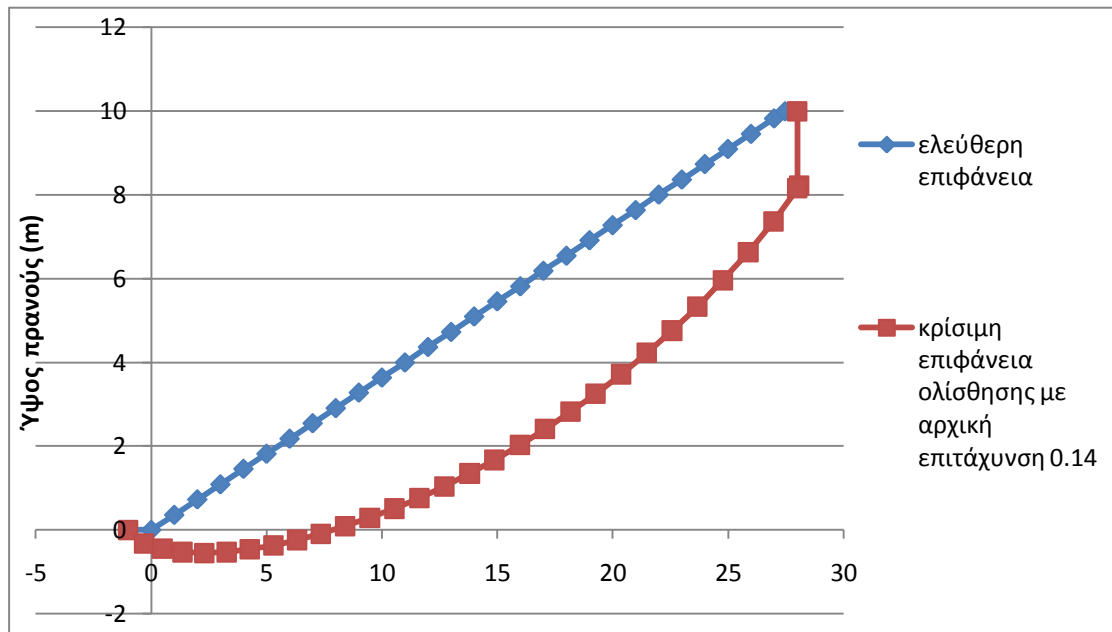
Σχήμα 4. 21: Συγκριτική παρουσίαση ελεύθερων επιφανειών και κρίσιμων επιφανειών ολίσθησης του πρανούς για βήμα 1.0 m και 2.0 m

• Παράδειγμα 21

Σε αυτό το Παράδειγμα το πρανές που μελετάται έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$

- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m



Σχήμα 4. 22: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ και βήμα 1.0 m (Παράδειγμα 21)

Τα αποτελέσματα του παραδείγματος 21 έχουν παρατεθεί και αναλυθεί λεπτομερώς στη παράγραφο 4.1.1.2 και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για το συγκεκριμένο πρανές είναι 0.14. Στο Σχήμα 4.21 παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς όπου παρατηρείται ότι στα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς υπάρχει μια μικρή ανομοιομορφία στη γεωμετρία τους.

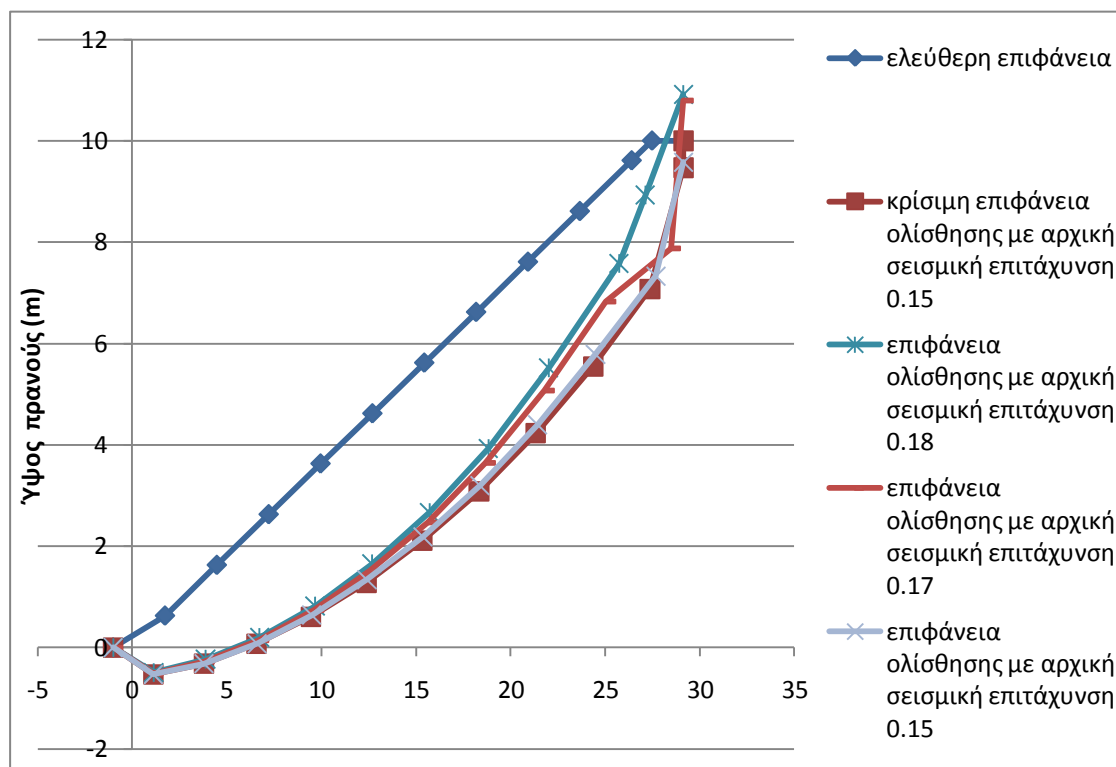
- **Παράδειγμα 23**

Αυτό το Παράδειγμα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 2.74 m

Πίνακας 4. 20: Αποτελέσματα παραδείγματος 23

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0	-1	0					
1	-14	28.5	1.74	0.63	1.11	-0.53	0.17	21.04	30.17	14.26	21.86
2	4.5	19.5	4.48	1.63	3.79	-0.32	0.22	44.24	80.64	26.42	42.8
3	8	14	7.22	2.63	6.58	0.08	0.51	67.02	118.62	37.54	57.28
4	10.5	9.5	9.96	3.63	9.46	0.61	0.74	86.72	148.7	46.85	68.72
5	13	5.5	12.7	4.62	12.38	1.28	0.97	100.23	171.03	53.25	77.25
6	15.5	1.5	15.44	5.62	15.35	2.11	1.18	105.52	185.86	55.97	83.05
7	18	-2.5	18.18	6.62	18.33	3.08	1.18	101.82	190.98	54.77	85.21
8	21	-7	20.92	7.61	21.34	4.23	1.55	87.91	187.98	49.04	84.49
9	23.5	-13	23.66	8.61	24.37	5.55	0.47	66.97	176.03	40.09	80.6
10	27	-21	26.4	9.61	27.37	7.08	2.77	39.91	151.1	28.08	71.85
11	53.5	0	27.4748	10	29.14	9.47	0	-0.6	41.74	2.43	30.06
kcend:	0.14		29.14	10	29.14	10					
10	27	-22.5	26.4	9.61	27.43	7.08	0.4				
11	54	0	29.14	10	29.14	9.43	0.4	-2.13			
kcend:	0.14										



Σχήμα 4. 23: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανού με γωνία $\beta = 20^\circ$ και βήμα 2.74 m (Παράδειγμα 23)

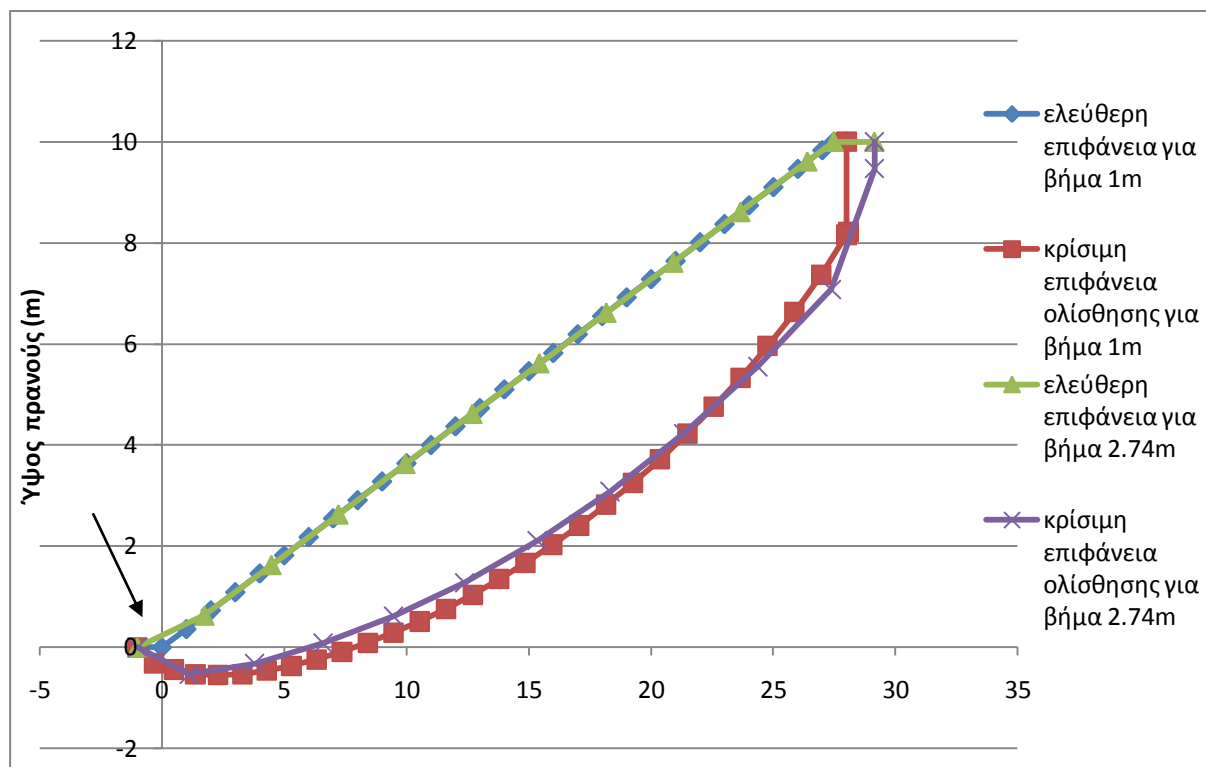
Σε αυτό το παράδειγμα η αρχική σεισμική επιτάχυνση τέθηκε ίση με 0.24 και το βήμα ίσο με 2.74 m. Η τιμή που δόθηκε στο βήμα είναι αρκετά μεγάλη, αλλά αυτό έγινε με σκοπό να μεταβάλλονται οι τιμές του y_{si} κατά 1.0 m κάθε φορά. Παρά την αύξηση του βήματος η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς παρέμεινε ίδια και είναι ίση με 0.14.

Στο Σχήμα 4.23 απεικονίζεται η ελεύθερη επιφάνεια, η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και κάποιες από τις ενδιάμεσες επιφάνειες ολίσθησης του πρανούς. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι επιφάνειες οι οποίες δημιουργήθηκαν με αρχική σεισμική επιτάχυνση μεγαλύτερη από αυτήν που δημιουργήθηκε η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης αποκλίνουν αρκετά από την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και παρουσιάζουν έντονες ανομοιομορφίες στη γεωμετρία τους, ιδιαίτερα στα τελευταία τμήματα, όπου φαίνεται ότι το τελευταίο σημείο της επιφάνειας ολίσθησης βρίσκεται πιο ψηλά από την ελεύθερη επιφάνεια του πρανούς. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι η τιμή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης από την οποία δημιουργήθηκαν είναι αρκετά μεγάλη για το συγκεκριμένο πρανές. Αντίθετα, οι επιφάνειες που δημιουργήθηκαν με αρχική σεισμική επιτάχυνση κοντινή ή και ίση με την τιμή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης από την οποία προέκυψε η κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας, προσεγγίζουν καλύτερα αυτή την επιφάνεια και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία στη γεωμετρία τους.

Συγκρίνοντας τα δυο παραδείγματα 21 και 23 τα οποία διαφέρουν ως προς το βήμα, διαπιστώνεται ότι και από τα δυο προκύπτει η ίδια κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση η οποία είναι ίση με 0.14. Σε προηγούμενα παραδείγματα παρατηρήθηκε ότι με την μεταβολή του βήματος μεταβάλλεται και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς και συνεπώς και η ευστάθεια του, παρόλα αυτά σε αυτό το παράδειγμα αν και αυξήθηκε αρκετά το βήμα η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση παρέμεινε σταθερή. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση δεν εξαρτάται μόνο από την μεταβολή του βήματος αλλά και από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του πρανούς.

Επιπλέον, με την αύξηση του βήματος παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση, περίπου στο 1/3, του αριθμού των τμημάτων στα οποία χωρίστηκε το πρανές, γεγονός το οποίο είναι απόλυτα δικαιολογημένο. Επίσης, παρατηρώντας το Σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 4.24), διαπιστώνεται ότι για βήμα 2.74m, η γεωμετρία της ελεύθερης επιφάνειας

λαμβάνεται από το πρόγραμμα ελαφρώς διαφοροποιημένη από ότι στην πραγματικότητα. Η διαφοροποίηση αυτή εντοπίζεται στο πρώτο τμήμα της ελεύθερης επιφάνειας και οφείλεται στον τρόπο που πραγματοποιούνται οι αριθμητικοί υπολογισμοί μέσω του προγράμματος. Διαπιστώνεται ότι η επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 2.74 m είναι πιο ομαλή στα δυο τελευταία τμήματα σε σχέση με την επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 1.0 m.



Σχήμα 4. 24: Συγκριτική παρουσίαση ελεύθερων επιφανειών και κρίσιμων επιφανειών ολίσθησης του πρανούς για βήμα 1.0 m και 2.74 m

• Παράδειγμα 25

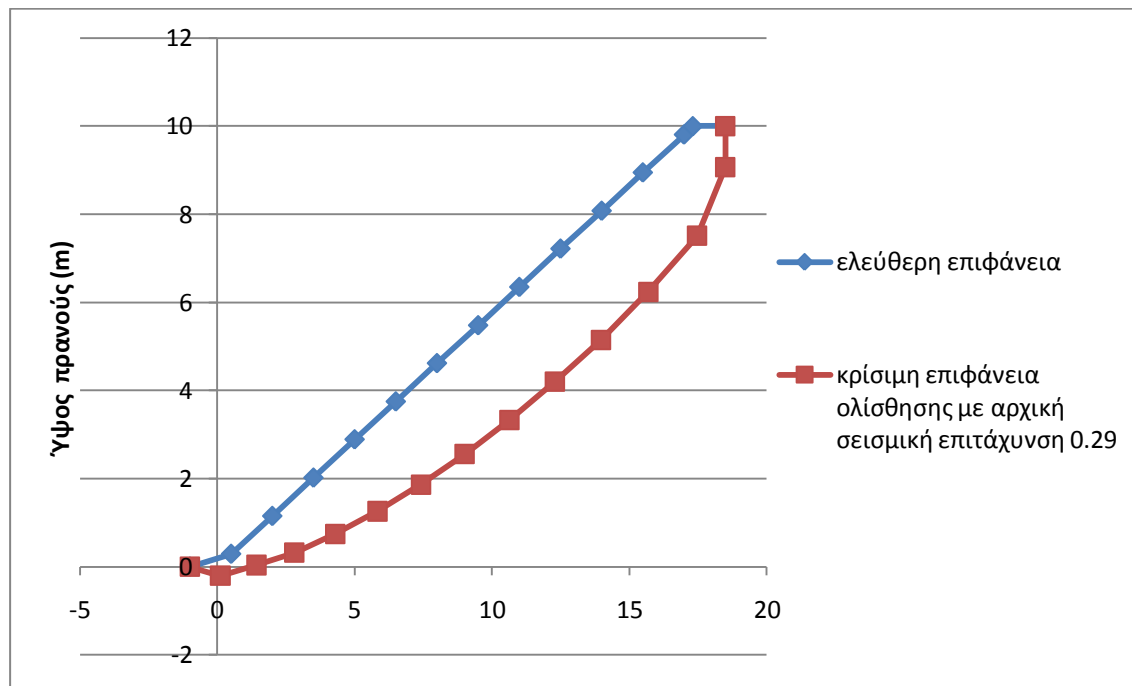
Το πρανές που εξετάζεται σε αυτό το παράδειγμα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$

- Βήμα 1.5 m

Πίνακας 4. 21: Αποτελέσματα παραδείγματος 25

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-10	39	0.5	0.29	0.11	-0.2	0.11	7.16	7.01	8.13	10.54
2	10	27.5	2	1.15	1.42	0.04	0.34	16.2	20.1	17.65	20.73
3	11.5	22	3.5	2.02	2.81	0.32	0.51	28.47	35.72	29.11	32.13
4	16	18	5	2.89	4.3	0.75	0.71	39.25	47.81	38.73	41.24
5	18.5	15	6.5	3.75	5.83	1.26	0.47	48.33	56.26	46.76	47.44
6	21	12	8	4.62	7.41	1.87	0.73	54.51	63.95	52.24	53.26
7	23.5	9.5	9.5	5.48	9.01	2.56	0.88	57.08	68.02	54.79	56.32
8	25.5	7	11	6.35	10.63	3.33	0.88	56.59	70.27	54.83	58.17
9	27.5	4	12.5	7.22	12.29	4.2	0.29	52.64	71.65	52	59.53
10	29.5	0.5	14	8.08	13.97	5.15	1.09	45.22	69.92	46.33	58.64
11	32.5	-4	15.5	8.95	15.69	6.24	0.68	33.51	65.73	37.03	56.19
12	35.5	-11.5	17	9.81	17.47	7.51	1.17	17.97	58.09	24.34	51.61
13	56.5	0	18.5	10	18.5	9.07	0	-0.97	10.79	3.97	16.9
kcend:	0.3										
12	35.5	-12	17	9.81	17.49	7.51	0.61				
13	56.5	0	18.5	10	18.5	9.04	0.61	-1.43			
kcend:	0.3										



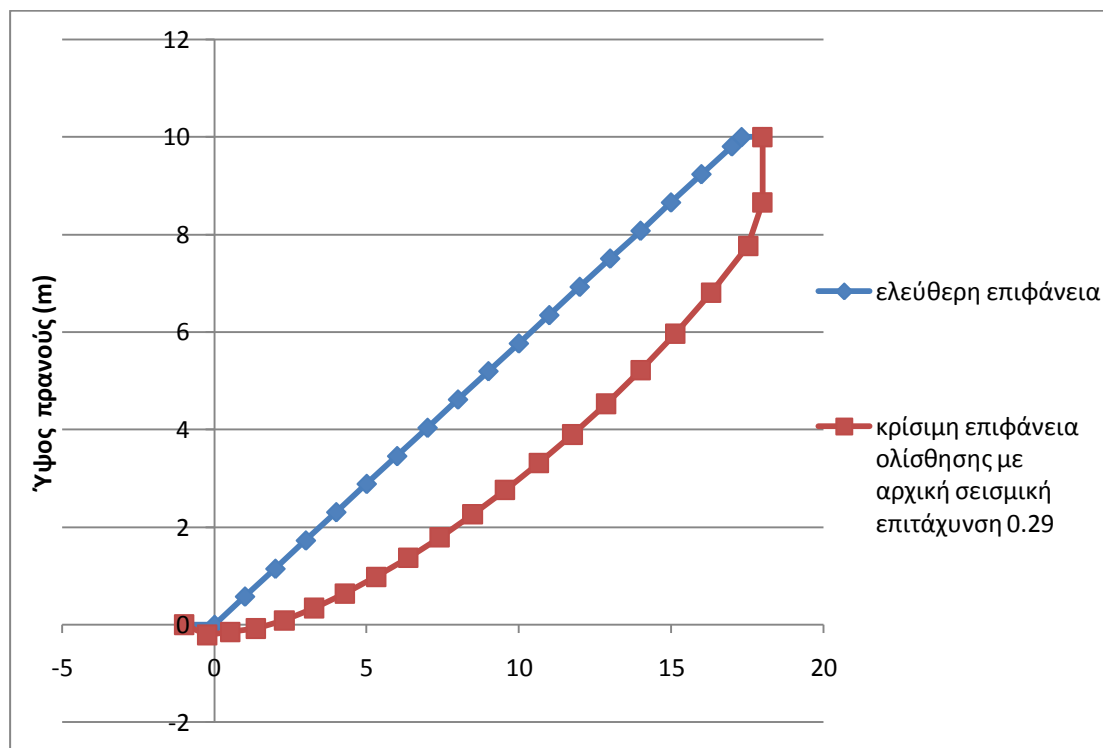
Σχήμα 4. 25: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$ και βήμα 1.5 m (Παράδειγμα 25)

Σε αυτό το παράδειγμα η αρχική σεισμική επιτάχυνση που δίνεται για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί είναι ίση με 0.30 και το βήμα διαμερισμού είναι ίσο με 1.5 m. Μετά από την επαναληπτική διαδικασία που εκτελεί το πρόγραμμα προκύπτει η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς η οποία είναι ίση με 0.30. Το συγκεκριμένο πρανές χωρίστηκε σε 13 τμήματα. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς.

• Παράδειγμα 26

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς σε αυτό το παράδειγμα είναι τα εξής:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m



Σχήμα 4. 26: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$ και βήμα 1.0 m (Παράδειγμα 26)

Η αρχική σεισμική επιτάχυνση που τέθηκε στη συγκεκριμένη δοκιμή είναι 0.30 και το βήμα ίσο με 1.0 m. Μετά την ανάλυση προέκυψε η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς η οποία είναι ίση με 0.30 καθώς και η αντίστοιχη κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Επίσης, αναφέρεται ότι το συγκεκριμένο πρανός χωρίστηκε σε 19 τμήματα με βάση το βήμα που δόθηκε προκειμένου να γίνει η παραπάνω ανάλυση. Στο Σχήμα 4.25 παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς.

• Παράδειγμα 27

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς αυτού του παραδείγματος είναι:

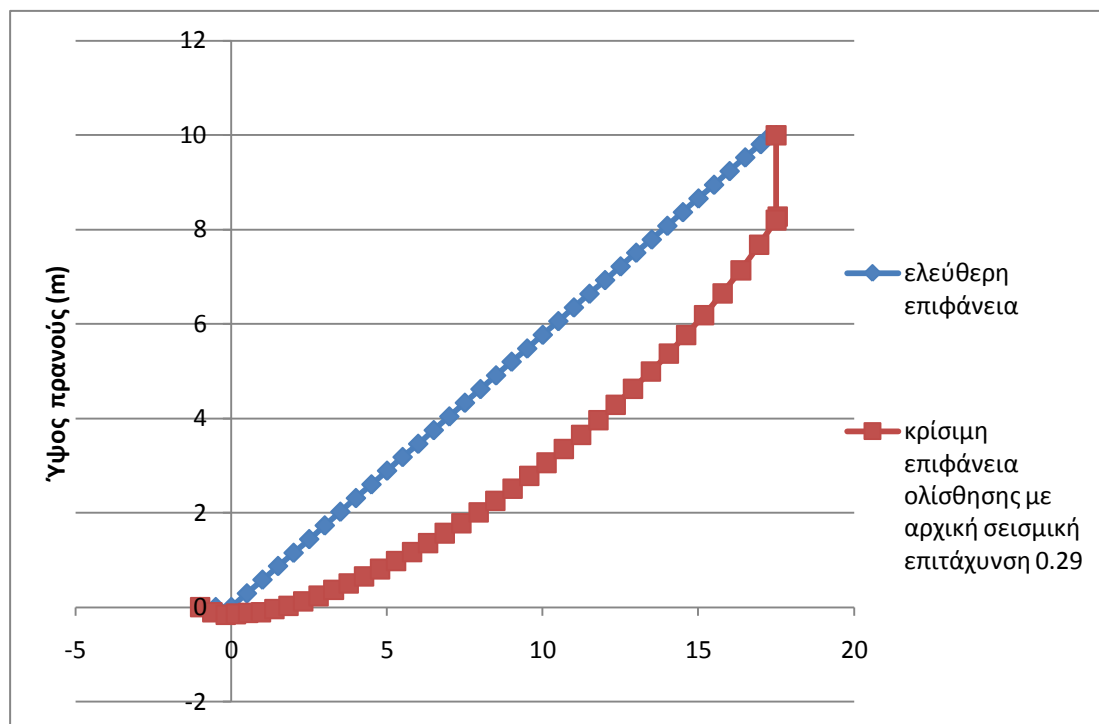
- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$

Διπλωματική Εργασία: «Παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών»

- Ύψος πρανούς H = 10 m
- Βήμα 0.5 m

Πίνακας 4. 22: Αποτελέσματα Παραδείγματος 27

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-14	47.5	-0.5	0	-0.61	-0.1	0.05	2.01	1.2	2.13	2.86
2	-8	49	0	0	-0.18	-0.16	0.08	4.1	1.29	4.07	3.05
3	3	39	0.5	0.29	0.15	-0.14	0.07	6.1	3.48	7.03	4.11
4	3	33.5	1	0.58	0.54	-0.12	2.56	9.31	6.88	10.7	6.75
5	3	29.5	1.5	0.87	0.95	-0.1	0.24	13.55	8.31	15.03	7.9
6	7	27	2	1.15	1.39	-0.04	0.14	17.84	9.67	19.22	8.96
7	9.5	25	2.5	1.44	1.84	0.03	0.3	22.25	11.27	23.37	10.19
8	11.5	23	3	1.73	2.32	0.13	0.21	26.58	13.16	27.32	11.66
9	13	21.5	3.5	2.02	2.8	0.24	0.01	30.76	14.28	31.11	12.46
10	14.5	20	4	2.31	3.29	0.37	0.3	34.73	15.77	34.66	13.6
11	15.5	19	4.5	2.6	3.78	0.5	0.48	38.62	16.34	38.13	13.96
12	17	18	5	2.89	4.27	0.65	0.67	42.28	17.6	41.35	14.92
13	17.5	17	5.5	3.18	4.78	0.81	0.57	45.89	18.65	44.49	15.69
14	18.5	16	6	3.46	5.29	0.98	0.36	49.15	19.71	47.32	16.49
15	19.5	15	6.5	3.75	5.81	1.17	0.15	51.96	20.66	49.78	17.22
16	20.5	14	7	4.04	6.33	1.36	0.29	54.29	21.49	51.82	17.85
17	21	13	7.5	4.33	6.86	1.57	0.49	56.31	22.08	53.62	18.3
18	22	12	8	4.62	7.4	1.78	0.63	57.79	22.68	54.97	18.77
19	23	11	8.5	4.91	7.94	2.01	0.76	58.71	23.17	55.86	19.16
20	24	10	9	5.2	8.48	2.25	0.85	59.05	23.52	56.29	19.45
21	25	9	9.5	5.48	9.03	2.51	0.88	58.85	23.74	56.27	19.64
22	26	8	10	5.77	9.58	2.78	0.87	58.09	23.82	55.81	19.74
23	27	7	10.5	6.06	10.13	3.06	0.8	56.83	23.77	54.92	19.75
24	27.5	6	11	6.35	10.68	3.35	0.61	55.32	23.47	53.84	19.55
25	28.5	5	11.5	6.64	11.24	3.65	0.37	53.35	23.21	52.37	19.4
26	29.5	4	12	6.93	11.79	3.96	0.09	50.96	22.83	50.56	19.17
27	30.5	3	12.5	7.22	12.35	4.29	0.32	48.2	22.34	48.42	18.86
28	31.5	2	13	7.51	12.9	4.63	0.72	45.11	21.74	45.99	18.46
29	32.5	0.5	13.5	7.79	13.48	4.99	0.34	41.4	21.96	43	18.79
30	33.5	-1	14	8.08	14.05	5.37	0.29	37.19	20.85	39.6	18.03
31	35	-2.5	14.5	8.37	14.61	5.77	0.25	32.55	19.58	35.82	17.16
32	36	-4.5	15	8.66	15.19	6.19	0.3	27.64	18.74	31.74	16.71
33	38	-7	15.5	8.95	15.78	6.65	0.4	22.09	17.58	27.05	16.04
34	40	-10	16	9.24	16.37	7.14	0.26	16.19	15.69	21.98	14.82
35	42	-14	16.5	9.53	16.96	7.68	0.27	10.21	13.46	16.69	13.41
36	45	-20	17	9.81	17.56	8.27	3.2	3.93	10.72	10.95	11.74
37	51	0	17.5	10	17.5	8.2	0	-0.99	-1.89	8.31	-0.84
kcend:	0.3										
36	45.5	-20.5	17	9.81	17.57	8.28	3				
37	45.5	0	17.5	10	17.5	8.21	3	-1.52			
kcend:	0.3										



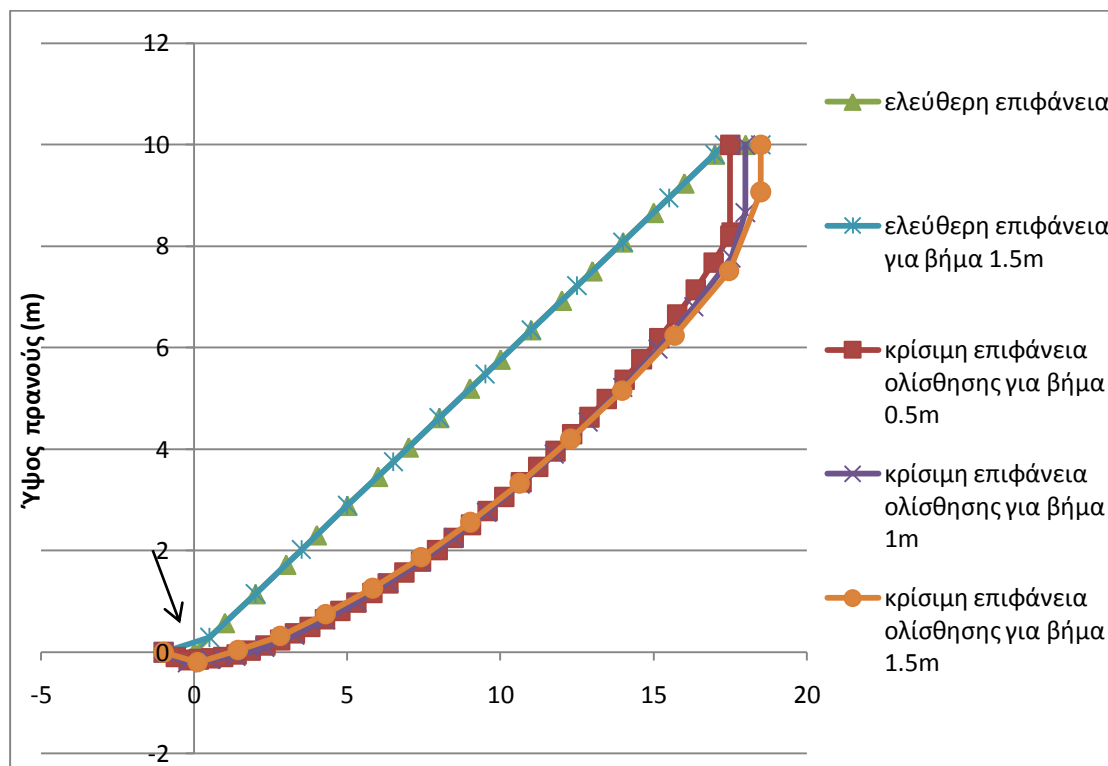
Σχήμα 4. 27: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$ και βήμα 0.5 m (Παράδειγμα 27)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίσθηκε η αρχική σεισμική επιτάχυνση να είναι ίση με 0.30 και το βήμα ίσο με 0.5 m. Και σε αυτή την περίπτωση η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση προέκυψε ίση με 0.30 για όλα τα τμήματα του πρανούς. Στο Σχήμα 4.26 απεικονίζονται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς όπως αυτή προέκυψε με βάση το πρόγραμμα. Το συγκεκριμένο πρανές για βήμα ίσο με 0.5 m χωρίστηκε σε 37 τμήματα.

Συγκρίνοντας τα παραδείγματα 25, 26 και 27 τα οποία διαφέρουν ως προς την τιμή του βήματος διαπιστώνεται ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση δεν επηρεάζεται από την μεταβολή του βήματος. Και στις τρεις περιπτώσεις η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι ίση με 0.30 παρά το γεγονός ότι το βήμα είναι διαφορετικό κάθε φορά, 1.5 m, 1.0 m και 0.5 m αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση δεν εξαρτάται μόνο από τη μεταβολή του βήματος αλλά και από τα υπόλοιπα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά του πρανούς, δηλαδή το συγκεκριμένο πρανές μπορεί να αντέξει μέχρι 0.30 μέχρι να ολισθήσει ανεξάρτητα από το βήμα το οποίο θα επιλεγεί για να δημιουργηθεί η κρίσιμη επιφάνεια

ολίσθησης. Η βασική διαφορά που παρουσιάζεται στις τρεις αυτές δοκιμές αφορά τη γεωμετρία της κρίσιμης επιφάνεια ολίσθησης η οποία επηρεάζεται από την αλλαγή του βήματος, αφού ανάλογα με το βήμα που επιλέγεται γίνεται και ο χωρισμός των τμημάτων του πρανούς. Δηλαδή για βήμα ίσο με 0.5 m το πρανές χωρίστηκε σε 37 τμήματα, για βήμα ίσο με 1.0 m το πρανές χωρίστηκε σε 19 τμήματα και για βήμα 1.5 m σε 13 τμήματα.

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.28, όπου παρουσιάζονται και οι τρεις κρίσιμες επιφάνειες ολίσθησης επιφάνειες διαπιστώνεται ότι ταυτίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα τους και διαφοροποιούνται στα τελευταία τμήματα. Στη κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 0.5 m παρατηρείται μια ανομοιομορφία στα δυο τελευταία τμήματα, στην κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 1.0 m δεν παρατηρείται κάτι τέτοιο, αντίθετα είναι πιο ομαλή σαν επιφάνεια. Αντιθέτως, διαπιστώνεται ότι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 1.5 m παρουσιάζει πιο έντονες διαφοροποιήσεις από τις άλλες δυο τόσο στα αρχικά όσο και στα δυο τελευταία τμήματα, αν και προσεγγίζει καλύτερα την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης για βήμα 1.0 m. Τέλος, διαπιστώνεται ότι για βήμα 1.50 m, η γεωμετρία της ελεύθερης επιφάνειας λαμβάνεται από το πρόγραμμα ελαφρώς διαφοροποιημένη από ότι στην πραγματικότητα. Η διαφοροποίηση αυτή εντοπίζεται στο πρώτο τμήμα της ελεύθερης επιφάνειας και οφείλεται στον τρόπο που πραγματοποιούνται οι αριθμητικοί υπολογισμοί μέσω του προγράμματος.



Σχήμα 4. 28: Συγκριτική παρουσίαση ελεύθερων επιφανειών και κρίσιμων επιφανειών ολίσθησης για βήμα 0.5 m, 1.0 m και 1.5 m

Συμπερασματικά, από τις αναλύσεις που έγιναν για να εξεταστεί ποια είναι η επιρροή του βήματος στον υπολογισμό της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης του πρανού διαπιστώνεται ότι το βήμα, το οποίο επιλέγεται κάθε φορά, επηρεάζει τον υπολογισμό αυτής και συνεπώς την εκτίμηση της ευστάθειας του πρανού όχι όμως ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά του πρανού. Υπήρξαν περιπτώσεις που η μεταβολή του βήματος οδήγησε στον υπολογισμό ενιαίας τιμής της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης σε όλα τα τμήματα του πρανού η οποία ήταν αυξημένη σε σχέση με την τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης για μικρότερο βήμα και άλλες όπου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανού παρέμεινε ίδια εφόσον αυτή ήταν δεδομένη και δεν επηρεαζόταν από την επιλογή του βήματος. Επιπλέον, η επιλογή πολύ μεγάλου ή πολύ μικρού βήματος πιθανόν να δημιουργήσει προβλήματα κατά την αναλυτική επίλυση που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης με αποτέλεσμα να παρατηρούνται ανομοιομορφίες στις αντίστοιχες επιφάνειες ολίσθησης αλλά και πιθανή διαφοροποίηση στη γεωμετρία του πρώτου τμήματος της ελεύθερης επιφάνειας σε σχέση με την πραγματικότητα. Γενικά, το βήμα δεν αποτελεί

ανεξάρτητο παράγοντα για την εκτίμηση της ευστάθειας του πρανούς, αλλά αυτό που πρέπει να διερευνηθεί, είναι το ποιο είναι το καταλληλότερο βήμα που πρέπει να ορισθεί ώστε να προκύψει η ελάχιστη τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης που θα οδηγήσει σε αστοχία το υπό εξέταση πρανές.

4.1.2. Μέθοδος Sarma - Hoek

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Sarma – Hoek με το οποίο υπολογίστηκε εκ νέου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας για τα υπό εξέταση άοπλα πρανή. Σε αυτό το λογισμικό εισήχθησαν οι συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης, όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση το πρόγραμμα Sarma – Tan, το ειδικό βάρος, η γωνία τριβής και η συνοχή του υπό εξέταση πρανούς και υπολογίστηκε η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιείται και για τον υπολογισμό της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και των οπλισμένων πρανών που μελετώνται παρακάτω.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω κατά τον Sarma, ο στατικός συντελεστής ασφαλείας F και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση συνδέονται μεταξύ τους με τη γραμμική σχέση:

$$F = 1.0 + b \cdot k_{cr} \quad (\text{Εξ. 1.1})$$

Επειδή, στο λογισμικό των Sarma – Hoek ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται με βάση τον τύπο $F = 1 + 3.33k_c$ (Εξίσωση 3.1), δηλαδή ο συντελεστής b είναι ίσος με 3.33 και αναφέρεται σε φράγματα, στην παρούσα διπλωματική εργασία ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε με το συντελεστή b για τα άοπλα πρανή να προκύπτει από τον τύπο:

$$b = 1.18 + \frac{0.66}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 1.2})$$

Για τα οπλισμένα πρανή ο συντελεστής b υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$b = 1.63 + \frac{0.64}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 4.3})$$

Επειδή το λογισμικό των Sarma – Hoek είναι γραμμένο σε γλώσσα BASIC με αποτέλεσμα να μην είναι και τόσο συμβατό με τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα, κατά την εφαρμογή του αντιμετωπίστηκαν κάποια προβλήματα. Το βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν ότι δεν υπήρχε η δυνατότητα αποθήκευσης των δοκιμών που έγιναν ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στο μέλλον. Επιπλέον, δεν ήταν πάντα δυνατή η σχηματική απεικόνιση των πρανών με αποτέλεσμα να μην είναι ορατή από το χρήστη η γεωμετρία της επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς. Για το λόγο αυτό φωτογραφήθηκαν όλα τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν με αυτό το λογισμικό ώστε να υπάρχει μια μορφή αρχείου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την ανάλυση των άοπλων πρανών με τη μέθοδο Sarma – Hoek.

Πίνακας 4. 23: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ανάλυσης άοπλων πρανών με τη μέθοδο Sarma – Hoek

A/A	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γ) (kN/m ³)	ΣΥΝΟΧΗ (c) (kPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ (φ) (°)	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ (β) (°)	ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ (H) (m)	ΒΗΜΑ (m)	ΚΡΙΣΙΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ (kcend)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (F)
1	20	5	35	34	15	1.00	0.18	1.39
2	20	5	35	34	15	1.00	0.18	1.39
3	20	5	35	34	15	1.00	0.18	1.39
4	20	5	35	34	15	1.00	0.18	1.39
5	20	5	35	34	15	1.00	0.18	1.39
6	20	5	30	34	15	1.00	0.09	1.20
7	20	5	35	34	15	0.50	0.19	1.41
8	20	5	35	34	15	2.00	0.19	1.41
9	20	5	35	34	10	0.99	0.25	1.53
10	20	5	35	34	20	0.99	0.15	1.33
11	20	5	35	34	20	1.50	0.16	1.34
13	20	5	35	40	15	1.00	0.10	1.20
14	20	5	35	40	15	1.50	0.11	1.21
20	20	5	20	20	10	1.00	0.14	1.42
21	20	5	20	20	10	1.00	0.14	1.42
22	20	5	35	20	10	1.00	0.47	2.42
23	20	5	20	20	10	2.74	0.15	1.44
24	20	5	20	30	10	1.00	0.08	1.18
25	20	5	35	30	10	1.50	0.30	1.69
26	20	5	35	30	10	1.00	0.29	1.68
27	20	5	35	30	10	0.50	0.29	1.68

Στη συνέχεια ακολουθούν αναλυτικά τα αποτελέσματα του προγράμματος Sarma – Hoek για τα υπό εξέταση πρανή. Γενικά, παρατηρείται ότι ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτει για κάθε ένα πρανές είναι μεγαλύτερος της μονάδας, δηλαδή τα πρανή είναι ασφαλή.

4.1.1.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων για άοπλα πρανή με τις μεθόδους Sarma – Tan και Sarma- Hoek

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και του συντελεστή ασφαλείας για τα υπό εξέταση άοπλα πρανή με τις μεθόδους Sarma – Tan και Sarma – Hoek.

Πίνακας 4. 24: Συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων με τις μεθόδους Sarma - Tan και Sarma - Hoek

A/A	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γ) (kN/m ³)	ΣΥΝΟΧΗ (c) (kPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ (φ) (°)	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ (β) (°)	ΥΨΟΣ (H) (m)	ΒΗΜΑ (m)	SARMA - TAN		SARMA - HOEK	
							kcend	F	kcend	F
1	20	5	35	34	15	1.0	0.18	1.39	0.18	1.39
2	20	5	35	34	15	1.0	0.18	1.39	0.18	1.39
3	20	5	35	34	15	1.0	0.18	1.39	0.18	1.39
4	20	5	35	34	15	1.0	0.18	1.39	0.18	1.39
5	20	5	35	34	15	1.0	0.18	1.39	0.18	1.39
6	20	5	30	34	15	1.0	0.10	1.22	0.09	1.20
7	20	5	35	34	15	0.5	0.14	1.30	0.19	1.41
8	20	5	35	34	15	2.0	0.20	1.43	0.19	1.41
9	20	5	35	34	10	1.0	0.24	1.52	0.25	1.53
10	20	5	35	34	20	1.0	0.14	1.30	0.15	1.33
11	20	5	35	34	20	1.5	0.16	1.35	0.16	1.34
13	20	5	35	40	15	1.0	0.12	1.24	0.10	1.20
14	20	5	35	40	15	1.5	0.10	1.20	0.11	1.21
20	20	5	20	20	10	1.0	0.14	1.42	0.14	1.42
21	20	5	20	20	10	1.0	0.14	1.42	0.14	1.42
22	20	5	35	20	10	1.0	0.40	2.20	0.47	2.42
23	20	5	20	20	10	2.7	0.14	1.42	0.15	1.44
24	20	5	20	30	10	1.0	0.08	1.19	0.08	1.18
25	20	5	35	30	10	1.5	0.30	1.70	0.30	1.69
26	20	5	35	30	10	1.0	0.30	1.70	0.29	1.68
27	20	5	35	30	10	0.5	0.30	1.70	0.29	1.68

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα όπου παρουσιάζονται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας των πρανών όπως προέκυψαν με τις δυο μεθόδους, διαπιστώνεται ότι οι τιμές που υπολογίστηκαν για τα μεγέθη αυτά με τις

Χουχούμη Σοφία Σελίδα 134

δυο μεθόδους είναι πολύ κοντινές, εκτός από ορισμένα πρανή όπου παρουσιάζονται πιο έντονες διαφορές στις τιμές τους. Συγκεκριμένα, για τα παραδείγματα 1 έως 5, 11, 20, 21, 24 και 25 οι τιμές των κρίσιμων σεισμικών επιταχύνσεων και των αντίστοιχων συντελεστών ασφαλείας που υπολογίζονται, είναι ακριβώς ίδιες και για τις δυο μεθόδους, ενώ παρατηρείται μια διαφορά στις τιμές των συντελεστών ασφαλείας στα παραδείγματα 11, 24 και 25 της τάξης του 0.01. Επιπλέον, στα παραδείγματα 6, 8, 9, 10, 14, 23, 26 και 27 παρουσιάζονται διαφορές της τάξης του 0.01 στις τιμές των κρίσιμων σεισμικών επιταχύνσεων, οι οποίες δεν χαρακτηρίζονται ως σημαντικές διαφορές, ενώ οι συντελεστές ασφαλείας διαφέρουν και αυτοί κατά 0.01.

Οι πιο έντονες διαφορές παρουσιάζονται στα παραδείγματα 7 και 22. Στο πρανές του παραδείγματος 7 η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση με βάση τη μέθοδο Sarma – Tan προέκυψε 0.14 για τα πρώτα τμήματα του πρανούς και 0.18 για τα δυο τελευταία, ενώ με βάση τη μέθοδο Sarma – Hoek προέκυψε ίση με 0.19. Η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης που υπολογίστηκε από το λογισμικό των Sarma – Hoek προσεγγίζει κατά πολύ την τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανούς με βάση τη μέθοδο Sarma – Tan. Οι υπολογιζόμενοι συντελεστές ασφαλείας διαφέρουν κατά 0.11 και είναι απόλυτα δικαιολογημένο λόγω της διαφορά που έχουν οι κρίσιμες σεισμικές επιταχύνσεις.

Στο παράδειγμα 22 παρουσιάζεται η πιο έντονη και αξιοσημείωτη διαφορά την τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης, καθώς σύμφωνα με το λογισμικό Sarma – Tan η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση υπολογίστηκε ίση με 0.40 για τα πρώτα τμήματα και 0.38 για τα δυο τελευταία, ενώ σύμφωνα με τη μέθοδο Sarma – Hoek προέκυψε ίση με 0.47 για όλα τα τμήματα του πρανούς. Επίσης, ο συντελεστής ασφαλείας σε αυτό το παράδειγμα είναι 2.20 για τη μέθοδο Sarma – Tan και 2.42 για τη μέθοδο Sarma – Hoek, και η διαφορά αυτή είναι αρκετά μεγάλη, αλλά εφόσον εξαρτάται από την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι αναμενόμενη.

Στο παράδειγμα 13 η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για τα πρώτα τμήματα του πρανούς με βάση το λογισμικό Sarma – Tan προέκυψε ίση με 0.12 και για τα δυο τελευταία 0.10, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του λογισμικού Sarma – Hoek, όπου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι ίση με 0.10, δηλαδή ταυτίζεται με την κρίσιμη

σεισμική επιτάχυνση των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανού σύμφωνα με το λογισμικό Sarma – Tan.

Η διαφορά που παρουσιάζεται στις δυο μεθόδους οφείλεται στις διαφορετικές παραδοχές στις οποίες στηρίζεται η κάθε μέθοδος. Η μέθοδος Sarma – Tan στηρίζεται στην τεχνική της Οριακής Ισορροπίας όπου έχει προστεθεί ένα κριτήριο αποδοχής των τάσεων που προκύπτουν και ένα κινηματικό κριτήριο αποδοχής, ενώ έχει γίνει η παραδοχή ότι η μορφή αστοχία του πρανού δεν έχει συγκριμένη μορφή καθώς και ότι η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης μπορεί να είναι διαφορετική για τα πρώτα τμήματα σε σχέση με τα δυο τελευταία τμήματα του πρανού. Από την άλλη πλευρά και η μέθοδος Sarma – Hoek στηρίζεται στην ανάλυση Οριακής Ισορροπίας αλλά θεωρείται ότι όλα τα τμήματα του πρανού έχουν την ίδια κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση. Εφόσον και οι δυο μέθοδοι στηρίζονται στην ανάλυση της Οριακής Ισορροπίας είναι λογικό και αναμενόμενο η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης που υπολογίζουν για το ίδιο πρανές να είναι σχεδόν ίδια. Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι οι πιο έντονες διαφορές στην τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης για τις δυο μεθόδους εμφανίζονται σε πρανή για τα οποία δεν προέκυψε ενιαία τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης με βάση τη μέθοδο Sarma – Tan.

4.2. Οπλισμένα πρανή

Επόμενος στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εξετασθεί κατά πόσο επηρεάζεται η ευστάθεια του πρανού από την παρουσία οπλισμού σε αυτό. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε ο απαιτούμενος οπλισμός που πρέπει να εφαρμοσθεί στα υπό εξέταση άοπλα πρανή ώστε να μετατραπούν σε οπλισμένα και υπολογίστηκε εκ νέου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτει για τα οπλισμένα πλέον πρανή. Τα μεγέθη αυτά υπολογίστηκαν για δυο περιπτώσεις, για την εφαρμογή οπλισμού σε όλα τα τμήματα του πρανού και για την εφαρμογή οπλισμού στα μισά τμήματα του πρανού, δηλαδή ανά ένα τμήμα να μην εφαρμόζεται οπλισμός. Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρει να βρεθεί ποια είναι η απαίτηση του οπλισμού για τα συγκεκριμένα πρανή, με αποτέλεσμα ο οπλισμός που υπολογίζεται να είναι αρκετά μικρότερος από τον διαθέσιμο οπλισμό στο εμπόριο, που χρησιμοποιείται στην πράξη για την ενίσχυση ενός εδαφικού πρανού.

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού έγινε με τη χρήση του λογισμικού σε γλώσσα Delphi, όπου δόθηκαν τα φυσικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε πρανούς για να υπολογιστεί ο απαιτούμενος οπλισμός. Πρέπει να σημειωθεί ότι σαν τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης δόθηκε η τιμή που προέκυψε για τα άοπλα πρανή με βάση τη μέθοδο Sarma – Tan. Επιπλέον, επειδή το συγκεκριμένο λογισμικό υπολογίζει τον απαιτούμενο οπλισμό σε πολυώροφο πρανές, ενώ στην παρούσα διπλωματική που εξετάζονται μονώροφα πρανή, τέθηκαν οι κατάλληλες τιμές μόνο για το πρώτο τμήμα και οι υπόλοιπες τιμές μηδενικές, ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να αφορούν μονώροφο πρανές. Τα αποτελέσματα για τον απαιτούμενο οπλισμό παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Παρατηρείται ότι καθώς μειώνεται ο αριθμός των στρώσεων του οπλισμού αυξάνεται ο απαιτούμενος οπλισμός που πρέπει να εφαρμοσθεί στο υπό εξέταση πρανές, δηλαδή με τον υποδιπλασιασμό του αριθμού των στρώσεων, διπλασιάζεται ο απαιτούμενος οπλισμός που πρέπει να εφαρμοσθεί.

Πίνακας 4. 25: Απαιτούμενος οπλισμός με χρήση του λογισμικού σε γλώσσα Delphi

A/A	ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΠΡΑΝΟΥΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ (n)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΣΤΡΩΣΕΩΝ (di) (m)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ (T _{imax}) (kN/m)
1	23	23	0.650	5
		12	1.250	9
2	23	23	0.650	5
		12	1.250	9
3	23	23	0.650	5
		12	1.250	9
4	23	23	0.650	5
		12	1.250	9
5	23	23	0.650	5
		12	1.250	9
6	23	23	0.650	12
		12	1.250	24
7	45	45	0.330	1
		23	0.650	3
8	12	12	1.250	12
		6	2.500	23
9	16	16	0.625	6
		8	1.250	12
10	31	31	0.650	3
		16	1.250	7
11	21	21	0.950	7
		11	1.820	13
13	19	19	0.790	6
		10	1.500	11
14	13	13	1.150	8
		7	2.140	15
20	29	29	0.340	4
		15	0.670	7
21	29	29	0.340	4
		15	0.670	7
22	29	29	0.340	3
		15	0.670	6
23	11	11	0.910	10
		6	1.670	17
24	23	23	0.430	7
		12	0.830	14
25	13	13	0.770	8
		7	1.430	16
26	19	19	0.530	6
		10	1.000	11
27	37	37	0.270	3
		19	0.530	6

Το συγκεκριμένο λογισμικό εκτός από τον απαιτούμενο οπλισμό υπολογίζει και το μήκος του οπλισμού που εφαρμόζεται. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στο πρανές του παραδείγματος 1, ύψους H = 15 m, όταν επιλεχθεί να οπλιστούν όλα τα τμήματά

του, ο απαιτούμενος οπλισμός είναι ίσος με $T_{\text{imax}} = 5 \text{ kN/m}$ και το μήκος όπλισης είναι ίσο με 4.82 m. Συγκρίνοντας το μήκος όπλισης με το $0.7 \cdot H$, διαπιστώνεται ότι είναι μικρότερο από το 70% του ύψους του πρανού, $0,7 \cdot H = 10.5 \text{ m} > L = 4.82 \text{ m}$. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις που το μήκος όπλισης είναι μεγαλύτερο από το $0.7 \cdot H$, όπως στα παραδείγματα 21 και 24. Το πρανές του παραδείγματος 21 έχει ύψος 10 m και όταν πρόκειται να οπλιστούν όλα τα τμήματά του απαιτείται δύναμη όπλισης ίση με 4 kN/m με μήκος όπλισης ίσο με 7.40 m. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το μήκος όπλισης είναι μεγαλύτερο από το 70% του ύψους του πρανού, δηλαδή $L = 7.40 \text{ m} > 0.7 \cdot H = 7 \text{ m}$. Παρομοίως και στο παράδειγμα 24 όπου το πρανές έχει ύψος 10 m και απαιτείται δύναμη όπλισης ίση με 7 kN/m μήκους 7.43 m, όταν πρόκειται να οπλιστεί όλο το πρανές. Το μήκος όπλισης είναι μεγαλύτερο από το $0.7 \cdot H$, δηλαδή $L = 7.43 \text{ m} > 0.7 \cdot H = 7 \text{ m}$. Οι διεθνείς κανονισμοί επιβάλλουν το $0.7 \cdot H$ ως το ελάχιστο μήκος όπλισης που απαιτείται να εφαρμοστεί σε ένα οπλισμένο πρανές κατά την κατασκευή του, οπότε ακόμα και αν το μήκος όπλισης σύμφωνα με το λογισμικό προκύψει μικρότερο από αυτή την ποσότητα, τότε κατά την κατασκευή το μήκος του οπλισμού που θα εφαρμοσθεί θα είναι ίσο με το $0.7 \cdot H$.

Στη συνέχεια, με βάση τον αριθμό των στρώσεων του οπλισμού και τον απαιτούμενο οπλισμό που προέκυψε σε κάθε περίπτωση, υπολογίστηκε εκ νέου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας για το κάθε πρανές με το λογισμικό των Sarma – Hoek. Πρέπει να σημειωθεί ότι το σημείο εφαρμογής της δύναμης εξαρτάται από την παρουσία του νερού στο πρανές. Επειδή, όμως στην παρούσα διπλωματική εξετάζονται ξηρά πρανή, στο λογισμικό Sarma – Hoek το σημείο εφαρμογής της δύναμης αγκύρωσης είναι το κέντρο βάρους του τμήματος στο οποίο εισάγεται. Στον πίνακα 4.26 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Προκειμένου να εξετασθεί η επίδραση του οπλισμού στην ευστάθεια του πρανού επιλέχθηκε να εφαρμοσθεί ο οπλισμός είτε σε όλα τα τμήματα του πρανού είτε στα μισά τμήματα αυτού. Η συγκεκριμένη παραδοχή γίνεται μόνο στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς κατασκευαστικά επιβάλλεται να εφαρμοσθεί οπλισμός σε όλα τα τμήματα του πρανού, γιατί διαφορετικά το πρανές θα αστοχήσει. Επειδή όμως στην παρούσα εργασία ο οπλισμός που εφαρμόστηκε στα πρανή είναι ο μέγιστος οπλισμός για κάθε πρανές, δηλαδή λόγω της ισορροπίας αντικαταστάθηκαν οι επιμέρους δυνάμεις με μια συνισταμένη δύναμη, σε κάθε μια από τις δυο αυτές

Χουχούμη Σοφία

περιπτώσεις το αποτέλεσμα που θα προκύψει για την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και το συντελεστή ασφαλείας θα είναι το ίδιο. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτουν και στις δυο περιπτώσεις, στα περισσότερα πρανή, έχουν την ίδια τιμή. Υπάρχουν πρανή στα οποία καθώς μειώνεται ο αριθμός των στρώσεων του οπλισμού, μειώνεται και η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και συνεπώς και η τιμή του συντελεστή ασφαλείας. Στα περισσότερα πρανή που εξετάστηκαν η μείωση αυτή είναι της τάξης των 0.01 και συνεπώς δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως σημαντική.

Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των κρίσιμων σεισμικών επιταχύνσεων που προκύπτουν για εφαρμογή του οπλισμού σε όλα τα τμήματα και στα μισά τμήματα του πρανούς εμφανίστηκε στο παράδειγμα 9. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρήθηκε ότι με τη μείωση του αριθμού των στρώσεων του οπλισμού από 16 σε 8, μειώθηκε σημαντικά και η ευστάθεια του πρανούς, αφού η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση μειώθηκε από 0.40 σε 0.32. Τέλος, αναφορικά με το συντελεστή ασφαλείας, σε όλες τις περιπτώσεις προκύπτει μεγαλύτερος από τη μονάδα γεγονός που δηλώνει ότι τα υπό εξέταση πρανή ισορροπούν αρκετά καλά.

Πίνακας 4. 26: Αποτελέσματα οπλισμένων πρανών

A/A	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (γ) (kN/m ³)	ΣΥΝΟΧΗ (c) (kPa)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ (φ) (°)	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ (β) (°)	ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ (H) (m)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ (n)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ (T _{max}) (kN/m)	kcend	F
1	20	5	35	34	15	23	5	0.29	1.76
						12	9	0.29	1.74
2	20	5	35	34	15	23	5	0.29	1.76
						12	9	0.29	1.74
3	20	5	35	34	15	23	5	0.29	1.76
						12	9	0.29	1.74
4	20	5	35	34	15	23	5	0.29	1.76
						12	9	0.29	1.74
5	20	5	35	34	15	23	5	0.29	1.76
						12	9	0.29	1.74
6	20	5	30	34	15	23	12	0.34	1.88
						12	24	0.35	1.90
7	20	5	35	34	15	45	1	0.23	1.60
						23	3	0.26	1.66
8	20	5	35	34	15	12	12	0.29	1.74
						6	23	0.28	1.73
9	20	5	35	34	10	16	6	0.40	2.02
						8	12	0.32	1.84
10	20	5	35	34	20	31	3	0.20	1.52
						16	7	0.21	1.55
11	20	5	35	34	20	21	7	0.23	1.60
						11	13	0.23	1.59
13	20	5	35	40	15	19	6	0.22	1.52
						10	11	0.21	1.50
14	20	5	35	40	15	13	8	0.21	1.50
						7	15	0.21	1.50
20	20	5	20	20	10	29	4	0.21	1.72
						15	7	0.20	1.69
21	20	5	20	20	10	29	4	0.21	1.72
						15	7	0.20	1.69
22	20	5	35	20	10	29	3	0.53	2.79
						15	6	0.53	2.80
23	20	5	20	20	10	11	10	0.22	1.73
						6	17	0.21	1.71
24	20	5	20	30	10	23	7	0.22	1.60
						12	14	0.22	1.60
25	20	5	35	30	10	13	8	0.43	2.17
						7	16	0.43	2.19
26	20	5	35	30	10	19	6	0.44	2.20
						10	11	0.43	2.18
27	20	5	35	30	10	37	3	0.44	2.21
						19	6	0.45	2.22

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.27) παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα υπό εξέταση πρανά όταν ήταν άοπλα και όταν εφαρμόστηκε σε αυτά ο απαιτούμενος οπλισμός. Μέσω αυτής της σύγκρισης θα μπορέσουν να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα για την επίδραση του οπλισμού στην

ευστάθεια των πρανών. Παρατηρώντας τον πίνακα αυτό διαπιστώνεται ότι με την εφαρμογή του κατάλληλου οπλισμού, είτε σε όλα τα τμήματα του πρανούς είτε στα μισά τμήματα, αυξάνεται η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και του συντελεστή ασφαλείας για κάθε πρανές. Δηλαδή τα οπλισμένα πρανή εμφανίζουν μεγαλύτερη ευστάθεια σε σχέση με τα άοπλα πρανή. Επομένως, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή οπλισμού σε άοπλα πρανή συμβάλει στην αύξηση της ευστάθειάς τους, αφού παρατηρείται αύξηση της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και συνεπώς και του συντελεστή ασφαλείας του υπό εξέταση πρανούς.

Πίνακας 4. 27: Σύγκριση κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και συντελεστή ασφαλείας για όπλα και οπλισμένα πρανή

Α/Α	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ β (°)	ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ φ (°)	ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ Η (m)	ΒΗΜΑ (m)	ΑΟΠΛΟ ΠΡΑΝΕΣ		ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ			
					kcend	F	n	ΟΠΛΙΣΜΟΣ (T _{imax}) (kN)	kcend	F
1	34	35	15	1.00	0.18	1.39	23	5	0.29	1.76
							12	9	0.29	1.74
2	34	35	15	1.00	0.18	1.39	23	5	0.29	1.76
							12	9	0.29	1.74
3	34	35	15	1.00	0.18	1.39	23	5	0.29	1.76
							12	9	0.29	1.74
4	34	35	15	1.00	0.18	1.39	23	5	0.29	1.76
							12	9	0.29	1.74
5	34	35	15	1.00	0.18	1.39	23	5	0.29	1.76
							12	9	0.29	1.74
6	34	30	15	1.00	0.09	1.20	23	12	0.34	1.88
							12	24	0.35	1.90
7	34	35	15	0.50	0.19	1.41	45	1	0.23	1.60
							23	3	0.26	1.66
8	34	35	15	2.00	0.19	1.41	12	12	0.29	1.74
							6	23	0.28	1.73
9	34	35	10	0.99	0.25	1.53	16	6	0.40	2.02
							8	12	0.32	1.84
10	34	35	20	0.99	0.15	1.33	31	3	0.20	1.52
							16	7	0.21	1.55
11	34	35	20	1.50	0.16	1.34	21	7	0.23	1.60
							11	13	0.23	1.59
13	40	35	15	1.00	0.10	1.20	19	6	0.22	1.52
							10	11	0.21	1.50
14	40	35	15	1.50	0.11	1.21	13	8	0.21	1.50
							7	15	0.21	1.50
20	20	20	10	1.00	0.14	1.42	29	4	0.21	1.72
							15	7	0.20	1.69
21	20	20	10	1.00	0.14	1.42	29	4	0.21	1.72
							15	7	0.20	1.69
22	20	35	10	1.00	0.47	2.42	29	3	0.53	2.79
							15	6	0.53	2.80
23	20	20	10	2.74	0.15	1.44	11	10	0.22	1.73
							6	17	0.21	1.71
24	30	20	10	1.00	0.08	1.18	23	7	0.22	1.60
							12	14	0.22	1.60
25	30	35	10	1.50	0.30	1.69	13	8	0.43	2.17
							7	16	0.43	2.19
26	30	35	10	1.00	0.29	1.68	19	6	0.44	2.20
							10	11	0.43	2.18
27	30	35	10	0.50	0.29	1.68	37	3	0.44	2.21
							19	6	0.45	2.22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1. Συμπεράσματα

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν η διερεύνηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την ευστάθεια άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών. Η διερεύνηση αυτή έγινε με τη χρήση των λογισμικών που βασίζονται στις μεθόδους Sarma – Tan και Sarma – Hoek. Μέσω αυτής της διερεύνησης θα εξαχθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα για την επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων που θα οδηγήσουν στον σχεδιασμό ενός ασφαλούς - ευσταθούς πρανούς. Οι παράμετροι που επιλέχθηκε να εξετασθούν είναι η αρχική σεισμική επιτάχυνση που δίνεται για να γίνουν οι υπολογισμοί στο λογισμικό των Sarma – Tan, η γωνία τριβής του πρανούς και η επιλογή του βήματος για τη δημιουργία της ελεύθερης επιφάνειας και της επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό των Sarma – Tan από το οποίο υπολογίζονται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση για κάθε πρανές που εξετάστηκε και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, οι οποίες στη συνέχεια εισάγονται στο λογισμικό των Sarma – Hoek, ώστε να επανεξετασθούν τα πρανή για να διαπιστωθούν τυχόν διαφορές μεταξύ των δυο μεθόδων.

Στη διερεύνηση που έγινε για την επιρροή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης στην κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς διαπιστώθηκε ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει για κάθε εξεταζόμενο πρανές δεν μεταβάλλεται. Δηλαδή οποιαδήποτε τιμή κι αν δοθεί σαν αρχική σεισμική επιτάχυνση, η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης που προκύπτει δεν υφίσταται καμία μεταβολή, γιατί κάθε πρανές έχει δεδομένη αντοχή, αστοχεί για συγκεκριμένη τιμή σεισμικής επιτάχυνσης. Ξεκινώντας από διάφορες αρχικές τιμές ο αλγόριθμος συγκλίνει σε κάποια τιμή που χαρακτηρίζει την αντοχή του πρανούς έναντι σεισμού εκφραζόμενης μέσω της k_{cr} . Εφόσον κάθε πρανές έχει συγκεκριμένη αντοχή, δηλαδή μπορεί να παραμείνει ασφαλές αν του εφαρμοσθεί μικρότερη σεισμική επιτάχυνση από την κρίσιμη σεισμική του επιτάχυνση, ενώ θα αστοχήσει όταν εφαρμοσθεί σε αυτό μεγαλύτερη ή ίση σεισμική επιτάχυνση από την κρίσιμή του.

Στη συνέχεια, εξετάσθηκε η επίδραση της γωνία τριβής του πρανού στην ευστάθεια του πρανού. Πρέπει να σημειωθεί ότι μεταβάλλοντας την γωνία τριβής ουσιαστικά εξετάζεται διαφορετικό πρανές, αλλά στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής θεωρήθηκε σαν μια από τις παραμέτρους που εξετάζονται. Από τα αποτελέσματα των παραδειγμάτων που εξετάσθηκαν με βάση αυτή την παράμετρο, διαπιστώνεται ότι η μεταβολή της γωνίας τριβής επηρεάζει την τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης του πρανού. Παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της γωνία τριβής του πρανού οδήγησε σε σύγκλιση των πρανών που εξετάσθηκαν, αφού υπήρχαν πρανή που για μικρότερη γωνία τριβής δεν συνέκλιναν, καθώς επίσης και σε αύξηση της τιμής της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης. Δηλαδή με την αύξηση της γωνία τριβής τα πρανή παρουσιάζουν αυξημένη ευστάθεια.

Η τελευταία παράμετρος που εξετάσθηκε ήταν η μεταβολή του βήματος με το οποίο δημιουργείται η ελεύθερη επιφάνεια και η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Διαπιστώθηκε ότι η μεταβολή του βήματος που επιλέγεται προκαλεί μεταβολές στην κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση, αν και υπήρξαν περιπτώσεις όπου η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση παρέμεινε σταθερή. Παρατηρήθηκε ότι η αύξηση ή η μείωση του βήματος, ανάλογα με την περίπτωση, οδήγησε τα εξεταζόμενα πρανή σε σύγκλιση, καθώς είχε ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό ενιαίας τιμής της επιτάχυνσης σε όλα τα τμήματα τους. Επίσης, υπήρξαν πρανή τα οποία διατήρησαν σταθερή την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση ανεξάρτητα από την αύξηση ή μείωση του βήματος. Αυτό αποδεικνύει ότι η ευστάθεια ενός πρανού εξαρτάται από το σύνολο των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του και από το σωστό συνδυασμό τους κατά τον σχεδιασμό του. Μπορεί το βήμα να επιδρά στην ευστάθεια του πρανού, δεν είναι όμως μια ανεξάρτητη παράμετρος, αφού σχετίζεται και με τις άλλες παραμέτρους που επιλέγονται για το πρανές. Αυτό που πρέπει να προσεχθεί είναι ο αρμονικός συνδυασμός του βήματος με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του πρανού, διότι η επιλογή πολύ μικρού βήματος δεν εξασφαλίζει ότι θα επιτευχθεί ακρίβεια στον υπολογισμό της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και πιθανόν να μην έχει κάποιο νόημα.

Αφού διερευνήθηκαν οι τρεις αυτές παράμετροι με τη μέθοδο Sarma – Tan, υπολογίσθηκαν ξανά οι τιμές της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και του συντελεστή ασφαλείας των πρανών με τη μέθοδο Sarma – Hoek. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα

της μεθόδου Sarma – Hoek και της μεθόδου Sarma – Tan διαπιστώθηκε ότι δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο μεθόδων, γεγονός που ήταν αναμενόμενο λόγω του ότι και οι δυο μέθοδοι σχεδιάζουν σε Οριακή Ισορροπία, εκτός από τις περιπτώσεις που τα πρανή δεν συνέκλιναν με τη μέθοδο Sarma – Tan, όπου οι διαφορές που εμφανίζονται είναι μεγαλύτερες. Οι διαφορές αυτές, πιθανόν, οφείλονται στις διαφορετικές παραδοχές των δυο μεθόδων, δεδομένου ότι η μέθοδος Sarma – Tan στηρίζεται στην τεχνική της Οριακής Ισορροπίας λαμβάνοντας υπόψη ένα κινηματικό κριτήριο και ένα κριτήριο αποδοχής των τάσεων και θεωρώντας ότι τα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς έχουν διαφορετική κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση από τα πρώτα, ενώ η μέθοδο Sarma – Hoek στηρίζεται στην ανάλυση Οριακής Ισορροπίας θεωρώντας ότι όλα τα τμήματα του πρανούς έχουν την ίδια κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση.

Τέλος, η εφαρμογή του οπλισμού στα άοπλα πρανή απέδειξε ότι αυξάνει την ευστάθεια των πρανών καθώς όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, αυξήθηκε η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας των πρανών.

Συμπερασματικά, όταν ο χρήστης καλείται να επιλύσει ένα πρόβλημα με τη μέθοδο Sarma – Tan αρκεί να κάνει τις κατάλληλες αλλαγές στο βήμα διαμερισμού του πρανούς, στην αρχική σεισμική επιτάχυνση και στη γωνία τριβής ανάλογα με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του πρανούς ώστε να προσδιοριστεί η πιο κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς, δηλαδή εκείνη που δίνει τον ελάχιστο συντελεστή ασφαλείας όταν πρόκειται για άοπλο πρανές. Στην περίπτωση που απαιτείται να αυξηθεί η ευστάθεια του πρανούς, τότε μπορεί να εφαρμοστεί ο κατάλληλος οπλισμός, ο οποίος υπολογίζεται από το λογισμικό σε γλώσσα Delphi, και μέσω του λογισμικού των Sarma – Hoek να υπολογιστεί η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας που θα αποδεικνύουν ότι το πρανές που διαστασιολογήθηκε είναι ασφαλέστερο.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για τα οπλισμένα πρανή με τη χρήση της μεθόδου Sarma – Hoek τόσο για εφαρμογή οπλισμού σε όλα τα τμήματα του πρανούς όσο και στα μισά τμήματα του πρανούς, διαπιστώνεται ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση που προκύπτει και ο αντίστοιχος συντελεστής ασφαλείας προκύπτουν σχεδόν ίσοι και στις δυο περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται στον τρόπο υπολογισμού του απαιτούμενου

οπλισμού από το λογισμικό σε γλώσσα Delphi. Το λογισμικό για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού σε γλώσσα Delphi σχεδιάζει σε Οριακή Ισορροπία, δηλαδή εξισώνει τις δράσεις που καταναλώνουν ενέργεια (σεισμός) με τις δράσεις που προσφέρουν ενέργεια (οπλισμός). Αυτή η παραδοχή επιβεβαιώνεται όταν εισαχθούν στο λογισμικό των Sarma – Hoek ο απαιτούμενος οπλισμός και οι στρώσεις του οπλισμού στο πρανές. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν επιβεβαιώνουν την Οριακή Ισορροπία, καθώς προκύπτουν η ίδια κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο ίδιος συντελεστής ασφαλείας είτε αυξάνοντας τη δύναμη του οπλισμού και μειώνοντας των αριθμό των στρώσεων, είτε αυξάνοντας τον αριθμό των στρώσεων και μειώνοντας τη δύναμη του οπλισμού. Αυτά τα αποτελέσματα είναι αριθμητικά αποδεκτά και αποτελούν μια επιπλέον επιβεβαίωση της ορθότητας και επαναληψιμότητας της ανάλυσης της Οριακής Ισορροπίας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω λόγω της ισορροπίας των δυνάμεων αντικαθίστανται από μια συνισταμένη δύναμη όλες οι επιμέρους δυνάμεις με αποτέλεσμα να υπάρχει μια ισοδυναμία στα δυο συστήματα, για εφαρμογή οπλισμού σε όλα τα τμήματα του πρανού που είναι και το ορθό κατασκευαστικά ή στα μισά τμήματα που εξετάζεται μόνο στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, και η συνισταμένη η οποία υπολογίζεται να προσφέρει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα.

Η διερεύνηση που έγινε σε αυτή την εργασία αφορά την επιλογή των παραμέτρων που μπορούν να μεταβληθούν ώστε να προσδιοριστεί η πιο κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης ενός πρανού. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή τη διερεύνηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σωστό σχεδιασμό ενός πρανού. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν και από τα δυο λογισμικά αφορούν την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανού. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση συνδέεται με το συντελεστή ασφαλείας του πρανού μέσω της Εξίσωσης 1.1:

$$F = 1.0 + b \cdot k_{cr} \quad (\text{Εξ. 1.1})$$

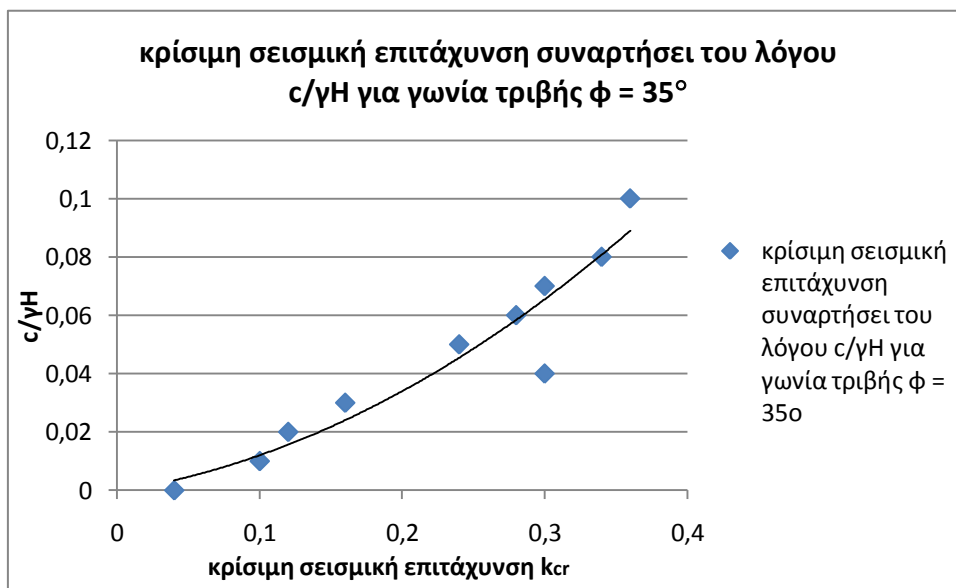
όπου ο συντελεστής b προσδιορίζεται ανάλογα με το αν πρόκειται για άοπλο ή για οπλισμένο πρανές από τις Εξισώσεις 1.2 και 1.3 αντίστοιχα:

$$b = 1.18 + \frac{0.66}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 1.2})$$

$$b = 1.63 + \frac{0.64}{\tan\beta} \quad (\text{Εξ. 1.3})$$

Από αυτές τις σχέσεις διαπιστώνεται ότι ο συντελεστής b εξαρτάται από τη γωνία β του πρανού και συνεπώς ο συντελεστής ασφαλείας εξαρτάται εκτός από την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και από τη γωνία β του πρανού. Επειδή όμως η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πρανού, δηλαδή τη γωνία τριβής φ , τη γωνία του πρανού β , τη συνοχή c , το ύψος H και το ειδικό βάρος γ , συνεπώς και ο συντελεστής ασφαλείας F εξαρτάται από όλες αυτές τις παραμέτρους. Δηλαδή ο συντελεστής ασφαλείας F ορίζεται από συνάρτηση g που έχει ως αγνώστους τα χαρακτηριστικά του πρανού:

$$F = g\left(\frac{c}{\gamma H}, \tan\varphi, \tan\beta\right)$$



Σχήμα 4. 29: Συσχέτιση κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης με τον λόγο $c/\gamma H$

Στο Σχήμα 4.29 παρουσιάζεται το πως μεταβάλλεται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση συναρτήσει του λόγου $c/\gamma H$, για πρανή με γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$.

Επίσης, χρησιμοποιώντας την Εξίσωση 1.1 που συνδέει το συντελεστή ασφαλείας με την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και τη γωνία β του πρανού, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η απαιτούμενη γωνία β του πρανού για δεδομένη κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και δεδομένο συντελεστή ασφαλείας. Αυτό είναι χρήσιμο διότι μπορεί να προσδιοριστεί η ελάχιστη απαιτούμενη γωνία του πρανού, τόσο για άοπλο όσο και

για οπλισμένο πρανές, σε κάθε μια από τις τρεις σεισμικές ζώνες της Ελλάδας. Στον πίνακα (Πίνακας 5.1) που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραμετρικών επιλύσεων για κάθε μια από τις τρεις σεισμικές ζώνες συναρτήσει του συντελεστή ασφαλείας, για άοπλο και για οπλισμένο πρανές. Σημειώνεται ότι η Ζώνη I έχει συντελεστή επιτάχυνσης 0.16, η Ζώνη II 0.24 και η Ζώνη III 0.36.

Πίνακας 5. 1: Γωνία πρανούς β για άοπλο και για οπλισμένο πρανές

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ kc	ΑΟΠΛΟ ΠΡΑΝΕΣ		ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ	
		tanβ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ β (°)	tanβ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ β (°)
1,3	0,16	0,95	44	2,61	69
1,4	0,16	0,50	27	0,74	36
1,5	0,16	0,34	19	0,43	23
1,6	0,16	0,26	14	0,30	17
1,8	0,16	0,17	10	0,19	11
1,3	0,24	9,43	84	-1,68	-59
1,4	0,24	1,36	54	17,45	87
1,5	0,24	0,73	36	1,41	55
1,6	0,24	0,50	27	0,74	36
1,8	0,24	0,31	17	0,38	21
2	0,24	0,22	12	0,25	14
1,3	0,36	-1,90	-62	-0,80	-39
1,4	0,36	-9,58	-84	-1,23	-51
1,5	0,36	3,16	72	-2,65	-69
1,6	0,36	1,36	54	17,45	87
1,7	0,36	0,86	41	2,04	64
1,8	0,36	0,63	32	1,08	47
1,9	0,36	0,50	27	0,74	36
2	0,36	0,41	22	0,56	29
2,5	0,36	0,22	12	0,25	14

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα μπορούν να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για το τον σχεδιασμό πρανών που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του συντελεστή ασφαλείας, ανάλογα με τη σεισμική Ζώνη που πρόκειται να κατασκευαστούν. Ο απαιτούμενος στατικός συντελεστής ασφαλείας για έργα οδοποιίας κυμαίνεται μεταξύ 1.3 και 1.4, ανάλογα με το έργο (για την Εγνατία F = 1.4 ενώ για ΠΑΘΕ F = 1.3). Ως επίχωμα αναφοράς θεωρούμε ένα άοπλο επίχωμα με κλίση 1 : 1.5 και ύψος μέχρι 20 m με τη χρήση των επίλεκτων υλικών, βάσει των Προδιαγραφών για την επιλογή αδρανών, για τα οποία μπορούμε με ασφάλεια να

υποθέσουμε ότι έχουν συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$ και γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$. Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφαλείας είναι περίπου ίσος με 1.4, δηλαδή ικανοποιεί τις σχετικές προδιαγραφές. Με βάση τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5.1), για επίχωμα που βρίσκεται στην Ζώνη I, ο κρίσιμος έλεγχος είναι ο στατικός συντελεστής ασφαλείας και όχι ο έλεγχος έναντι σεισμού.

Στη Ζώνη II (επιτάχυνση σχεδιασμού 0.24) για να κατασκευαστεί άοπλο πρανές με κλίση 1 : 1.5 ο συντελεστής ασφαλείας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με 1.5 για να αντέξει σεισμό με επιτάχυνση ίση με 0.24. Άρα σε αυτή την περίπτωση ο κρίσιμος έλεγχος είναι ο έλεγχος έναντι σεισμού.

Ομοίως, για τη Ζώνη III με επιτάχυνση σχεδιασμού 0.36, είναι αδύνατο να σχεδιαστεί άοπλο εδαφικό πρανές που να έχει συντελεστή ασφαλείας μεταξύ 1.3 και 1.4, αφού δεν υπάρχουν υλικά που να εξασφαλίζουν αυτό το συντελεστή ασφαλείας και να αντέχουν σε σεισμό 0.36. Και σε αυτή τη Ζώνη ο κρίσιμος έλεγχος είναι ο έλεγχος έναντι σεισμού.

Έτσι, όταν πρόκειται να κατασκευαστεί πρανές στις Ζώνες II και III, είναι προτιμότερο να κατασκευαστεί οπλισμένο εδαφικό πρανές, παρά άοπλο. Αν επιλεγθεί να κατασκευαστεί άοπλο πρανές θα πρέπει να έχει πολύ μικρή γωνία, δηλαδή μεγάλο πλάτος διατομής εφόσον το επιτρέπει η τοπογραφία, το οποίο θα οδηγήσει ενδεχομένως σε πολλές απαλλοτριώσεις, με αποτέλεσμα να καταστήσει το έργο αντικοινωνικό. Αντίθετα, η κατασκευή οπλισμένου εδαφικού πρανούς εξασφαλίζει μεγαλύτερη γωνία πρανούς, δηλαδή μικρότερο πλάτος και συνεπώς το έργο είναι εφικτό. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για τη Ζώνη II ο συντελεστής ασφαλείας κυμαίνεται μεταξύ 1.5 και 1.6, δηλαδή σχεδιάζεται οπλισμένο πρανές με γωνία μεταξύ 36° και 55° . Ενώ για τις αντίστοιχες γωνίες στη Ζώνη III ο συντελεστής ασφαλείας κυμαίνεται μεταξύ 1.7 και 1.8.

Ακολουθούν τρεις πίνακες στους οποίους παρουσιάζονται οι συντελεστές ασφαλείας, για τις τρεις σεισμικές Ζώνες της Ελλάδας, πρανών με συγκεκριμένη κλίση, δηλαδή πρανών με κλίση 1 : 3.5, 1 : 3, 1 : 2.5, 1 : 2, 1 : 1.5, 1 : 1.0 και 2 : 1.0. Τα αποτελέσματα αφορούν τόσο άοπλα όσο και οπλισμένα πρανή για τις συγκεκριμένες κλίσεις.

Πίνακας 5. 2: Συντελεστές ασφαλείας άοπλων και οπλισμένων πρανών δεδομένης κλίσης για τη Ζώνη Ι

ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΟΥΣ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ β (°)	tanβ	ΑΟΠΛΟ ΠΡΑΝΕΣ		ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ	
			b	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F	b	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F
1 : 3.5	16	0.29	3.482	1.56	3.86	1.62
1 : 3.0	18	0.32	3.211	1.51	3.60	1.58
1 : 2.5	22	0.40	2.814	1.45	3.21	1.51
1 : 2.0	27	0.51	2.475	1.40	2.89	1.46
1 : 1.5	34	0.67	2.158	1.35	2.58	1.41
1 : 1.0	45	1.00	1.840	1.29	2.27	1.36
2 : 1.0	63	1.96	1.516	1.24	1.96	1.31

Πίνακας 5. 3: Συντελεστές ασφαλείας άοπλων και οπλισμένων πρανών δεδομένης κλίσης για τη Ζώνη ΙΙ

ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΟΥΣ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ β (°)	tanβ	ΑΟΠΛΟ ΠΡΑΝΕΣ		ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ	
			b	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F	b	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F
1 : 3.5	16	0.29	3.48	1.84	3.86	1.93
1 : 3.0	18	0.32	3.21	1.77	3.60	1.86
1 : 2.5	22	0.40	2.81	1.68	3.21	1.77
1 : 2.0	27	0.51	2.48	1.59	2.89	1.69
1 : 1.5	34	0.67	2.16	1.52	2.58	1.62
1 : 1.0	45	1.00	1.84	1.44	2.27	1.54
2 : 1.0	63	1.96	1.52	1.36	1.96	1.47

Πίνακας 5. 4: Συντελεστές ασφαλείας άοπλων και οπλισμένων πρανών δεδομένης κλίσης για τη Ζώνη ΙΙΙ

ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΟΥΣ	ΓΩΝΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ β (°)	tanβ	ΑΟΠΛΟ ΠΡΑΝΕΣ		ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΠΡΑΝΕΣ	
			b	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F	b	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F
1 : 3.5	16	0.29	3.48	2.25	3.86	2.39
1 : 3.0	18	0.32	3.21	2.16	3.60	2.30
1 : 2.5	22	0.40	2.81	2.01	3.21	2.16
1 : 2.0	27	0.51	2.48	1.89	2.89	2.04
1 : 1.5	34	0.67	2.16	1.78	2.58	1.93
1 : 1.0	45	1	1.84	1.66	2.27	1.82
2 : 1.0	63	1.96	1.52	1.55	1.96	1.70

Για ένα εδαφικό επίχωμα με κλίση 1 : 1.5 στη Ζώνη Ι ο συντελεστής ασφαλείας για άοπλο πρανές είναι ίσος με 1.35 και για οπλισμένο πρανές ίσος με 1.41, δηλαδή το επίχωμα έχει επάρκεια τόσο έναντι στατικών φορτίων όσο και έναντι σεισμικών.

Για Ζώνη ΙΙ για επίχωμα με κλίση 1 : 1.5 απαιτείται συντελεστής ασφαλείας ίσος με 1.52. Για να επιβεβαιωθεί αυτό το αποτέλεσμα, επιλύθηκε με τη μέθοδο Sarma – Tan

ένα σύνηθες εδαφικό πρανές οδοποιίας με κλίση 1 : 1.5, ειδικό βάρος $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$, γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$, συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$, επιτάχυνση σχεδιασμού 0.24 και ύψος 10 m για το οποίο προκύπτει ότι η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι ίση με 0.24 και ο συντελεστής ασφαλείας ίσος με 1.52. Ο στατικός συντελεστής ασφαλείας υπερβαίνει το 1.3 δηλαδή υπάρχει στατικό πλεόνασμα και επειδή ο σχεδιασμός έγινε με την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση της ζώνης που είναι 0.24, σημαίνει ότι στην προκειμένη περίπτωση κρίσιμος θεωρείται ο σεισμικός συντελεστής ασφαλείας, δηλαδή 1.0. Πρέπει να σημειωθεί ότι αντί για την κατασκευή άοπλου εδαφικού πρανούς κλίσης 1 : 1.5, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής οπλισμένου επιχώματος κλίσης 2 : 1 του οποίου ο συντελεστής ασφαλείας είναι ίσος με 1.47, καθώς αποτελεί μια πιο οικονομική λύση. Επίσης, στη Ζώνη II για λόγους οικονομικότητας μπορεί να κατασκευαστεί οπλισμένο πρανές με κλίση 2 : 1, για το οποίο ο συντελεστής ασφαλείας είναι οριακά ίσος με 1.5. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να συνεκτιμηθεί και το κόστος υλικών και κατασκευής των οπλισμένων επιχωμάτων.

Τέλος, στη Ζώνη III όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι αδύνατο να κατασκευαστεί άοπλο πρανές με ικανοποιητικές κλίσεις καθώς τα εδαφικά υλικά δεν εξασφαλίζουν τόσο μεγάλο συντελεστή ασφαλείας για άοπλο πρανές.

5.2. Προτάσεις

Συνοψίζοντας όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση που έγινε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, μπορούν να γίνουν κάποιες προτάσεις για τη μελλοντική τους χρήση. Στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν εμπορικά προγράμματα για να γίνει η διερεύνηση των παραμέτρων που συμβάλουν στην ευστάθεια των άοπλων εδαφικών πρανών, αλλά προέκυψαν κρίσιμα συμπεράσματα. Όλα αυτά τα συμπεράσματα που προέκυψαν για τα άοπλα πρανή μπορούν να αξιοποιηθούν για το σωστό σχεδιασμό άοπλων πρανών και την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού των χαρακτηριστικών ενός άοπλου πρανούς. Επιπλέον, αν επιλεγθεί να οπλιστεί ένα πρανές μπορεί να γίνει η επιλογή του κατάλληλου οπλισμού, ανάλογα με το πόσο επιθυμείται να αυξηθεί η ευστάθειά του. Τέλος, ανάλογα με τη Ζώνη στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί το υπό μελέτη πρανές υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγθεί η κατάλληλη κλίση η οποία θα ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις του συντελεστή ασφαλείας, αλλά και η δυνατότητα επιλογής για την κατασκευή άοπλου ή

Διπλωματική Εργασία: «Παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών»

οπλισμένου πρανούς, η οποία θα εξασφαλίζει τις ίδιες απαιτήσεις ασφάλειας αλλά θα συμβάλει και στην οικονομικότητα του έργου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ausilio E., Conte, E. and Dente, G. (2000), “Seismic stability analysis of reinforced slopes”. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, p.159-172.
2. Chen, W.F. (1975). “Limit analysis and soil plasticity”, *Developments in Geotechnical Engineering*, Elsevier.
3. Drucker, D.C. and Prager, W. (1952). “Soil mechanics and plastic analysis or limit design”, *Quarterly of applied Mathematics*, Vol. 10, pp 157-165.
4. Hoek, E. (1987): General two-dimensional slope stability analysis. In *Analytical and Numerical Methods in Rock Engineering* (ed. E.T. Brown). London: Geo. Allen & Unwin. pp.95-127.
5. Hoek, E. and Bray, J.W. (1979). “Rock Slope Engineering”, *Institution of Mining and Metallurgy*, London.
6. Ling, H.I., Leshchinsky, D. and Perry, E.B. (1997). “Seismic design and performance of geosynthetics-reinforced soil structures”, *Géotechnique* **47(5)**, pp. 933-952.
7. Paulsen, Sarah B. (2002). “A numerical model of estimating seismic displacements of reinforced steep slopes”, *Master of Science in Civil Engineering*, University of Washington, p.1-4
8. Sarma, S. K. (1973). “Stability analysis of embankments and slopes”, *Géotechnique* **23**, No. 3, 423-433.
9. Sarma, S.K. & Bhave, M.V. (1974). “Critical acceleration versus static factor of safety in stability analysis of earth dams and embankments”. *Géotechnique* **24**, No. 4, 661-665.
10. Sarma, S. K. and Tan D. (2006). “Determination of critical slip surface in slope analysis”, *Géotechnique* **56**, No. 8, 539-550
11. Tan, D. (2006). “Seismic slope safety – Determination of critical slip surface using acceptability criteria”, *PhD Thesis*, Department of Civil Engineering, University of London.
12. Terzaghi, K. (1943). “Theoretical Soil Mechanics”, *John Wiley & Son*.
13. Καπόγιαννη, Ε., Σακελλαρίου, Μ., Καλογεράς, Ι. (2008). “Ολοκληρωμένη μεθοδολογία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό οπλισμένων πρανών σύνθετης

γεωμετρίας”, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1893.

14. Κουριέρης, Χ. (2006). “Έλεγχος σεισμικής συμπεριφοράς οπλισμένων πρανών σε περιβάλλον Γ.Σ.Π.”, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 16-18
15. Ραΐση, Ε. Ο. (2009). “Ανάπτυξη λογισμικού σε περιβάλλον C++ για τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας αστοχίας πρανών κατά Sarma & Tan”, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
16. Σακελλαρίου, Μ. (2008). “Γεωτεχνική Μηχανική”, 1, 186-187
17. Σακελλαρίου, Μ. (2003). “Σημειώσεις Εδαφομηχανικής – Θεμελιώσεων”, 156-185

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Παραδείγματα που εξετάστηκαν με τη μέθοδο Sarma – Tan

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια ανεξάρτητα παραδείγματα που εξετάστηκαν με τη μέθοδο Sarma – Tan.

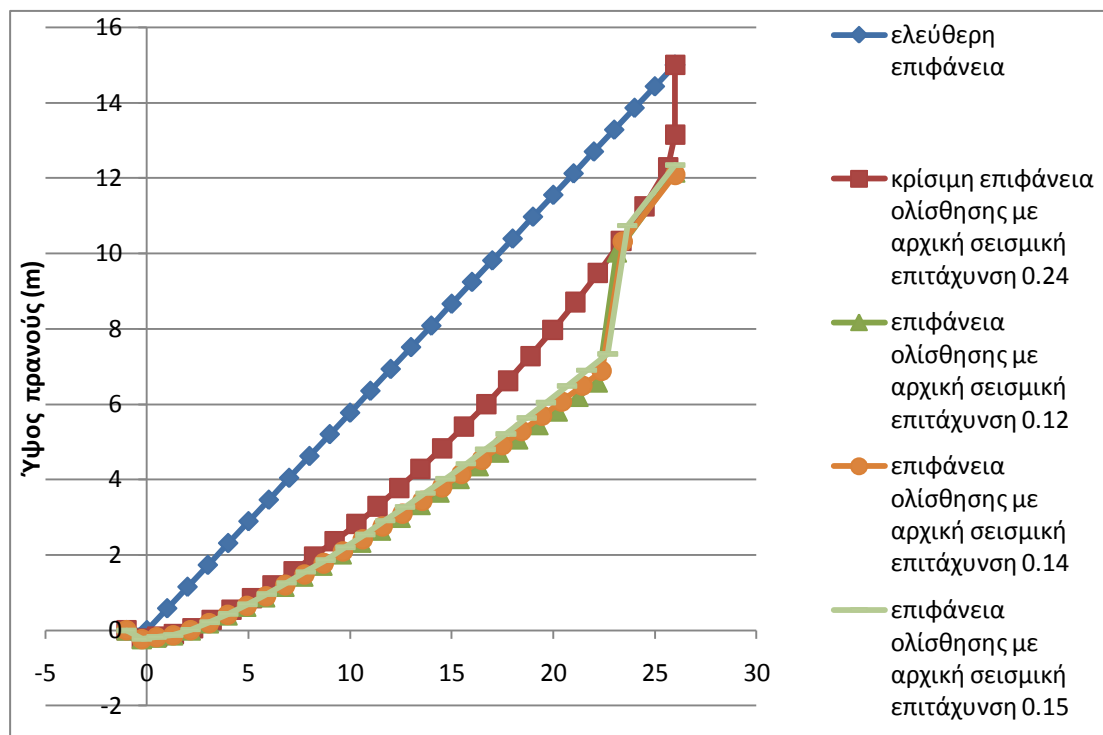
• Παράδειγμα 12

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανού $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανού $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 1: Αποτελέσματα παραδείγματος 12

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-16	47.5	0	0	-0.24	-0.22	0.12	4.97	3.95	5.1	6.73
2	4	34	1	0.58	0.5	-0.17	0.17	10.56	9.47	11.88	10.32
3	4.5	28	2	1.15	1.33	-0.1	0.29	20.11	18.62	21.19	17.22
4	10	24	3	1.73	2.26	0.06	0.44	29.97	25.54	30.13	22.57
5	13	21.5	4	2.31	3.2	0.28	0.2	39.75	30.72	38.74	26.35
6	15.5	19.5	5	2.89	4.17	0.55	0.51	49.07	35.87	46.76	30.16
7	17	17.5	6	3.46	5.18	0.86	0.86	57.91	41.03	54.22	33.99
8	18.5	16	7	4.04	6.18	1.19	0.47	65.86	44.27	60.93	36.3
9	20	14.5	8	4.62	7.21	1.57	1.01	72.74	48.07	66.69	39.13
10	21	13.5	9	5.2	8.22	1.96	0.68	79	49.56	71.98	40.12
11	22	12.5	10	5.77	9.25	2.37	1.28	84.67	52.21	76.72	42.08
12	23	11	11	6.35	10.31	2.82	1.31	88.89	56.62	80.21	45.45
13	24	10	12	6.93	11.36	3.29	0.23	91.74	56.49	82.72	45.27
14	25	9	13	7.51	12.41	3.78	0.68	93.59	57.66	84.41	46.18
15	26	8	14	8.08	13.47	4.29	0.75	94.27	58.74	85.14	47.01
16	27	7	15	8.66	14.53	4.83	1.05	93.69	59.34	84.87	47.51
17	28	6	16	9.24	15.6	5.4	1.48	91.84	59.47	83.59	47.68
18	28.5	4.5	17	9.81	16.7	6	1.23	88.8	60.79	81.31	48.84
19	30	3.5	18	10.39	17.77	6.62	1.12	83.95	58.05	77.69	46.82
20	31	2	19	10.97	18.87	7.28	0.18	77.88	58.16	72.99	47.15
21	32	0.5	20	11.55	19.97	7.97	0.29	70.62	55.87	67.35	45.59
22	33.5	-1.5	21	12.12	21.09	8.71	0.79	61.59	54.41	60.21	44.82
23	35	-3.5	22	12.7	22.2	9.48	0.34	51.41	50.26	52.12	41.95
24	36.5	-6.5	23	13.28	23.34	10.33	0.78	40.14	47.19	42.96	40.13
25	39	-10.5	24	13.86	24.48	11.25	0.81	27.34	42.13	32.38	36.87
26	41.5	-17	25	14.43	25.65	12.29	0.27	14.08	35.4	21.06	32.62
27	68	0	26	15	26	13.15	0	-0.57	2.97	8.87	6.68
kcend:	0.24										
26	41.5	-17	25	14.43	25.65	12.29	0.27				
27	68	0	26	15	26	13.15	0.27	-0.57			
kcend:	0.24										



Σχήμα Π. 1: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης και ενδιάμεσες επιφάνειες του πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$ και ύψος 15 m (Παράδειγμα 12)

Για το συγκεκριμένο πρανές επιτεύχθηκε σύγκλιση των επιταχύνσεων των πρώτων και των δυο τελευταίων τμημάτων και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι ίση με 0.24.

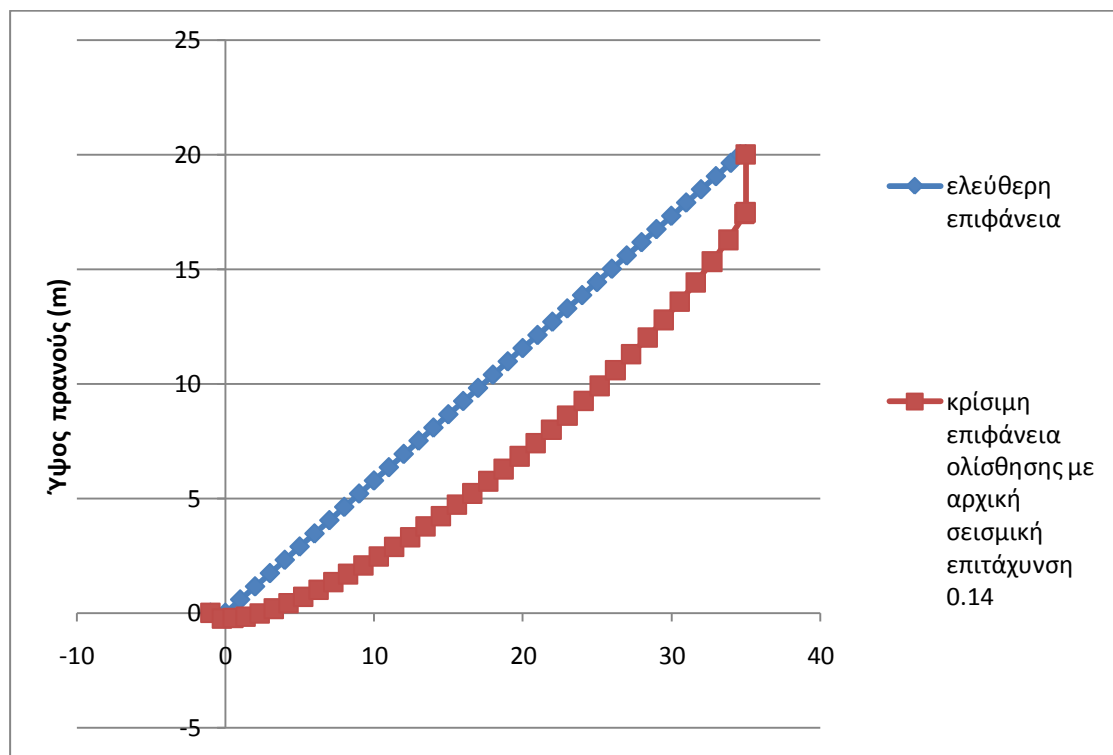
• Παράδειγμα 15

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 31^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.115$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 20 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 2: Αποτελέσματα παραδείγματος 15

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-18	45.5	0	0	-0.25	-0.24	0.11	5.27	4.38	4.91	6.59
2	2.5	31.5	1	0.58	0.52	-0.21	0.08	11.58	10.56	11.58	10.17
3	3.5	25.5	2	1.15	1.37	-0.16	0.27	22.28	20.18	20.66	16.42
4	9	22	3	1.73	2.3	-0.01	0.57	33.76	27.23	29.69	21.03
5	12	19.5	4	2.31	3.25	0.19	0.64	45.63	33.89	38.66	25.24
6	14	17.5	5	2.89	4.23	0.43	0.67	57.63	39.99	47.49	29.06
7	15.5	15.5	6	3.46	5.24	0.71	0.85	69.42	46.29	55.98	33.06
8	17	14	7	4.04	6.25	1.02	0.82	80.47	50.52	63.9	35.64
9	18	13	8	4.62	7.24	1.35	0.94	91.43	53.44	71.73	37.35
10	19	12	9	5.2	8.26	1.7	1.24	102.18	57.77	79.29	40.06
11	20	11	10	5.77	9.28	2.07	0.91	112.21	61.98	86.3	42.69
12	21	10	11	6.35	10.31	2.47	0.82	121.16	65.75	92.53	45.05
13	21.5	9	12	6.93	11.36	2.88	0.5	129.51	68.75	98.33	46.91
14	22.5	8	13	7.51	12.41	3.31	1.01	136.4	71.7	103.13	48.78
15	23.5	7	14	8.08	13.47	3.77	1.74	141.71	74.21	106.86	50.37
16	24	6.5	15	8.66	14.5	4.23	1.63	146.8	72.93	110.51	49.42
17	25	5.5	16	9.24	15.57	4.73	0.89	150.42	77.9	113.03	52.71
18	25.5	5	17	9.81	16.6	5.22	1.83	153.44	76.1	115.25	51.44
19	26	4	18	10.39	17.68	5.75	1.11	155.49	80.17	116.72	54.16
20	27	3.5	19	10.97	18.71	6.28	1.94	156.07	78.05	117.29	52.72
21	27.5	2.5	20	11.55	19.79	6.84	0.66	155.6	81.5	117.06	55.07
22	28	1.5	21	12.12	20.88	7.41	2	153.66	81.46	115.89	55.07
23	29	1	22	12.7	21.92	7.99	1.81	150.66	77.91	114.08	52.77
24	30	0	23	13.28	23	8.62	0.72	146.04	80.64	111.07	54.7
25	30.5	-1	24	13.86	24.08	9.25	0.69	140.27	79.41	107.31	53.98
26	31.5	-2	25	14.43	25.16	9.91	0.65	132.92	77.73	102.49	53.03
27	32.5	-3	26	15.01	26.23	10.6	0.77	124.3	75.65	96.79	51.82
28	33	-4	27	15.59	27.3	11.29	1.1	115.38	72.82	90.87	50.13
29	34	-5.5	28	16.17	28.4	12.03	1.03	104.89	72.3	83.79	50.06
30	35	-7	29	16.74	29.49	12.79	1.05	93.18	68.39	75.89	47.73
31	36.5	-8.5	30	17.32	30.56	13.59	0.49	80.34	63.91	67.15	45.07
32	38	-10.5	31	17.9	31.64	14.43	0.71	66.49	60.44	57.57	43.19
33	39.5	-13	32	18.48	32.73	15.33	0.83	51.96	55.37	47.38	40.3
34	41	-16.5	33	19.05	33.82	16.28	0.41	37.14	49.42	36.78	36.95
35	41.5	-23.5	34	19.63	35	17.32	0.29	17.39	41.34	23.03	32.73
36	41.5	0	35	20	35	17.32	0	0.62	-0.03	13.77	0
kcend:	0.22										
35	43.5	-21.5	34	19.63	34.91	17.4	1.56				
36	43.5	0	35	20	35	17.48	1.56	7.65			
kcend:	0.14										



Σχήμα Π. 2: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού με γωνία $\beta = 30^\circ$ και ύψος 20 m (Παράδειγμα 15)

Στο παρόν παράδειγμα δεν επιτεύχθηκε σύγκλιση των επιταχύνσεων των πρώτων και των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανού και η διαφορά που έχουν μεταξύ τους είναι αρκετά μεγάλη για να είναι αποδεκτή. Η επιτάχυνση των πρώτων τμημάτων είναι 0.22 και των δυο τελευταίων τμημάτων 0.14.

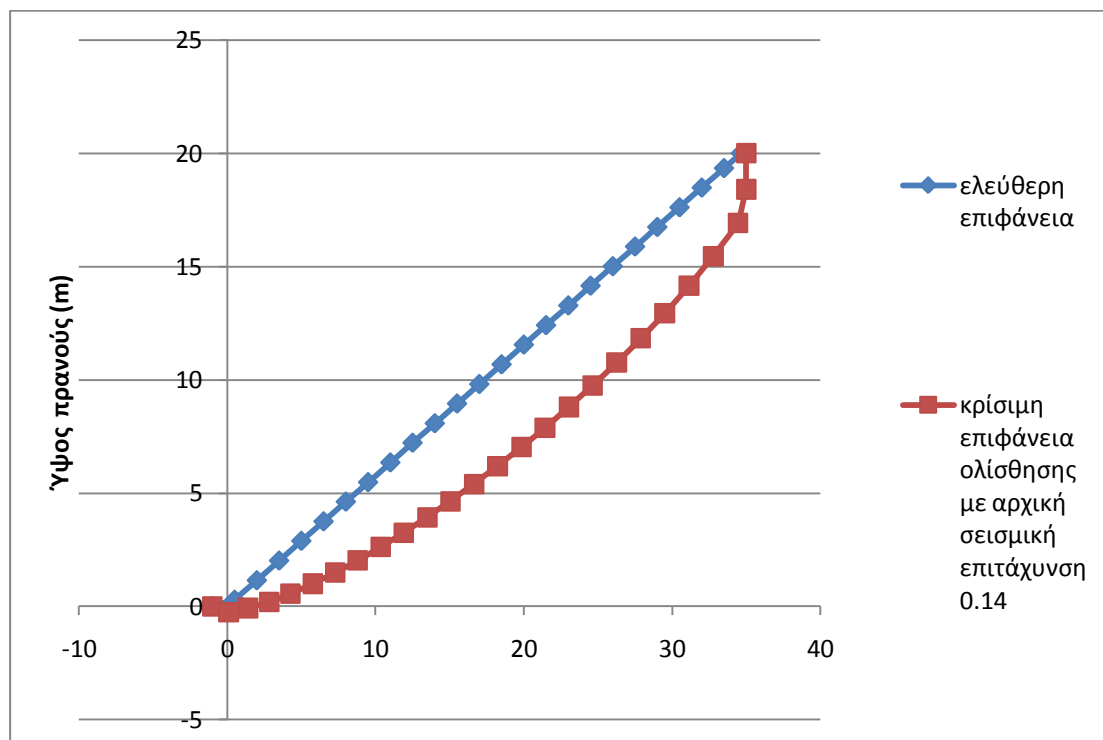
• Παράδειγμα 16

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 31^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.115$
- Γωνία πρανού $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανού $H = 20 \text{ m}$
- Βήμα 1.5 m

Πίνακας Π. 3: Αποτελέσματα παραδείγματος 16

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-13	37	0.5	0.29	0.09	-0.25	0.05	8.31	8.34	8.38	10.62
2	8	26	2	1.15	1.4	-0.07	0.29	19.96	23.18	18.79	20.55
3	10.5	20.5	3.5	2.02	2.82	0.19	0.47	35.77	40.91	31.24	31.77
4	14	17.5	5	2.89	4.26	0.56	0.72	52.22	53.47	43.6	39.59
5	16.5	15	6.5	3.75	5.76	1	0.49	68.34	65.89	55.32	47.4
6	18	13	8	4.62	7.28	1.49	0.26	84	75.95	66.52	53.61
7	19.5	11.5	9.5	5.48	8.8	2.03	1.15	98.61	83.98	76.88	58.52
8	21	10	11	6.35	10.34	2.62	1.05	111.46	92.6	85.91	63.92
9	22	8.5	12.5	7.22	11.91	3.25	0.39	122.69	99.71	93.75	68.35
10	23	7	14	8.08	13.49	3.93	1.75	131.81	105.48	100.14	71.97
11	24.5	6	15.5	8.95	15.05	4.64	1.07	138.07	107.65	104.64	73.24
12	25.5	4.5	17	9.81	16.65	5.4	1.7	141.95	113.88	107.42	77.32
13	26.5	3.5	18.5	10.68	18.23	6.19	0.77	143.54	113.18	108.76	76.79
14	27.5	2	20	11.55	19.84	7.03	1.6	142.52	117.13	108.24	79.49
15	28.5	1	21.5	12.41	21.42	7.88	1.25	139.28	114.12	106.33	77.55
16	29.5	-0.5	23	13.28	23.04	8.8	1.14	133.62	115.77	102.68	78.86
17	30.5	-2	24.5	14.15	24.65	9.75	1.54	125.39	113.41	97.32	77.51
18	32	-3.5	26	15.01	26.26	10.76	0.55	114.12	109.69	89.89	75.38
19	33.5	-5.5	27.5	15.88	27.89	11.83	1.21	99.89	106.75	80.33	73.91
20	34.5	-7.5	29	16.74	29.5	12.94	1.64	84.5	98.77	69.95	69.13
21	36.5	-10.5	30.5	17.61	31.14	14.15	0.27	66.22	93	57.36	66.08
22	38.5	-14.5	32	18.48	32.78	15.46	0.54	46.16	82.77	43.31	60.21
23	41	-21.5	33.5	19.34	34.46	16.92	0.43	24.86	70.49	27.97	53.46
24	70	0	35	20	35	18.41	0	-0.9	12.16	7.4	15.26
kcend:	0.14										
23	41	-21.5	33.5	19.34	34.46	16.92	0.43				
24	70	0	35	20	35	18.41	0.43	-0.9			
kcend:	0.14										



Σχήμα Π. 3: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$
(Παράδειγμα 16)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιτεύχθηκε σύγκλιση της επιτάχυνσης στα πρώτα και τα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς και είναι ίση με 0.14. Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα ίδια μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά με το πρανές του παραδείγματος 15 με τη διαφορά όμως ότι επιλέχθηκε μεγαλύτερο βήμα για τη δημιουργία της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς, εδώ επιλέχθηκε το βήμα να είναι ίσο με 1.5 m αντί 1.0m που ήταν στο παράδειγμα 15. Παρατηρείται ότι με την αύξηση του βήματος μειώθηκαν τα τμήματα στα οποία χωρίστηκε το πρανές. Επιπλέον, η αύξηση του βήματος οδήγησε στον υπολογισμό ενιαίας τιμής της επιτάχυνσης σε όλα τα τμήματα του πρανούς. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η επιλογή του κατάλληλου βήματος οδηγεί στην σύγκλιση του πρανούς και στον προσδιορισμό της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης του πρανούς.

• Παράδειγμα 17

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

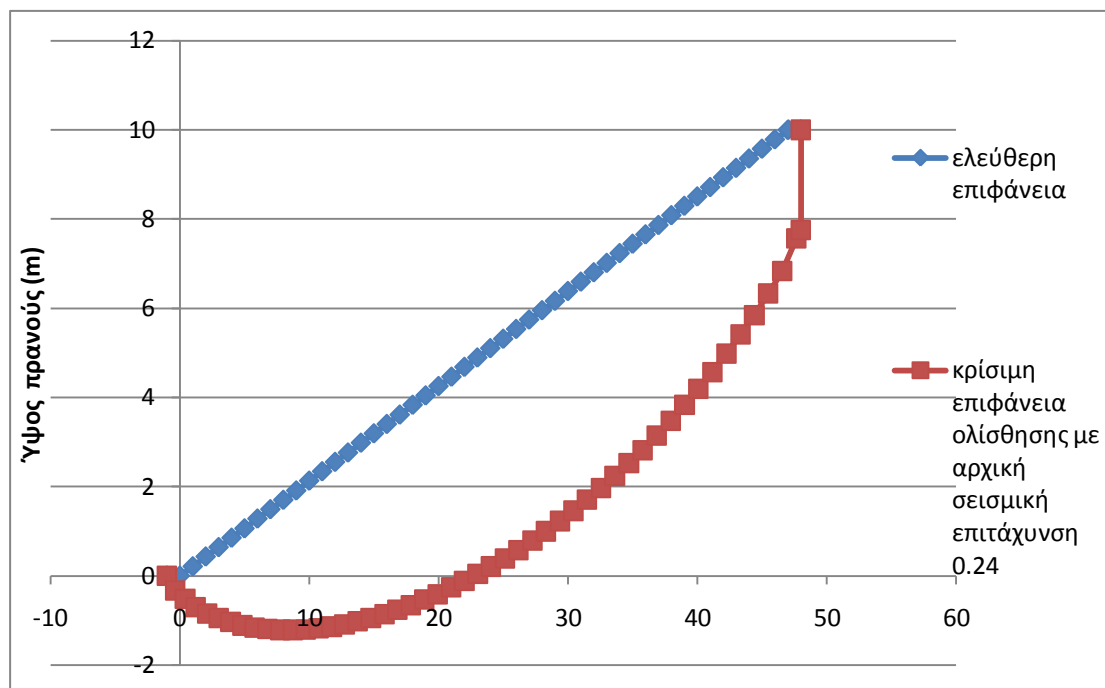
- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$

Διπλωματική Εργασία: «Παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών»

- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 12^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 4: Αποτελέσματα παραδείγματος 17

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-27	48	0	0	-0.36	-0.33	0.08	5.15	5.46	4.3	5.57
2	-14.5	39.5	1	0.21	0.4	-0.52	0.13	12.38	11.94	9.26	8.25
3	-12	35	2	0.43	1.22	-0.7	0.23	22.24	19.68	14.93	11.36
4	-9	31.5	3	0.64	2.1	-0.84	0.33	33.42	27.09	20.8	14.33
5	-7	29.5	4	0.85	2.98	-0.94	0.45	45.48	32.79	26.86	16.4
6	-5.5	27.5	5	1.06	3.91	-1.03	0.17	58.37	39.5	33.06	19.02
7	-4.5	26	6	1.28	4.84	-1.11	0.61	71.89	44.79	39.42	20.97
8	-3	24.5	7	1.49	5.79	-1.16	0.27	85.36	50.84	45.6	23.29
9	-2	23	8	1.7	6.77	-1.19	0.77	98.73	56.46	51.64	25.44
10	-1	22	9	1.91	7.74	-1.21	0.16	111.81	59.7	57.52	26.56
11	0	21	10	2.13	8.72	-1.21	0.39	124.65	64.3	63.22	28.31
12	0.5	20	11	2.34	9.71	-1.2	0.21	137.49	68.57	68.86	29.92
13	1.5	19	12	2.55	10.72	-1.17	0.62	149.46	72.77	74.09	31.51
14	2	18	13	2.76	11.73	-1.14	1.21	161.05	76.42	79.12	32.89
15	3	17.5	14	2.98	12.72	-1.09	0.98	171.75	76.89	83.8	32.93
16	3.5	16.5	15	3.19	13.75	-1.02	0.91	182.14	83.12	88.25	35.43
17	4	16	16	3.4	14.75	-0.95	1.06	191.94	82.63	92.5	35.08
18	5	15	17	3.61	15.8	-0.86	1.46	200.32	89	96.07	37.66
19	5.5	14.5	18	3.83	16.81	-0.76	0.46	207.93	87.57	99.38	36.95
20	6	14	19	4.04	17.83	-0.66	1.38	215.28	89.42	102.55	37.66
21	6.5	13	20	4.25	18.9	-0.53	1.71	221.51	95.47	105.18	40.11
22	7	12.5	21	4.46	19.92	-0.41	0.59	226.76	92.91	107.49	38.98
23	8	12	22	4.68	20.95	-0.26	1.12	230.75	94.38	109.24	39.55
24	8.5	11.5	23	4.89	21.98	-0.11	1.64	234.08	95.57	110.7	40.01
25	8.5	11	24	5.1	23.02	0.04	1.8	237.53	96.26	112.21	40.26
26	9	10.5	25	5.31	24.05	0.21	1.88	240.13	97.15	113.36	40.61
27	9.5	9.5	26	5.53	25.14	0.39	1.9	241.09	102.36	113.79	42.76
28	10.5	9	27	5.74	26.18	0.58	0.68	240.07	98.31	113.47	41.08
29	11	8.5	28	5.95	27.23	0.79	1.12	238.61	98.1	112.96	41.03
30	11.5	8	29	6.16	28.27	1	1.7	236.5	98	112.15	41.01
31	12	7	30	6.38	29.37	1.23	1.76	232.82	102.08	110.65	42.75
32	12.5	6.5	31	6.59	30.42	1.46	0.45	228.29	96.79	108.88	40.6
33	13	6	32	6.8	31.46	1.71	1.66	223.43	95.72	106.94	40.22
34	13.5	5	33	7.01	32.56	1.97	1.23	217.24	98.92	104.39	41.63
35	14.5	4.5	34	7.23	33.61	2.24	1.25	209.56	93.52	101.28	39.46
36	15	3.5	35	7.44	34.7	2.53	0.97	200.93	95.53	97.71	40.43
37	15.5	3	36	7.65	35.75	2.82	1.5	191.99	89.59	94.05	38.04
38	16.5	2	37	7.86	36.84	3.15	0.72	181.49	91.08	89.66	38.82
39	17	1	38	8.08	37.92	3.48	0.66	170.19	88.23	84.94	37.78
40	18	0	39	8.29	39	3.83	0.73	157.69	85	79.7	36.62
41	18.5	-1	40	8.5	40.08	4.19	0.35	145.06	81.27	74.37	35.25
42	19.5	-2	41	8.71	41.14	4.57	0.88	131.76	77.54	68.71	33.9
43	20.5	-3.5	42	8.93	42.24	4.98	0.62	117.46	75.84	62.54	33.46
44	21.5	-5	43	9.14	43.33	5.41	0.46	102.57	70.77	56.08	31.59
45	22.5	-6.5	44	9.35	44.4	5.85	0.64	87.7	65.14	49.55	29.51
46	24	-8.5	45	9.57	45.48	6.33	0.55	72.31	60.94	42.66	28.11
47	25	-11	46	9.78	46.57	6.84	0.31	57.23	55.35	35.8	26.15
48	39.5	-27	47	9.99	48	8.02	46.61	17.42	68.93	17.39	34.37
49	39.5	0	48	10	48	8.02	0	0.99	-1.81	10.28	-0.63
kcend:	0.4										
48	27	-14	47	9.99	47.65	7.57	1.27				
49	27	0	48	10	48	7.75	1.27	27.7			
kcend:	0.24										



Σχήμα Π. 4: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 12^\circ$
(Παράδειγμα 17)

Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος Sarma – Tan, παρατηρείται ότι στο συγκεκριμένο πρανές δεν υπάρχει σύγκλιση των επιταχύνσεων των πρώτων και των δυο τελευταίων τμημάτων του πρανούς, οι οποίες είναι ίσες με 0.40 και 0.24 αντίστοιχα. Πιθανόν υπάρχει αυτή η μεγάλη διαφορά μεταξύ των επιταχύνσεων που προκύπτουν για τα πρώτα και τα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς επειδή είναι μεγάλη η διαφορά που υπάρχει μεταξύ της γωνίας τριβής και της γωνίας του πρανούς και δεδομένου του ύψους του πρανούς, όλοι αυτοί οι παράγοντες να οδηγούν σε μη σύγκλιση του πρανούς.

• Παράδειγμα 18

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

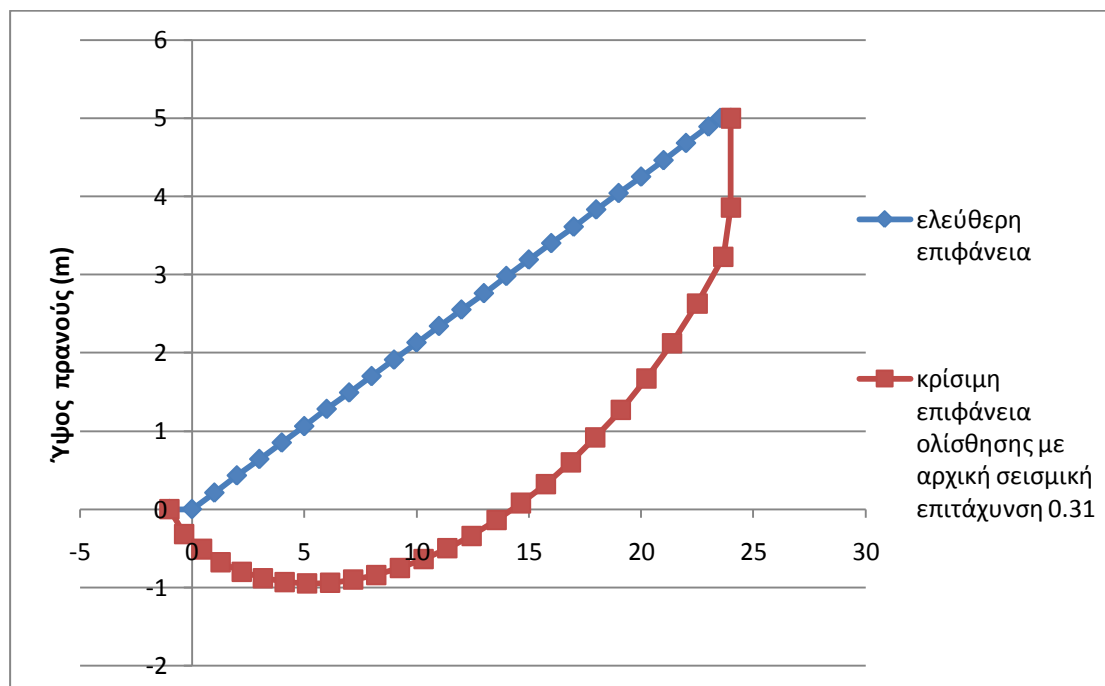
- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$

Διπλωματική Εργασία: «Παραμετρική διερεύνηση ευστάθειας άοπλων και οπλισμένων εδαφικών πρανών»

- Γωνία πρανούς $\beta = 12^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 5 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 5: Αποτελέσματα παραδείγματος 18

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-26.5	47.5	0	0	-0.35	-0.32	0.09	5.01	5.43	4.21	5.59
2	-13.5	38	1	0.21	0.43	-0.51	0.17	11.71	12.23	8.86	8.5
3	-11	33	2	0.43	1.28	-0.68	0.16	20.55	20.05	14.05	11.63
4	-7.5	29	3	0.64	2.2	-0.8	0.31	30.03	27.31	19.14	14.58
5	-5	26	4	0.85	3.16	-0.88	0.35	39.52	33.46	24.02	16.95
6	-3	23.5	5	1.06	4.13	-0.93	0.44	48.75	38.9	28.62	19.05
7	-1	21.5	6	1.28	5.12	-0.95	0.06	57.27	43.41	32.8	20.75
8	0.5	19.5	7	1.49	6.14	-0.94	0.16	65.11	47.98	36.58	22.55
9	2	17.5	8	1.7	7.18	-0.9	0.61	71.85	52.01	39.81	24.13
10	3.5	16	9	1.91	8.21	-0.84	0.23	77.35	53.9	42.48	24.79
11	5	14.5	10	2.13	9.26	-0.75	0.53	81.6	56.49	44.55	25.81
12	6	13	11	2.34	10.31	-0.64	0.62	84.88	58.46	46.17	26.59
13	7.5	11.5	12	2.55	11.38	-0.5	0.72	86.52	60.02	47.05	27.23
14	8.5	10	13	2.76	12.45	-0.34	0.71	87.03	60.8	47.42	27.56
15	10	8	14	2.98	13.56	-0.14	0.76	85.54	62.78	46.88	28.48
16	11.5	6.5	15	3.19	14.65	0.08	0.63	82.35	60.6	45.63	27.59
17	12.5	4.5	16	3.4	15.76	0.32	0.55	78.1	60.75	43.86	27.81
18	14	2.5	17	3.61	16.87	0.6	0.47	72.24	58.87	41.37	27.15
19	16	0.5	18	3.83	17.97	0.92	0.61	64.65	56.21	38.07	26.21
20	17.5	-2	19	4.04	19.1	1.27	0.39	56	53.81	34.22	25.47
21	19.5	-5	20	4.25	20.23	1.67	0.43	46.03	50.23	29.7	24.27
22	21.5	-9	21	4.46	21.37	2.12	0.19	35.14	45.87	24.64	22.85
23	24	-14	22	4.68	22.51	2.63	0.3	23.68	39.43	19.16	20.59
24	27.5	-22	23	4.89	23.67	3.23	0.09	12.02	32.49	13.3	18.36
25	62	0	24	5	24	3.86	0	-0.16	2.12	5.66	4.3
kcend:	0.3										
24	27.5	-22	23	4.89	23.67	3.23	0.09				
25	62	0	24	5	24	3.86	0.09	-0.16			
kcend:	0.3										



Σχήμα Π. 5: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 12^\circ$
(Παράδειγμα 18)

Σε αυτό το παράδειγμα επετεύχθη σύγκλιση του πρανούς καθώς προέκυψε ενιαία σεισμική επιτάχυνση σε όλα τα τμήματα του πρανούς η οποία είναι ίση με 0.30. Η διαφορά αυτού του παραδείγματος από το παράδειγμα 17 έχει να κάνει με το ύψος του πρανού. Δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για αυτά τα δυο παραδείγματα, γιατί όταν αλλάζει το ύψος του πρανούς ουσιαστικά εξετάζεται διαφορετικό πρανές.

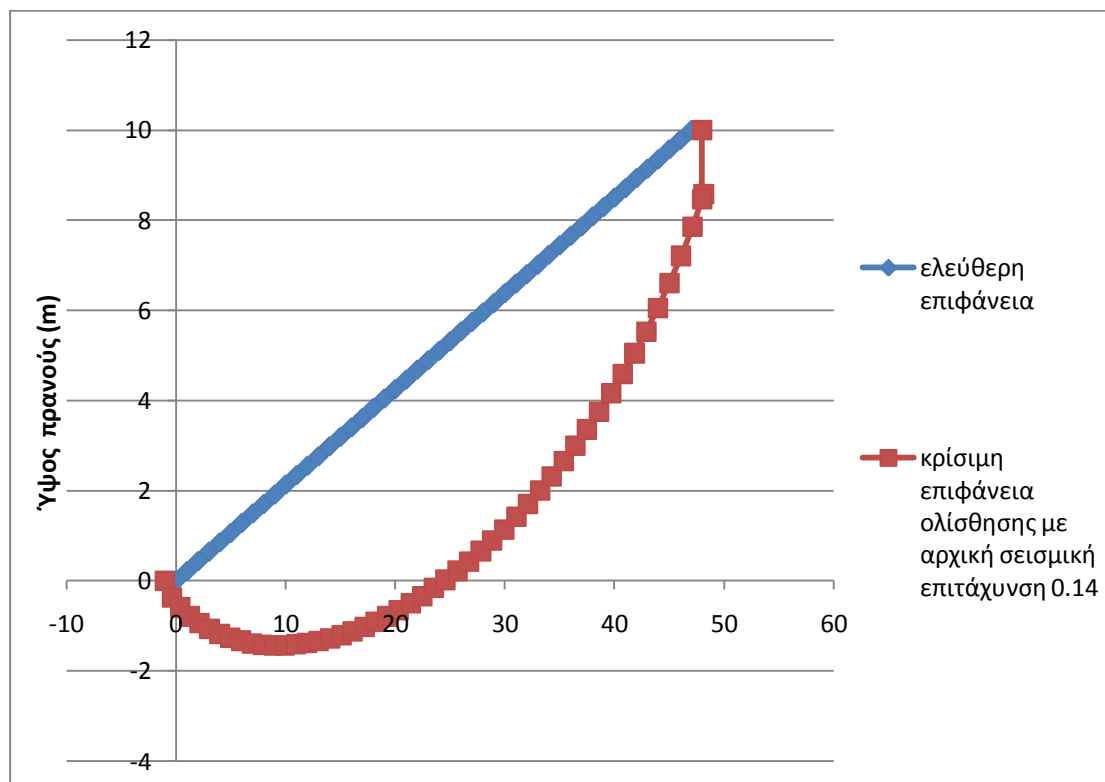
• Παράδειγμα 19

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 15^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 12^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 6: Αποτελέσματα παραδείγματος 19

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-30.5	46	0	0	-0.38	-0.37	0.11	5.73	5.87	4.17	5.18
2	-16.5	37	1	0.21	0.39	-0.59	0.07	13.85	12.98	8.76	7.5
3	-13	32.5	2	0.43	1.23	-0.79	0.22	24.58	20.96	13.77	9.9
4	-10	29	3	0.64	2.12	-0.94	0.15	36.89	28.79	18.93	12.26
5	-8	26.5	4	0.85	3.04	-1.07	0.13	50.28	35.75	24.22	14.21
6	-6.5	24.5	5	1.06	3.98	-1.18	0.35	64.57	42.33	29.63	16.06
7	-5	22.5	6	1.28	4.95	-1.27	0.28	79.29	49.47	35	18.12
8	-4	21	7	1.49	5.92	-1.33	0.18	94.37	54.62	40.4	19.5
9	-3	19.5	8	1.7	6.91	-1.39	0.35	109.69	60.69	45.76	21.22
10	-2	18	9	1.91	7.92	-1.42	0.86	124.84	66.56	50.98	22.89
11	-0.5	17	10	2.13	8.91	-1.43	0.42	138.93	69.8	55.81	23.68
12	0	16	11	2.34	9.92	-1.43	0.52	153.31	74.35	60.68	24.96
13	1	15	12	2.55	10.94	-1.41	0.4	166.97	78.95	65.25	26.25
14	1.5	14	13	2.76	11.97	-1.38	0.3	180.39	83.05	69.71	27.39
15	2.5	13	14	2.98	13	-1.34	0.37	192.63	87.05	73.76	28.52
16	3	12	15	3.19	14.05	-1.28	0.94	204.34	90.51	77.62	29.49
17	4	11	16	3.4	15.1	-1.21	1.24	214.56	93.86	80.98	30.43
18	5	10.5	17	3.61	16.12	-1.12	1.12	223.52	92.83	83.97	29.99
19	5.5	9.5	18	3.83	17.19	-1.02	0.63	231.96	99.25	86.71	31.95
20	6	9	19	4.04	18.22	-0.91	1.29	239.63	97.25	89.26	31.22
21	6.5	8	20	4.25	19.29	-0.79	0.91	246.53	103.48	91.5	33.14
22	7.5	7.5	21	4.46	20.33	-0.65	1.21	251.61	100.95	93.22	32.27
23	8	6.5	22	4.68	21.41	-0.5	0.97	255.76	106.78	94.58	34.08
24	8.5	6	23	4.89	22.45	-0.34	1.06	258.99	103.2	95.71	32.91
25	9.5	5	24	5.1	23.54	-0.16	1.26	260.25	108.85	96.15	34.69
26	10	4.5	25	5.31	24.58	0.02	1.03	260.64	104.53	96.38	33.31
27	10.5	3.5	26	5.53	25.68	0.22	1.08	259.98	109.36	96.22	34.86
28	11	3	27	5.74	26.72	0.43	1.17	258.5	104.54	95.86	33.34
29	12	2	28	5.95	27.82	0.66	0.96	255	109.05	94.8	34.81
30	12.5	1.5	29	6.16	28.86	0.89	1.3	250.8	103.67	93.57	33.14
31	13	0.5	30	6.38	29.95	1.14	0.65	245.59	107.22	91.97	34.34
32	14	-0.5	31	6.59	31.05	1.42	1.37	238.15	106.08	89.68	34.04
33	14.5	-1.5	32	6.8	32.13	1.7	1.44	229.8	104.05	87.1	33.5
34	15.5	-2.5	33	7.01	33.22	2	1.2	219.81	101.91	84	32.94
35	16.5	-3.5	34	7.23	34.3	2.32	0.87	208.4	99.38	80.43	32.27
36	17	-4.5	35	7.44	35.38	2.65	0.56	196.62	96.29	76.71	31.43
37	18	-5.5	36	7.65	36.45	3	0.29	183.72	93.11	72.61	30.58
38	19	-6.5	37	7.86	37.51	3.36	0.89	169.9	89.6	68.18	29.64
39	19.5	-8	38	8.08	38.61	3.75	0.73	155.54	88.55	63.52	29.54
40	20.5	-9.5	39	8.29	39.69	4.16	0.85	140.17	83.77	58.51	28.23
41	22	-11	40	8.5	40.76	4.59	0.09	123.66	78.51	53.07	26.8
42	23	-13	41	8.71	41.85	5.05	0.7	106.76	74.83	47.42	25.95
43	24.5	-15	42	8.93	42.91	5.53	0.01	89.39	68.12	41.52	24.09
44	26	-17.5	43	9.14	43.97	6.05	0.12	71.96	62.34	35.47	22.62
45	27.5	-20.5	44	9.35	45.03	6.6	0.45	54.93	55.35	29.4	20.78
46	29.5	-25	45	9.57	46.1	7.21	0.41	38.13	48.9	23.22	19.25
47	32	-31	46	9.78	47.15	7.86	0.19	22.14	39.6	17.1	16.81
48	35.5	-39.5	47	9.99	48.16	8.58	1.67	7.85	28.62	11.22	13.87
49	36.5	0	48	10	48	8.47	0	-0.99	-1.78	7.41	0.51
kcend:	0.14										
48	36	-40	47	9.99	48.17	8.6	1.56				
49	36	0	48	10	48	8.48	1.56	-1.27			
kcend:	0.14										



Σχήμα Π. 6: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς με γωνία $\beta = 12^\circ$
(Παράδειγμα 19)

Σε αυτό το πρανές επετεύχθη σύγκλιση και η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση είναι ίση με 0.14. Συγκρίνοντας το παράδειγμα αυτό με το παράδειγμα 17, τα οποία διαφέρουν ως προς τη γωνία τριβής διατηρώντας όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά ίδια, διαπιστώνεται ότι ενώ στο παράδειγμα 17 δεν επετεύχθη σύγκλιση του πρανούς, σε αυτό το παράδειγμα επετεύχθη και αυτό πιθανόν οφείλεται στο ότι είναι σωστότερος ο συνδυασμός των δεδομένων, δηλαδή για το συγκεκριμένο πρανές ήταν απαραίτητο να υπάρχει μεγαλύτερη γωνία τριβής.

• Παράδειγμα 29

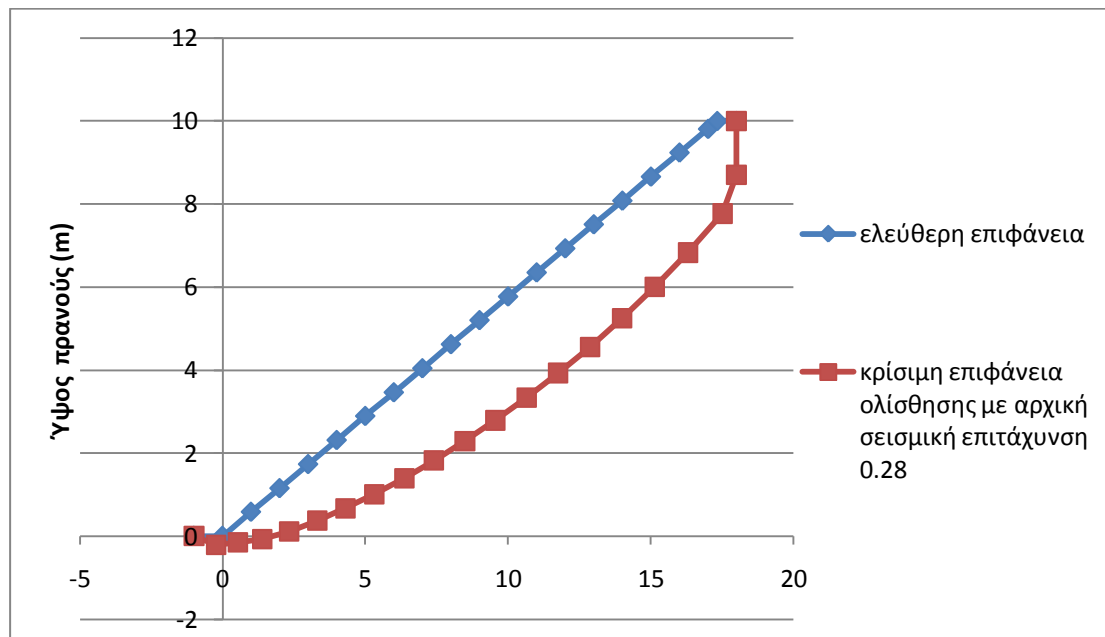
Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.105$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$

- Ύψος πρανούς H = 10 m
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 7: Αποτελέσματα παραδείγματος 29

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-15.5	47.5	0	0	-0.23	-0.21	0.08	4.94	4.12	5.03	6.87
2	4.5	33	1	0.58	0.53	-0.15	0.22	10.52	10.26	11.72	10.98
3	5.5	26.5	2	1.15	1.39	-0.07	0.27	19.81	20.14	20.71	18.44
4	11	22.5	3	1.73	2.33	0.11	0.51	29.04	26.85	29.1	23.59
5	14.5	19.5	4	2.31	3.31	0.37	0.47	37.5	32.85	36.56	28.08
6	17	17.5	5	2.89	4.3	0.67	0.71	45.08	37	43.19	31.08
7	18.5	15.5	6	3.46	5.32	1.01	0.81	52.09	41.51	49.21	34.44
8	20.5	13.5	7	4.04	6.37	1.4	0.55	57.36	45.78	53.74	37.64
9	22	12	8	4.62	7.41	1.82	0.91	61.29	47.47	57.22	38.84
10	23.5	10	9	5.2	8.49	2.29	0.78	63.49	51.02	59.2	41.63
11	25	8.5	10	5.77	9.55	2.79	0.67	63.92	51.05	59.85	41.62
12	26.5	6.5	11	6.35	10.66	3.34	0.78	62.47	52.89	58.9	43.2
13	28	4.5	12	6.93	11.76	3.93	0.81	59	52.47	56.36	43.01
14	29.5	2.5	13	7.51	12.87	4.55	0.43	53.91	50.81	52.52	41.94
15	31.5	0	14	8.08	14	5.25	0.39	46.71	49.63	46.89	41.37
16	33.5	-3	15	8.66	15.14	6	0.61	37.68	46.73	39.7	39.55
17	35.5	-7	16	9.24	16.3	6.83	0.39	27.25	42.46	31.23	36.83
18	38	-14	17	9.81	17.51	7.77	0.27	14.11	36.95	20.4	33.57
19	62	0	18	10	18	8.7	0	-0.46	3.73	6.2	7.84
kcend:	0.3										
18	38.5	-13.5	17	9.81	17.49	7.79	0.41				
19	61	0	18	10	18	8.71	0.41	1.44			
kcend:	0.28										



Σχήμα Π. 7: Ελεύθερη επιφάνεια, κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης με γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$ (Παράδειγμα 29)

Το πρανές αυτού του παραδείγματος δεν συγκλίνει καθώς τα πρώτα τμήματα του πρανού έχουν επιτάχυνση ίση με 0.30 και τα δυο τελευταία 0.28, βέβαια οι τιμές είναι κοντινές και θεωρούνται αποδεκτές, ώστε να χαρακτηριστεί η επιφάνεια ολίσθησης ως κρίσιμη.

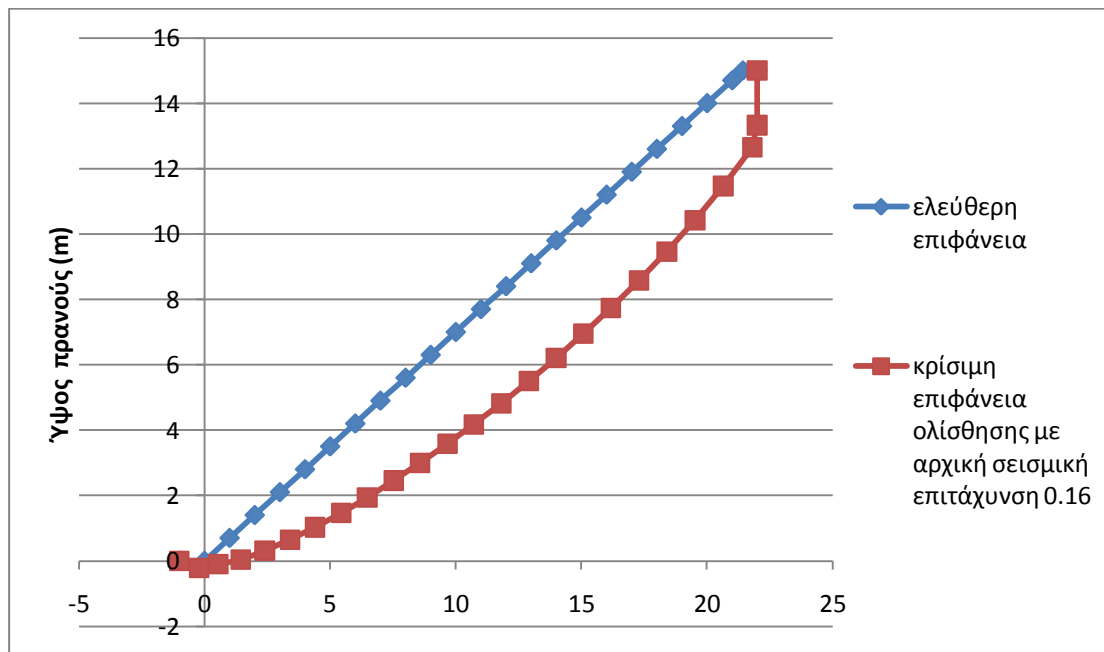
• Παράδειγμα 30

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.105$
- Γωνία πρανού $\beta = 35^\circ$
- Ύψος πρανού $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 8: Αποτελέσματα παραδείγματος 30

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-15	44.5	0	0	-0.21	-0.21	0.13	5.46	4.34	5.31	7.14
2	8	29	1	0.7	0.55	-0.1	0.06	11.67	11.02	12.77	11.56
3	9.5	22.5	2	1.4	1.44	0.04	0.4	22.52	22.11	23.11	19.96
4	15.5	18.5	3	2.1	2.4	0.31	0.06	33.49	29.84	32.89	25.89
5	18.5	15.5	4	2.8	3.4	0.65	0.75	44.25	36.74	42.17	31.01
6	21	13.5	5	3.5	4.41	1.03	0.4	54.23	41.84	50.67	34.68
7	23	11.5	6	4.2	5.44	1.47	0.5	63.19	47.71	58.18	39.04
8	24.5	10	7	4.9	6.48	1.94	0.51	71.11	51.24	64.82	41.56
9	26	8.5	8	5.6	7.53	2.46	0.73	77.73	55.29	70.33	44.57
10	27	7	9	6.3	8.59	3	0.38	83.17	58.52	74.88	46.95
11	28.5	5.5	10	7	9.67	3.58	1.23	86.55	61.31	77.78	49.05
12	29.5	4.5	11	7.7	10.72	4.18	1.19	88.9	61.03	79.93	48.77
13	30.5	3	12	8.4	11.81	4.82	0.72	89.82	64.19	80.83	51.27
14	32	1.5	13	9.1	12.91	5.5	1.34	88.21	65.18	79.77	52.08
15	33	0	14	9.8	14	6.21	0.95	85.03	64.55	77.49	51.72
16	34.5	-1.5	15	10.5	15.09	6.96	0.47	79.85	63.53	73.61	51.11
17	35.5	-3	16	11.2	16.18	7.74	1.05	73.6	61.43	68.87	49.7
18	37	-5	17	11.9	17.29	8.58	0.22	65.4	60.51	62.49	49.31
19	38.5	-7.5	18	12.6	18.41	9.47	0.86	55.28	57.95	54.52	47.74
20	40.5	-10.5	19	13.3	19.53	10.43	0.53	43.24	53.46	44.91	44.8
21	43	-14.5	20	14	20.65	11.47	0.71	29.6	47.7	33.8	41.07
22	45.5	-21.5	21	14.7	21.81	12.65	0.42	14.83	40.67	21.44	36.72
23	74.5	0	22	15	22	13.33	0	0.5	1.91	8.69	4.89
kcend:	0.16										
22	45.5	-21.5	21	14.7	21.81	12.65	0.42				
23	74.5	0	22	15	22	13.33	0.42	0.5			
kcend:	0.16										



Σχήμα Π. 8: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού με γωνία $\beta = 35^\circ$
(Παράδειγμα 30)

Αυτό το πρανές συγκλίνει καθώς προκύπτει ενιαία τιμή της επιτάχυνσης σε όλα τα τμήματα του πρανού και είναι ίση με 0.16

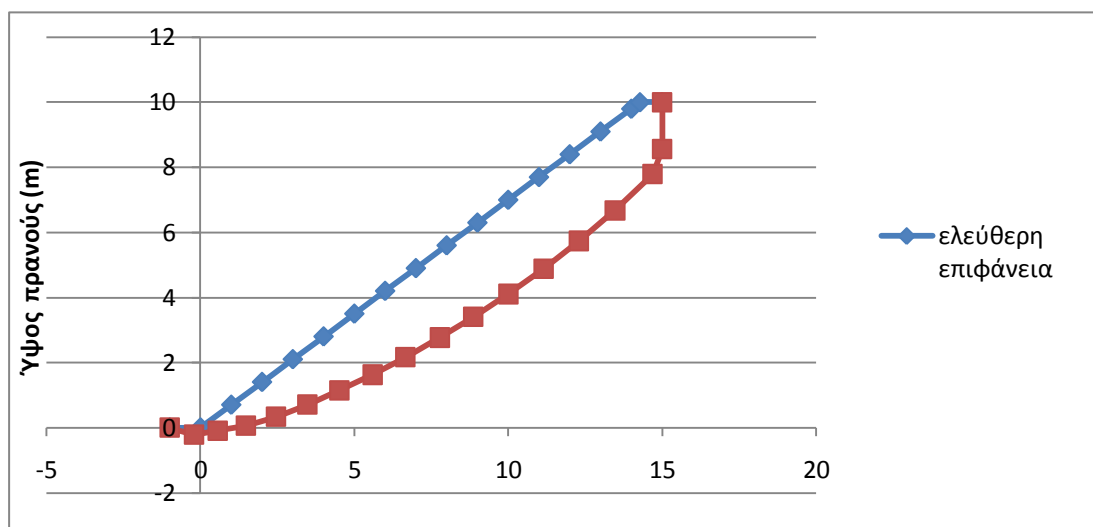
• Παράδειγμα 31

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.105$
- Γωνία πρανού $\beta = 35^\circ$
- Ύψος πρανού $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 1.0 m

Πίνακας Π. 9: Αποτελέσματα παραδείγματος 31

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-1	0	-1	0							
1	-14.5	44.5	0	0	-0.2	-0.21	0.12	5.29	4.18	5.15	7.04
2	8.5	28.5	1	0.7	0.57	-0.09	0.14	11.08	10.85	12.26	11.51
3	9.5	21.5	2	1.4	1.47	0.06	0.18	21.22	22.01	22.06	19.98
4	16	17	3	2.1	2.46	0.34	0.58	30.7	29.66	30.68	25.92
5	20	14	4	2.8	3.48	0.71	0.54	38.84	35.5	37.95	30.27
6	22.5	11.5	5	3.5	4.52	1.15	0.72	45.84	40.46	44.11	33.97
7	24.5	9	6	4.2	5.59	1.63	0.21	51.3	45.15	48.91	37.51
8	26.5	7	7	4.9	6.66	2.17	0.88	54.88	47.55	52.19	39.28
9	28.5	4.5	8	5.6	7.78	2.77	0.96	56.1	51.15	53.47	42.15
10	30	2.5	9	6.3	8.87	3.41	0.76	55.49	50.81	53.35	41.91
11	32	0	10	7	10	4.11	0.28	52.46	51.95	51.2	43.02
12	34	-3	11	7.7	11.15	4.88	0.74	46.76	51.7	46.85	43.12
13	36.5	-6.5	12	8.4	12.3	5.74	0.79	38.21	49.26	40.16	41.68
14	39	-11	13	9.1	13.47	6.68	0.17	27.47	44.94	31.56	38.98
15	42	-19	14	9.8	14.69	7.79	0.35	13.99	39.64	20.46	36
16	68.5	0	15	10	15	8.56	0	-0.05	2.29	7.16	5.77
kcend:	0.22										
15	42	-19	14	9.8	14.69	7.79	0.35				
16	68.5	0	15	10	15	8.56	0.35	-0.05			
kcend:	0.22										



Σχήμα Π. 9: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού με γωνία $\beta = 35^\circ$ (Παράδειγμα 31)

Το πρανές αυτού του παραδείγματος συγκλίνει και έχει κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση ίση με 0.22. Τα παραδείγματα 29 και 31 διαφέρουν ως προς τη γωνία του πρανούς, δηλαδή το παράδειγμα 29 έχει γωνία πρανούς ίση με 30° και το παράδειγμα 31 ίση με 35° . Αλλάζοντας τη γωνία του πρανούς είναι σαν να εξετάζεται διαφορετικό πρανές, παρόλα αυτά στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής θεωρείται ότι είναι μια από τις εξεταζόμενες παραμέτρους για την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση. Με βάση τα αποτελέσματα των δυο παραδειγμάτων, διαπιστώνεται ότι με την αύξηση της γωνίας του πρανούς επιτυγχάνεται σύγκλιση του πρανούς καθώς προκύπτει ενιαία τιμή της επιτάχυνσης σε όλα τα τμήματα του πρανούς, η οποία είναι ίση με 0.22. Βέβαια το πρανές εμφανίζει μειωμένη ευστάθεια σε σχέση με το πρανές που εξετάστηκε με γωνία 30° , αλλά το ζητούμενο είναι να βρεθεί η ελάχιστη τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης του πρανούς.

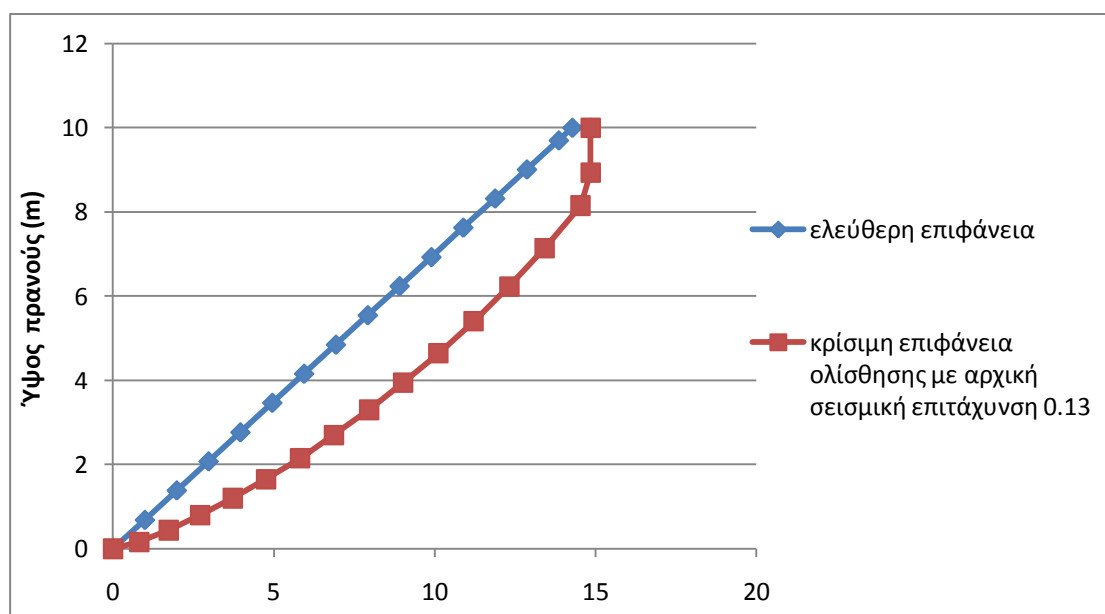
- **Παράδειγμα 32**

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 30^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.115$
- Γωνία πρανούς $\beta = 35^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 10 \text{ m}$
- Βήμα 0.99

Πίνακας Π. 10: Αποτελέσματα παραδείγματος 32

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	0.00	0.00	0.00	0.00							
1	11.0	19.0	0.99	0.69	0.81	0.16	0.00	4.37	6.32	5.36	7.75
2	17.0	15.0	1.98	1.39	1.73	0.44	0.17	9.98	13.11	10.67	12.38
3	20.0	11.5	2.97	2.08	2.71	0.80	0.31	15.86	19.54	15.71	16.51
4	21.5	8.5	3.96	2.77	3.72	1.20	0.28	21.79	25.24	20.55	20.03
5	23.5	6.0	4.95	3.47	4.76	1.65	0.23	27.05	29.91	24.77	22.91
6	25.5	3.5	5.94	4.16	5.82	2.15	0.37	31.21	34.09	28.08	25.55
7	27.5	1.5	6.93	4.85	6.87	2.70	0.48	33.98	36.61	30.38	27.09
8	29.0	-1.0	7.92	5.55	7.96	3.30	0.38	35.48	39.33	31.71	28.91
9	31.0	-3.0	8.91	6.24	9.03	3.95	0.58	35.26	39.80	31.84	29.23
10	32.5	-5.5	9.90	6.93	10.12	4.64	0.48	33.72	40.48	30.98	29.84
11	34.5	-8.5	10.89	7.63	11.22	5.40	0.28	30.30	40.27	28.76	29.94
12	37.0	-12.0	11.88	8.32	12.32	6.23	0.46	24.89	38.40	25.06	29.07
13	39.5	-16.5	12.87	9.01	13.43	7.14	0.17	18.01	34.97	20.18	27.33
14	42.5	-23.5	13.86	9.70	14.54	8.15	0.28	9.54	29.86	13.97	24.76
15	68.0	0.0	14.85	10.00	14.85	8.93	0.00	0.14	2.02	5.42	5.37
kcend:	0.14										
14	43.0	-23.0	13.86	9.70	14.52	8.17	0.39				
15	67.0	0.0	14.85	10.00	14.85	8.95	0.39	1.55			
kcend:	0.12										



Σχήμα Π. 10: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού με γωνία $\beta = 35^\circ$ (Παράδειγμα 32)

Σε αυτό το πρανές δεν επετεύχθη σύγκλιση καθώς προέκυψε διαφορετική σεισμική επιτάχυνση για τα πρώτα και τα δυο τελευταία τμήματα του πρανούς, οι οποίες αντίστοιχα είναι 0.14 και 0.12.

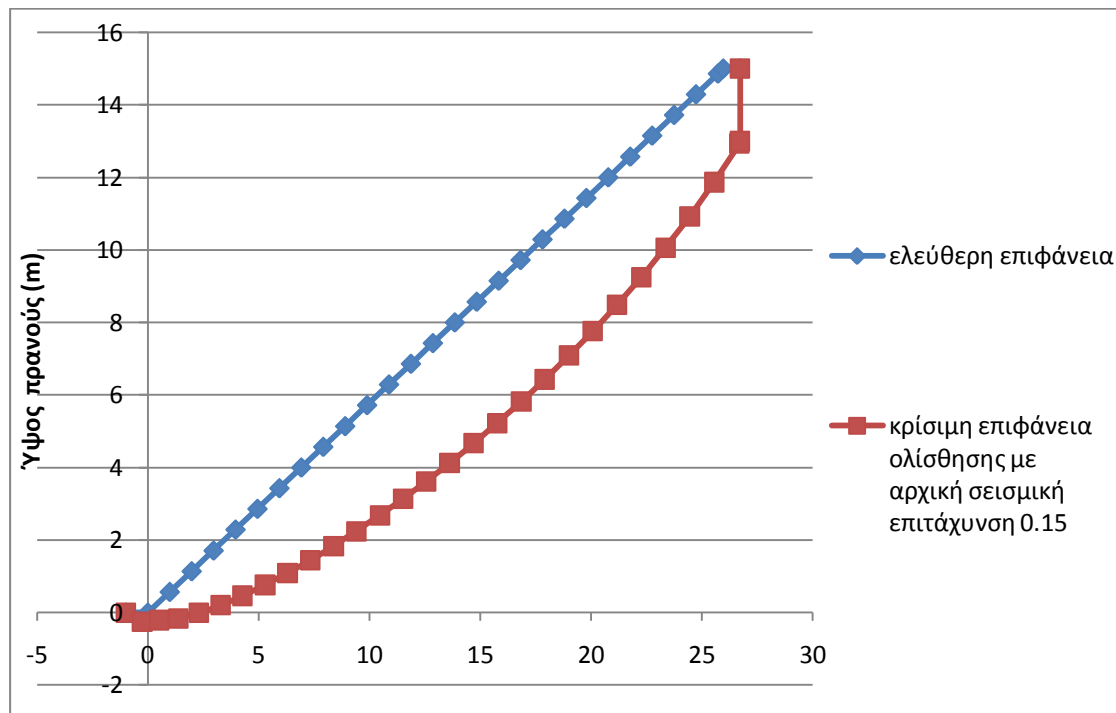
- **Παράδειγμα 33**

Τα χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 30^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.115$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς $H = 15 \text{ m}$
- Βήμα 0.99 m

Πίνακας Π. 11: Αποτελέσματα παραδείγματος 33

slice	a	delta	xs	ys	xg	yg	akriveia	E	N	X	T
0	-0.99	0.00	-0.99	0.00							
1	-18.5	45.0	0.00	0.00	-0.25	-0.25	0.08	5.26	4.37	4.79	6.43
2	2.5	31.0	0.99	0.57	0.52	-0.21	0.17	11.46	10.56	11.20	9.93
3	3.5	24.5	1.98	1.14	1.39	-0.16	0.20	21.85	20.47	19.79	16.16
4	9.0	20.5	2.97	1.71	2.32	-0.01	0.25	32.77	27.69	28.14	20.74
5	12.5	17.5	3.96	2.29	3.30	0.20	0.61	43.42	34.45	35.99	24.91
6	14.5	15.5	4.95	2.86	4.28	0.46	0.33	53.96	39.25	43.61	27.73
7	16.5	13.5	5.94	3.43	5.30	0.76	0.51	63.87	45.07	50.61	31.31
8	18.0	12.0	6.93	4.00	6.31	1.09	0.59	73.02	48.83	57.06	33.51
9	19.0	10.5	7.92	4.57	7.34	1.44	0.39	81.72	52.95	63.11	36.01
10	20.5	9.0	8.91	5.14	8.39	1.83	0.79	88.97	56.97	68.13	38.48
11	21.5	8.0	9.90	5.72	9.41	2.24	0.89	95.40	58.18	72.65	39.10
12	22.5	6.5	10.89	6.29	10.48	2.68	1.11	100.69	62.78	76.29	42.03
13	23.5	5.5	11.88	6.86	11.52	3.13	0.74	104.70	62.96	79.17	42.04
14	25.0	4.5	12.87	7.43	12.57	3.62	1.21	107.08	64.81	80.93	43.21
15	25.5	3.5	13.86	8.00	13.62	4.12	1.37	108.91	65.84	82.31	43.84
16	26.5	2.0	14.85	8.57	14.71	4.67	1.19	108.86	68.97	82.39	45.92
17	27.5	1.0	15.84	9.15	15.77	5.22	0.61	107.34	66.86	81.61	44.56
18	29.0	-0.5	16.83	9.72	16.86	5.82	1.43	103.58	68.85	79.27	45.99
19	30.0	-1.5	17.82	10.29	17.92	6.43	1.17	98.75	65.60	76.29	43.98
20	31.0	-3.0	18.81	10.86	19.01	7.09	0.18	92.66	65.96	72.39	44.42
21	32.0	-4.5	19.80	11.43	20.09	7.76	0.25	85.29	63.75	67.64	43.18
22	33.5	-6.5	20.79	12.00	21.19	8.49	1.02	75.96	62.54	61.53	42.71
23	35.0	-8.5	21.78	12.57	22.28	9.25	0.43	65.24	58.42	54.46	40.36
24	36.5	-11.0	22.77	13.15	23.37	10.06	0.35	53.51	54.55	46.61	38.29
25	38.5	-14.0	23.76	13.72	24.46	10.92	0.58	40.75	49.44	37.92	35.48
26	40.5	-18.5	24.75	14.29	25.56	11.87	0.68	27.34	43.95	28.55	32.64
27	43.0	-26.5	25.74	14.86	26.70	12.93	0.51	12.64	36.70	18.07	28.99
28	68.0	0.0	26.73	15.00	26.73	13.00	0.00	-0.04	-0.14	9.97	0.30
kcend:	0.16										
27	43.5	-26.0	25.74	14.86	26.68	12.95	0.58				
28	43.5	0.0	26.73	15.00	26.73	13.00	0.58	1.25			
kcend:	0.14										



Σχήμα Π. 11: Ελεύθερη επιφάνεια και κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης του πρανού με γωνία $\beta = 30^\circ$ (Παράδειγμα 33)

Ούτε σε αυτό το πρανές επετεύχθη σύγκλιση αφού προέκυψε διαφορετική σεισμική επιτάχυνση για τα πρώτα και τα δυο τελευταία τμήματα του πρανού και είναι ίση με 0.16 για τα πρώτα τμήματα και 0.14 για τα δυο τελευταία.

2. Αποτελέσματα για τα άοπλα πρανή με τη μέθοδο Sarma – Hoek

• Παράδειγμα 1

Στο πρώτο παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανού $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανού 15 m
- Βήμα 1.0 m

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
coordinate yt	0.00	0.67	1.35	2.02	2.70	3.37
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	0.00	0.78	1.66	2.60	3.56	4.55
coordinate yb	0.00	0.16	0.42	0.74	1.10	1.49
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses		5.93	12.13	17.48	22.27	26.73
side stresses	0.00	5.49	7.59	9.59	11.11	12.65
Acceleration Kc =		0.1798		Factor of safety =		1.38

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view

Εικόνα Π. 1: Αποτελέσματα παραδείγματος 1

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται η κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση και ο συντελεστής ασφαλείας με βάση το λογισμικό Sarma – Hoek. Ο συντελεστής ασφαλείας που φαίνεται δεν είναι ο σωστός για το συγκεκριμένο πρανές αφού όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο συντελεστής που υπολογίζεται από αυτό το λογισμικό αφορά φράγματα. Ο σωστός συντελεστής ασφαλείας όπως αυτός υπολογίστηκε από την Εξίσωση 1.1 με τη χρήση της Εξίσωσης 1.2 και είναι ίσος με $F = 1.39$. Γενικά, η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης που παρουσιάζεται στις εικόνες των αποτελεσμάτων των παραδειγμάτων είναι η σωστή, ενώ οι σωστές τιμές των συντελεστών ασφαλείας είναι εκείνες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.23.

Τα παραδείγματα 2, 3, 4 και 5 διαφέρουν από το παράδειγμα 1 ως προς την αρχική σεισμική επιτάχυνση που δόθηκε για να γίνει η ανάλυση με βάση τη μέθοδο Sarma – Tan. Επειδή όμως όπως διαπιστώθηκε παραπάνω η επιλογή της αρχικής σεισμικής επιτάχυνσης που εφαρμόζεται στο πρανές δεν επηρεάζει την κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση του πρανούς, για όλα αυτά τα παραδείγματα προέκυψε η ίδια τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης με βάση τη μέθοδο Sarma – Tan, που είναι ίση με 0.18, έτσι και με τη μέθοδο Sarma – Hoek προέκυψε η ίδια τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης, η οποία είναι ίση με 0.18. Για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για τα παραδείγματα 2, 3, 4 και 5, αφού είναι όμοια με τα αποτελέσματα του παραδείγματος 1.

• **Παράδειγμα 6**

Στο αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 30^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1 m

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
coordinate yt	0.00	0.67	1.35	2.02	2.70	3.37
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	0.00	0.80	1.71	2.67	3.66	4.68
coordinate yb	0.00	0.13	0.39	0.70	1.05	1.44
friction angle		30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses		7.21	13.43	19.35	24.69	29.29
side stresses	0.00	6.90	9.36	11.62	13.54	15.37
Acceleration Kc =		0.0910		Factor of safety =		1.18

Εικόνα Π. 2: Αποτελέσματα παραδείγματος 6



Εικόνα Π. 3: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 6)

• **Παράδειγμα 7**

Το πρανές που μελετάται σε αυτό το παράδειγμα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 30^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 0.5 m

C:\SARMA_~1\SARMA.EXE						
Analysis no. 1						
Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
coordinate yt	0.00	0.34	0.67	1.01	1.35	1.69
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	0.00	0.37	0.77	1.21	1.65	2.12
coordinate yb	0.00	0.06	0.16	0.27	0.40	0.54
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses	4.45	7.40	11.15	14.11	17.39	
side stresses	0.00	4.07	5.10	6.48	7.39	8.56
Acceleration Kc = 0.1880		Factor of safety = 1.41				
Negative effective normal stresses		- solution unacceptable				
1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view						

Εικόνα Π. 4: Αποτελέσματα παραδείγματος 7



Εικόνα Π. 5: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 7)

• Παράδειγμα 8

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 30^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$

- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 2.0 m

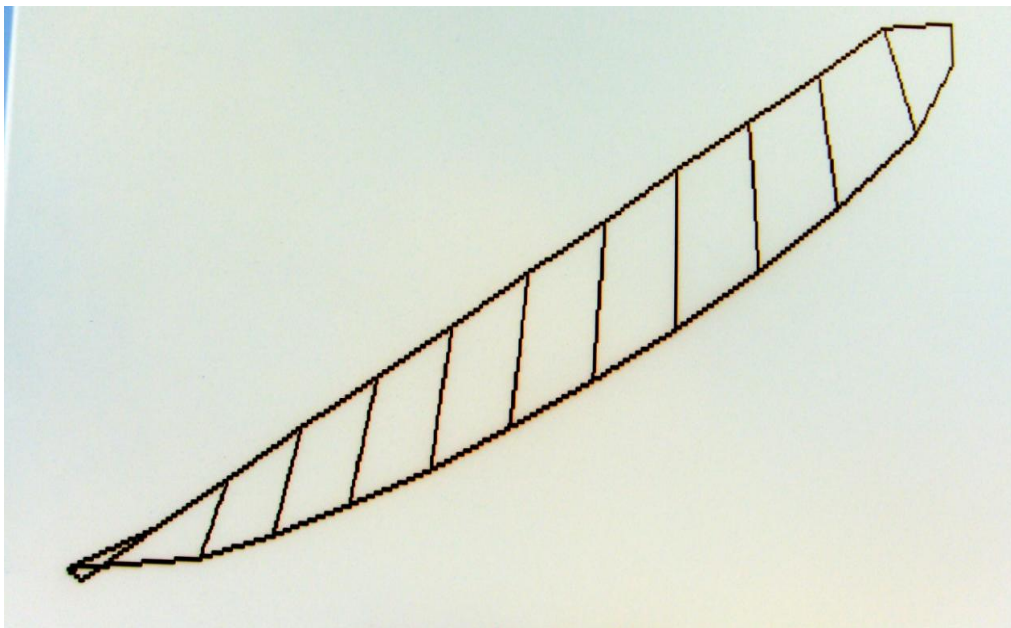
```

C:\SARMA_~1\SARMA.EXE
Analysis no. 1
Side number      1      2      3      4      5      6
coordinate xt    0.00    2.00    4.00    6.00    8.00   10.00
coordinate yt    0.00    1.35    2.70    4.05    5.40    6.75
coordinate xw
coordinate yw
coordinate xb    0.00   -0.43    3.25    5.26    7.33    9.45
coordinate yb    0.00    0.22    0.64    1.27    2.11    3.07
friction angle   35.00   35.00   35.00   35.00   35.00   35.00
cohesion         5.00    5.00    5.00    5.00    5.00    5.00
unit weight of water = 0
Slice number     1      2      3      4      5
rock unit weight 20.00   20.00   20.00   20.00   20.00
friction angle   35.00   35.00   35.00   35.00   35.00
cohesion         5.00    5.00    5.00    5.00    5.00
force I          0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
angle theta
base stresses   -1.68   15.52   38.65   45.99   52.11
side stresses   0.00   -4.02   12.89   16.70   18.92   20.50

Acceleration Kc = 0.1878      Factor of safety = 1.40
Negative effective normal stresses - solution unacceptable

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view
    
```

Εικόνα Π. 6: Αποτελέσματα παραδείγματος 8



Εικόνα Π. 7: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 8)

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα διαπιστώνεται ότι παρουσιάζεται μια ανομοιομορφία στα πρώτα τμήματα του πρανού. Οι συντεταγμένες της ελεύθερης επιφάνειας και της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης του πρανού προέκυψαν από το

λογισμικό Sarma – Tan. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.1.1.4, όπου μελετάται το πόσο επηρεάζει η επιλογή του βήματος με το οποίο δημιουργείται η ελεύθερη επιφάνεια την τελική κρίσιμη επιτάχυνση, η ανομοιομορφία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ το πρώτο σημείο της επιφάνειας ολίσθησης είναι το σημείο (0,0) το δεύτερο είναι το σημείο (-0.43,0.22). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το βήμα που επιλέχθηκε είναι πολύ μεγάλο και εκεί να οφείλεται και η μη σύγκλιση των επιταχύνσεων όλων των τμημάτων του πρανούς με τη μέθοδο Sarma – Tan. Στην προκειμένη περίπτωση παρά την ανομοιομορφία που εμφανίζεται στην επιφάνεια ολίσθησης προκύπτει ότι η τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης είναι 0.19.

• Παράδειγμα 9

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.20$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 0.99 m

The screenshot shows the output of SARMA software for Analysis no. 1. The window title is 'C:\SARMA_~1\SARMA.EXE'. The output displays coordinates for six slices, material properties, and safety factors.

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	-0.01	0.98	1.97	2.96	3.95
coordinate yt	0.00	0.00	0.66	1.33	2.00	2.66
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.21	0.54	1.42	2.37	3.38
coordinate yb	0.00	-0.20	-0.10	0.03	0.27	0.60
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water	= 0					
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses		2.85	10.07	18.98	25.20	29.87
side stresses	0.00	12.08	7.92	9.83	11.51	13.01
Acceleration Kc =		0.2472		Factor of safety =		1.52

At the bottom of the window, there is a menu bar with options: 1 print, 2 calculate, 3 fos vs K, 4 drain, 5 file, 6 restart, 7 quit, 8 view.

Εικόνα Π. 8: Αποτελέσματα παραδείγματος 9

• **Παράδειγμα 10**

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 20 m
- Βήμα 0.99 m

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	-0.01	0.98	1.97	2.96	3.95
coordinate yt	0.00	0.00	0.66	1.33	2.00	2.66
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.22	0.52	1.36	2.30	3.25
coordinate yb	0.00	-0.21	-0.12	-0.01	0.22	0.50
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses		3.49	11.12	20.59	26.31	32.13
side stresses	0.00	13.46	9.29	11.40	13.74	15.70
Acceleration Kc =		0.1543		Factor of safety =		1.32

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view

Εικόνα Π. 9: Αποτελέσματα παραδείγματος 10



Εικόνα Π. 10: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 10)

• **Παράδειγμα 11**

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 20 m
- Βήμα 1.5 m

C:\ISARMA_~1\ISARMA.EXE

Analysis no. 1

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.50	2.00	3.50	5.00	6.50
coordinate yt	0.00	0.34	1.35	2.36	3.37	4.38
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	0.12	1.44	2.84	4.32	5.82
coordinate yb	0.00	-0.19	0.12	0.49	0.99	1.57
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						

Slice number	1	2	3	4	5
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
angle theta					
base stresses	7.98	15.12	25.92	33.51	39.89
side stresses	0.00	12.30	12.48	15.03	17.53

Acceleration Kc = 0.1554 Factor of safety = 1.33

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view

Εικόνα Π. 11: Αποτελέσματα παραδείγματος 11



Εικόνα Π. 12: σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανού με γωνία $\beta = 34^\circ$ (Παράδειγμα 11)

• Παράδειγμα 13

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$

- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 40^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.0 m

C:\SARMA_-1\SARMA.EXE

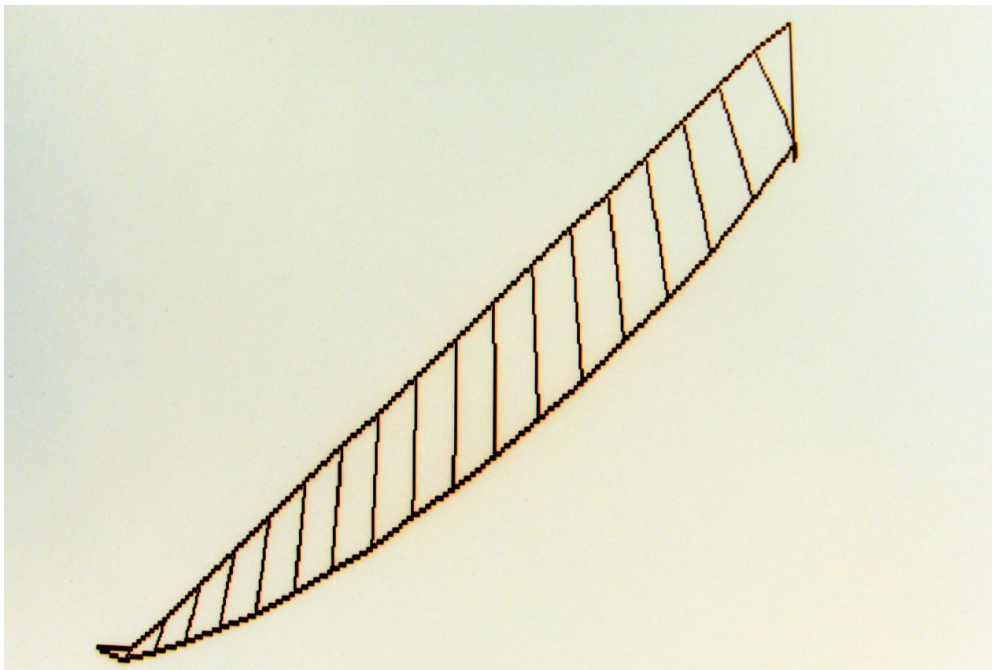
Analysis no. 1

	1	2	3	4	5	6
Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
coordinate yt	0.00	0.00	0.84	1.68	2.52	3.36
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.17	0.61	1.54	2.53	3.57
coordinate yb	0.00	-0.20	-0.02	0.20	0.58	1.03
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses	3.85	12.12	22.43	27.28	32.97	
side stresses	0.00	18.09	10.25	12.63	14.31	16.09

Acceleration Kc = 0.1031 Factor of safety = 1.19
 Negative effective normal stresses solution unacceptable

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view

Εικόνα Π. 13: Αποτελέσματα παραδείγματος 13



Εικόνα Π. 14: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 40^\circ$ (Παράδειγμα 13)

Η ανομοιομορφία που παρατηρείται στα τελευταία τμήματα του πρανού πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη μέθοδο Sarma – Tan δεν προέκυψε ενιαία τιμή της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης σε όλα τα τμήματα του πρανού με αποτέλεσμα τα δυο τελευταία να έχουν διαφορετική κρίσιμη σεισμική επιτάχυνση από τα αρχικά.

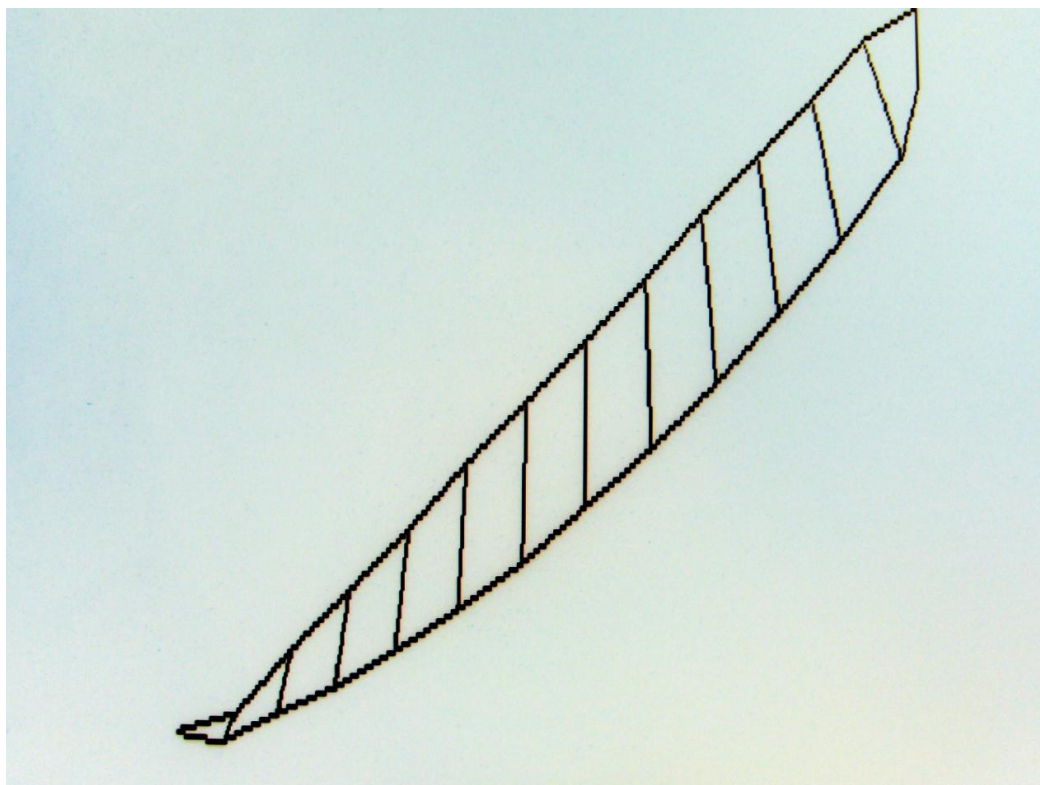
• **Παράδειγμα 14**

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανού $\beta = 40^\circ$
- Ύψος πρανού 15 m
- Βήμα 1.5 m

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.50	2.00	3.50	5.00	6.50	
coordinate yt	0.42	1.68	2.94	4.20	5.45	
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	0.17	1.57	3.07	4.65	6.25
coordinate yb	0.00	-0.13	0.35	0.93	1.70	2.56
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses	8.78	15.92	27.00	33.59	39.45	
side stresses	0.00	14.35	13.58	15.80	17.67	19.03
Acceleration Kc =		0.1063		Factor of safety =		1.19

Εικόνα Π. 15: Αποτελέσματα παραδείγματος 14



Εικόνα Π. 16: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 40^\circ$ (Παράδειγμα 14)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το παράδειγμα 14 και αυτών που προέκυψαν για το παράδειγμα 13 διαπιστώνεται ότι με την αύξηση του βήματος για το συγκεκριμένο πρανές σημειώθηκε και μικρή αύξηση της κρίσιμης σεισμικής επιτάχυνσης και συνεπώς και του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς, δηλαδή το πρανές παρουσιάζει αυξημένη ευστάθεια. Επίσης, παρατηρείται ότι πλέον δεν εμφανίζεται ανομοιομορφία σε κανένα τμήμα του πρανούς και η επιφάνεια ολίσθησης παρουσιάζει ικανοποιητική γεωμετρία. Η καλή γεωμετρία της επιφάνειας ολίσθησης οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης από το λογισμικό Sarma – Tan προέκυψε ενιαία τιμή της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης για όλο το πρανές.

- **Παράδειγμα 20**

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 20^\circ$

- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.18$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 1.0 m

C:\SARMA_~1\SARMA.EXE

Analysis no. 1

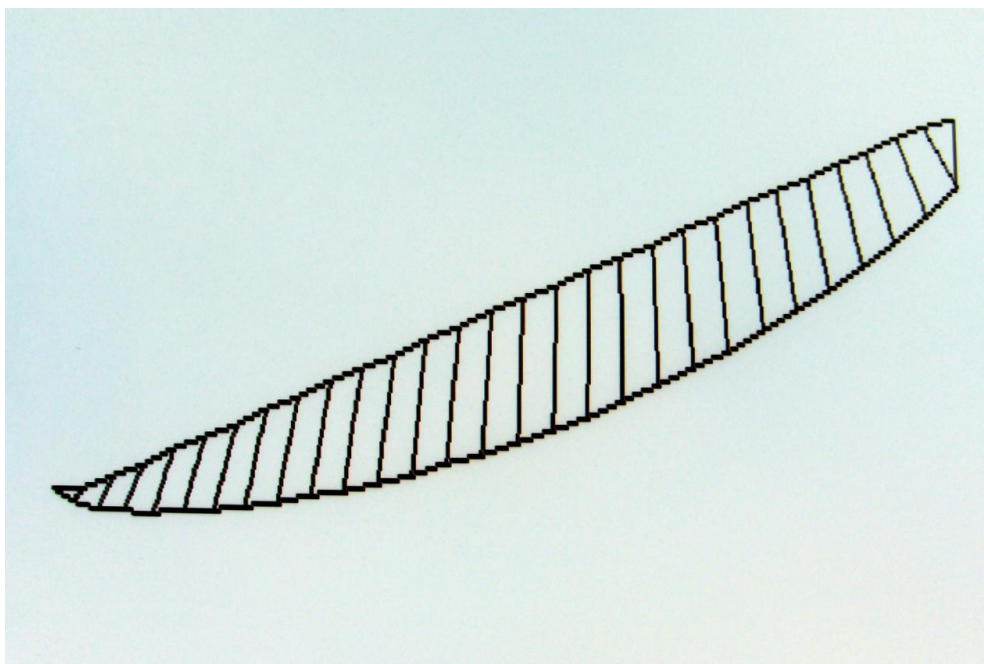
Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
coordinate yt	0.00	0.00	0.36	0.73	1.09	1.46
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.32	0.48	1.36	2.30	3.28
coordinate yb	0.00	-0.32	-0.44	-0.53	-0.55	-0.53
friction angle		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						

Slice number	1	2	3	4	5
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
friction angle	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
angle theta					
base stresses	5.20	12.93	21.72	28.76	35.36
side stresses	0.00	9.45	10.71	13.58	16.31

Acceleration $K_c = 0.1416$ Factor of safety = 1.46
 Negative effective normal stresses - solution unacceptable

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view

Εικόνα Π. 17: Αποτελέσματα παραδείγματος 20



Εικόνα Π. 18: σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ (Παράδειγμα 20)

• **Παράδειγμα 21**

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 1.0 m

Analysis no. 1

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt		0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
coordinate yt	0.00	0.00	0.36	0.73	1.09	1.46
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.32	0.48	1.36	2.30	3.28
coordinate yb	0.00	-0.32	-0.44	-0.53	-0.55	-0.53
friction angle		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses	5.20	12.93	21.72	28.76	35.36	
side stresses	0.00	9.45	10.71	13.58	16.31	18.81
Acceleration Kc = 0.1416		Factor of safety = 1.46				
Negative effective normal stresses - solution unacceptable						

Εικόνα Π. 19: Αποτελέσματα παραδείγματος 21



Εικόνα Π. 20: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ (Παράδειγμα 21)

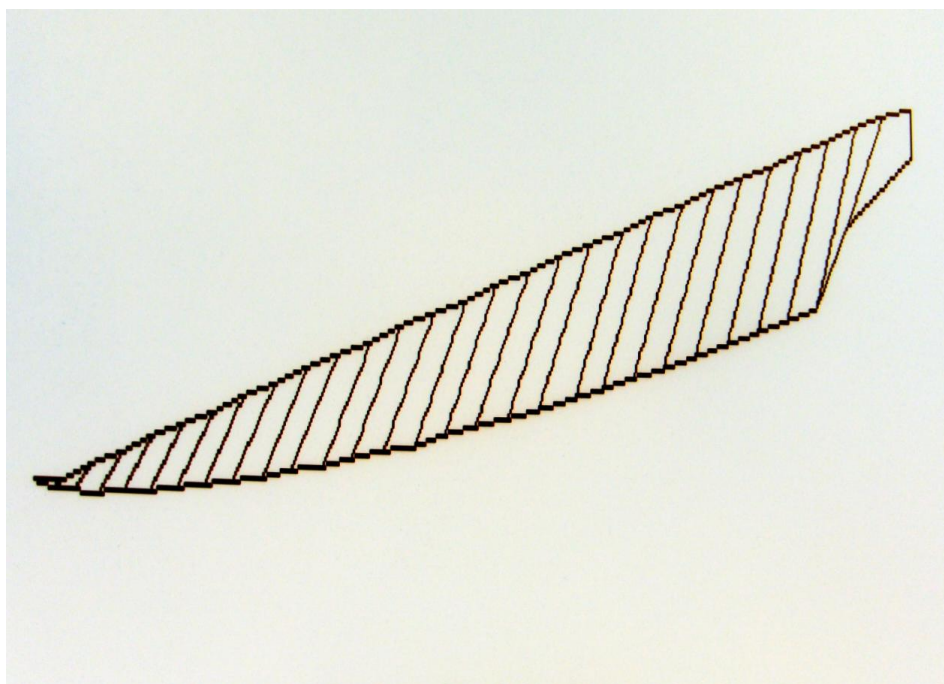
• **Παράδειγμα 22**

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 1.0 m

C:\SARMA_~1\SARMA.EXE						
Analysis no. 1						
Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
coordinate yt	0.00	0.00	0.36	0.73	1.09	1.46
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.30	0.42	1.21	2.06	2.93
coordinate yb	0.00	-0.23	-0.28	-0.32	-0.31	-0.25
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses	2.61	8.36	15.54	21.77	27.02	
side stresses	0.00	5.75	5.62	7.27	8.93	10.13
Acceleration Kc =	0.4738		Factor of safety = 2.91			
1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view						

Εικόνα Π. 21: Αποτελέσματα παραδείγματος 22



Εικόνα Π. 22: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ (Παράδειγμα 22)

• Παράδειγμα 23

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 20^\circ$

- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.24$
- Γωνία πρανούς $\beta = 20^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 2.74 m

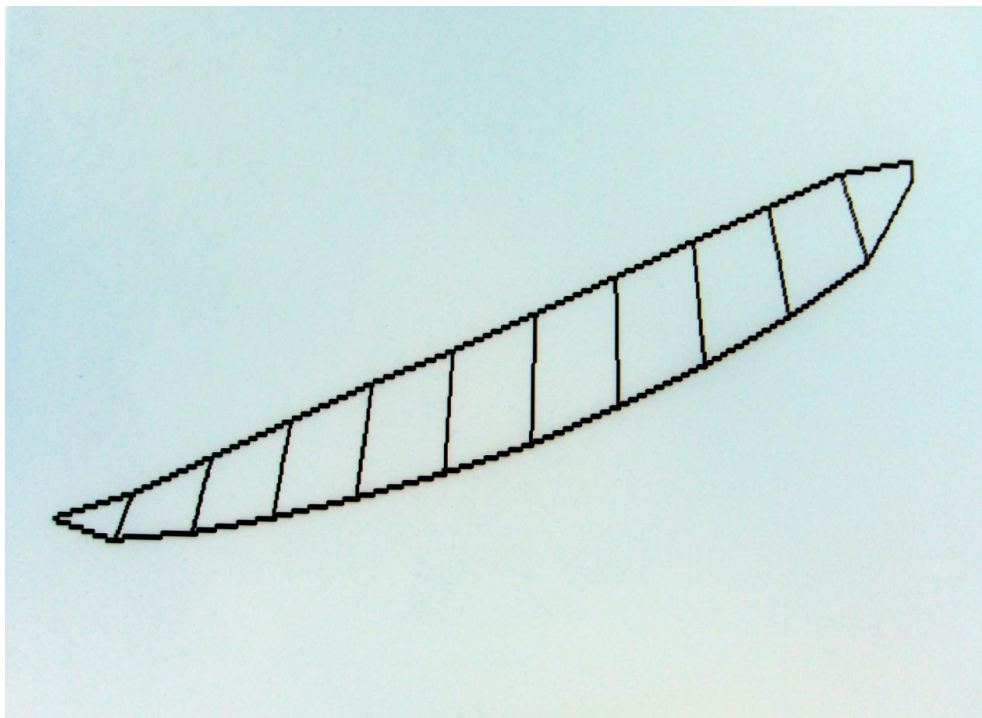
```

C:\SARMA_~1\SARMA.EXE
Analysis no. 1
Side number      1      2      3      4      5      6
coordinate xt    1.74    4.48    7.22    9.96   12.70
coordinate yt    0.63    1.63    2.63    3.63    4.62
coordinate xw
coordinate yw
coordinate xb    -1.00    1.11    3.79    6.58    9.46   12.38
coordinate yb    0.00    -0.53   -0.32    0.08    0.61    1.28
friction angle   20.00    20.00    20.00    20.00    20.00    20.00
cohesion         5.00     5.00     5.00     5.00     5.00     5.00
unit weight of water = 0
Slice number     1      2      3      4      5
rock unit weight 20.00    20.00    20.00    20.00    20.00
friction angle   20.00    20.00    20.00    20.00    20.00
cohesion         5.00     5.00     5.00     5.00     5.00
force T          0.00     0.00     0.00     0.00     0.00
angle theta
base stresses    14.30    29.05    41.43    51.25    58.25
side stresses    0.00     15.22    19.79    23.44    26.37    28.15

Acceleration Kc = 0.1481      Factor of safety = 1.48

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view
    
```

Εικόνα Π. 23: Αποτελέσματα παραδείγματος 23



Εικόνα Π. 24: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 20^\circ$ (Παράδειγμα 23)

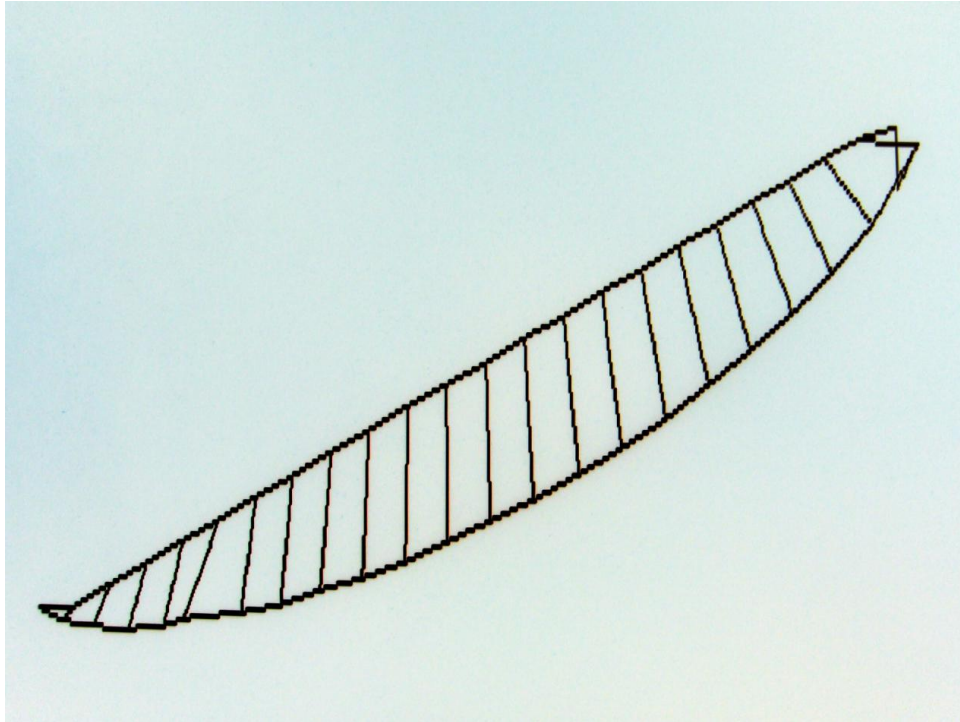
• **Παράδειγμα 24**

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 20^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 1.0 m

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
coordinate yt	0.00	0.00	0.47	0.93	1.40	1.87
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.30	0.53	1.47	2.47	3.00
coordinate yb	0.00	-0.32	-0.38	-0.42	-0.35	-0.22
friction angle		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses	5.84	14.06	23.92	30.75	35.33	
side stresses	0.00	11.63	12.02	15.49	18.20	15.09
Acceleration Kc =		0.0786		Factor of safety =		1.20

Εικόνα Π. 25: Αποτελέσματα παραδείγματος 24



Εικόνα Π. 26: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$ (Παράδειγμα 24)

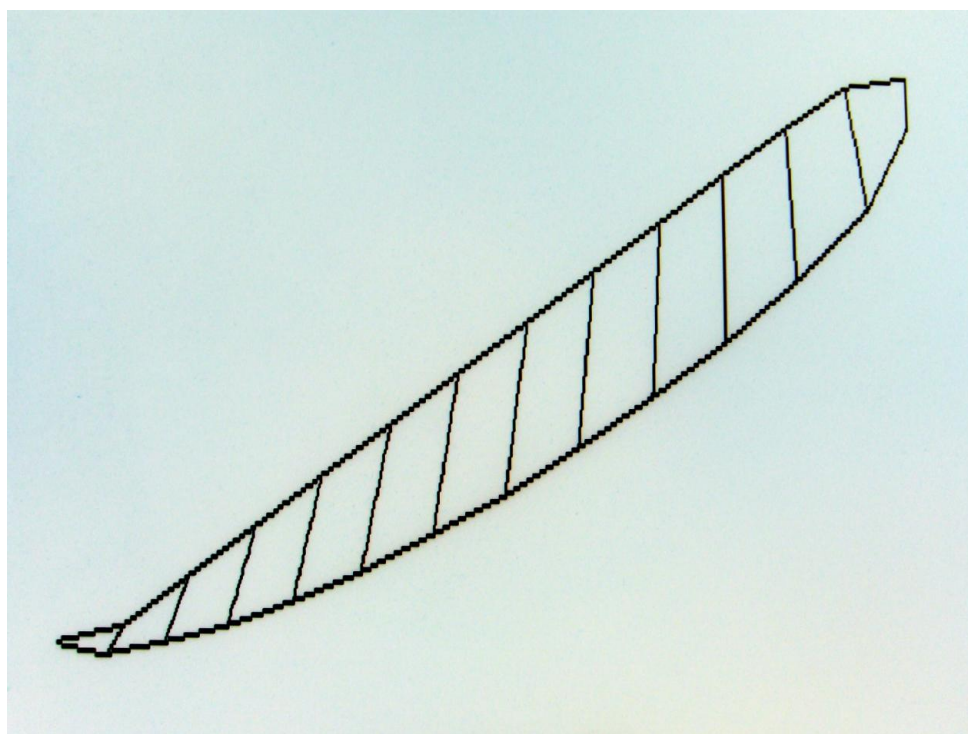
- **Παράδειγμα 25**

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 1.5 m

C:\SARMA_~1\SARMA.EXE						
Analysis no. 1						
Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.50	2.00	3.50	5.00	6.50
coordinate yt	0.00	0.29	1.15	2.02	2.89	3.75
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	0.11	1.42	2.81	4.30	5.83
coordinate yb	0.00	-0.20	0.04	0.32	0.75	1.26
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses		6.25	13.35	23.59	30.45	36.31
side stresses	0.00	9.45	9.81	11.86	13.57	14.92
Acceleration Kc =	0.2968		Factor of safety = 1.72			
1 print 2 calculate 3 fos vs R 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view						

Εικόνα Π. 27: Αποτελέσματα παραδείγματος 25



Εικόνα Π. 28: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$ (Παράδειγμα 25)

• **Παράδειγμα 26**

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 1.0 m

C:\SARMA_~1\SARMA.EXE

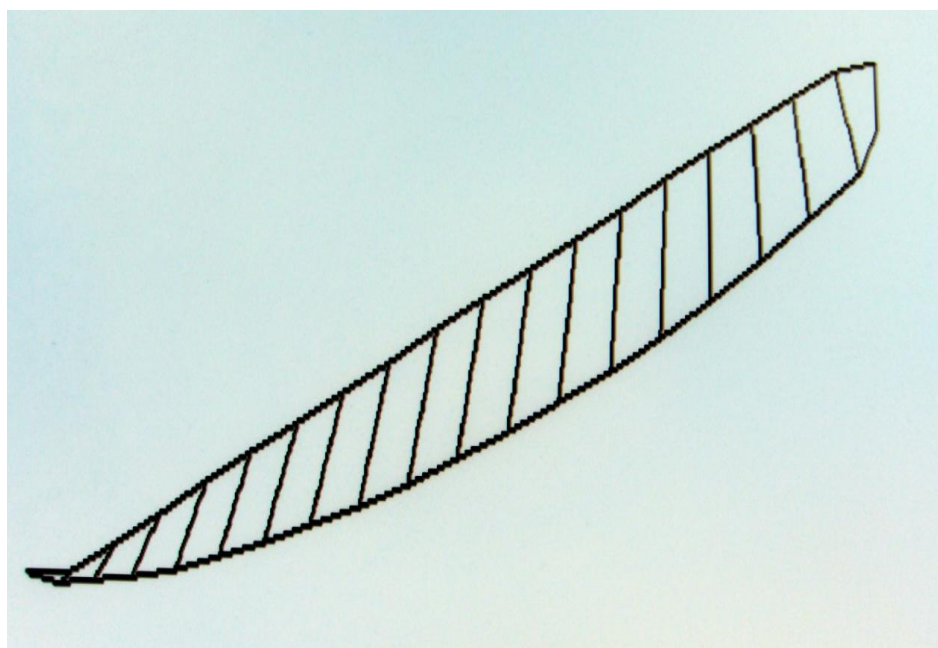
Analysis no. 1

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00
coordinate yt	0.00	0.00	0.58	1.15	1.73	2.31
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	-0.23	0.52	1.37	2.30	3.28
coordinate yb	0.00	-0.21	-0.15	-0.08	0.09	0.34
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
angle theta						
base stresses		2.78	9.56	18.21	24.28	29.09
side stresses	0.00	9.96	7.37	9.32	11.11	12.57

Acceleration $K_c = 0.2939$ Factor of safety = 1.71

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view

Εικόνα Π. 29: Αποτελέσματα παραδείγματος 26



Εικόνα Π. 30: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανού με γωνία $\beta = 30^\circ$ (Παράδειγμα 26)

• **Παράδειγμα 27**

Το πρανές αυτού του παραδείγματος έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 0.5 m

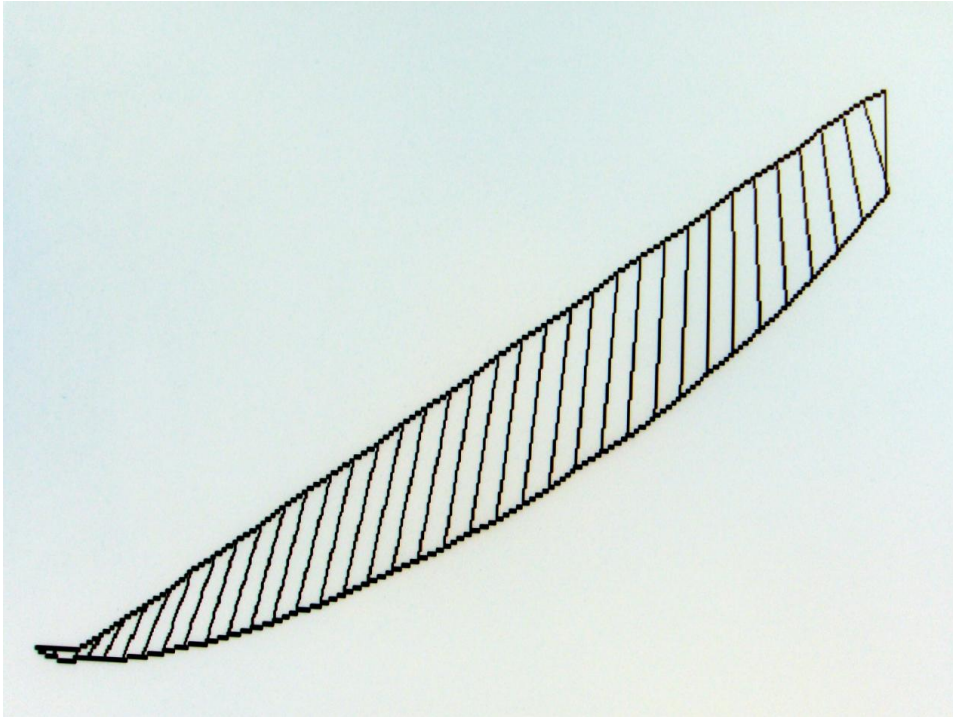
```

Analysis no. 1
Side number      1      2      3      4      5      6
coordinate xt    -0.50  0.00  0.50  1.00  1.50
coordinate yt    0.00  0.00  0.29  0.58  0.87
coordinate xw
coordinate yw
coordinate xb    -1.00  -0.61  -0.18  0.15  0.54  0.95
coordinate yb    0.00  -0.10  -0.16  -0.14  -0.12  -0.10
friction angle   35.00  35.00  35.00  35.00  35.00  35.00
cohesion         5.00  5.00  5.00  5.00  5.00  5.00
unit weight of water = 0
Slice number     1      2      3      4      5
rock unit weight 20.00  20.00  20.00  20.00  20.00
friction angle   35.00  35.00  35.00  35.00  35.00
cohesion         5.00  5.00  5.00  5.00  5.00
force I         0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
angle theta
base stresses    1.47  2.15  7.32  11.25  16.20
side stresses    0.00  8.26  11.77  7.07  7.23  8.13

Acceleration Kc = 0.2937      Factor of safety = 1.71
Negative effective normal stresses - solution unacceptable

1 print 2 calculate 3 fos vs K 4 drain 5 file 6 restart 7 quit 8 view
    
```

Εικόνα Π. 31: Αποτελέσματα παραδείγματος 27



Εικόνα Π. 32: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του πρανούς με γωνία $\beta=30^\circ$ (Παράδειγμα 27)

3. Αποτελέσματα για τα οπλισμένα πρανή με τη μέθοδο Sarma – Hoek

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται επιλεκτικά κάποια παραδείγματα από τα οπλισμένα πρανή που μελετήθηκαν με τη μέθοδο Sarma – Hoek.

• Παράδειγμα 1

Στο πρώτο παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.04$
- Γωνία πρανούς $\beta = 34^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.0 m
- Απαιτούμενος οπλισμός $T_{\text{imax}} = 5 \text{ kN/m}$
- Αριθμός στρώσεων $n = 23$

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	
coordinate yt	0.00	0.67	1.35	2.02	2.70	3.37
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	0.00	0.78	1.66	2.60	3.56	4.55
coordinate yb	0.00	0.16	0.42	0.74	1.10	1.49
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
Slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force I	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
angle theta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
base stresses	5.25	12.22	18.03	23.08	27.77	
side stresses	0.00	12.33	14.63	16.67	18.04	19.33
Acceleration Kc =		0.2931		Factor of safety =		1.75

Εικόνα Π. 33: Αποτελέσματα για το οπλισμένο πρανές του παραδείγματος 1



Εικόνα Π. 34: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων οπλισμένου πρανούς με γωνία $\beta = 34^\circ$, οπλισμό 5 kN/m και 23 στρώσεις οπλισμού (Παράδειγμα 1)

• **Παράδειγμα 14**

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

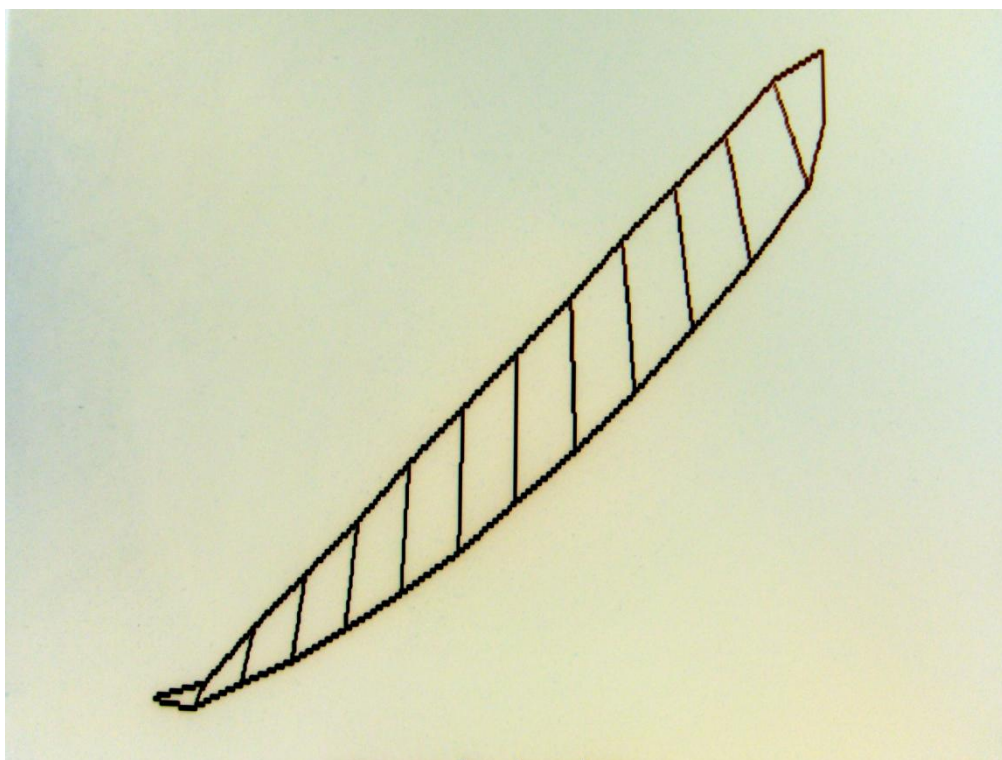
- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\varphi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.12$
- Γωνία πρανούς $\beta = 40^\circ$
- Ύψος πρανούς 15 m
- Βήμα 1.5 m
- Απαιτούμενος οπλισμός $T_{\text{imax}} = 8 \text{ kN/m}$
- Αριθμός στρώσεων $n = 13$

analysis no. 1

side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.50	2.00	3.50	5.00	6.50
coordinate yt	0.00	0.42	1.68	2.94	4.20	5.45
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	0.17	1.57	3.07	4.65	6.25
coordinate yb	0.00	-0.13	0.35	0.93	1.70	2.56
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
slice number	1	2	3	4	5	
back unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
angle theta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
base stresses	7.10	16.87	28.13	35.13	41.18	
side stresses	0.00	22.30	20.56	22.00	23.29	24.00

Acceleration $K_c = 0.2110$ Factor of safety = 1.44

Εικόνα Π. 35: Αποτελέσματα παραδείγματος 14



Εικόνα Π. 36: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του οπλισμένου πρανού με γωνία $\beta = 40^\circ$, οπλισμό 8 kN/m και 13 στρώσεις οπλισμού (Παράδειγμα 14)

• **Παράδειγμα 25**

Σε αυτό το παράδειγμα μελετάται πρανές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Γωνία τριβής $\phi = 35^\circ$
- Συνοχή $c = 5 \text{ kPa}$
- Αρχική σεισμική επιτάχυνση $k_c = 0.30$
- Γωνία πρανούς $\beta = 30^\circ$
- Ύψος πρανούς 10 m
- Βήμα 1.5 m
- Απαιτούμενος οπλισμός $T_{\text{imax}} = 8 \text{ kN/m}$
- Αριθμός στρώσεων $n = 13$

Side number	1	2	3	4	5	6
coordinate xt	0.00	0.50	2.00	3.50	5.00	6.50
coordinate yt	0.00	0.29	1.15	2.02	2.89	3.75
coordinate xw						
coordinate yw						
coordinate xb	-1.00	0.11	1.42	2.81	4.30	5.83
coordinate yb	0.00	-0.20	0.04	0.32	0.75	1.26
friction angle		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
cohesion		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
unit weight of water = 0						
slice number	1	2	3	4	5	
rock unit weight	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
friction angle	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	
cohesion	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
force T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
angle theta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
base stresses	2.98	12.91	23.67	31.32	37.63	
side stresses	0.00	18.32	18.16	19.39	20.51	21.20
Acceleration $k_c = 0.4271$		Factor of safety = 2.40				

Εικόνα Π. 37: Αποτελέσματα παραδείγματος 25



Εικόνα Π. 38: Σχηματική απεικόνιση ελεύθερης επιφάνειας, κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και τμημάτων του οπλισμένου πρανούς με γωνία $\beta = 30^\circ$, οπλισμό 8 kN/m και 13 στρώσεις οπλισμού (Παράδειγμα 25)