



ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

**ΕΚΘΕΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ ΚΑΙ
ΠΡΑΓΜΑΤΟΓΝΩΜΟΣΥΝΗΣ ΕΠΙ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ
ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΗΣ
ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ
ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΝΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
(ΟΙΚΙΣΜΟΣ CYBARCO)**

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ,

Αναπληρωτής Καθηγητής Τεχνικής Γεωλογίας - Γεωτεχνικής Μηχανικής ΕΜΠ
PhD, MSc Γεωλόγος – Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ: ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΤΣΑΓΓΑΡΑΤΟΣ,
PhD Μηχανικός Μεταλλείων - Μεταλλουργός,
ΕΔΙΠ – ΕΜΠ

ΠΛΟΥΤΑΡΧΟΣ ΤΖΑΜΠΟΓΛΟΥ,
PhD, MSc Μηχανικός Μεταλλείων - Μεταλλουργός
ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Δεκέμβριος 2019



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	7
1.2. ΑΞΙΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΩΝ	8
1.3. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	9
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ.....	10
2.1. Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ - ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	10
2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ.....	11
3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ	19
3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	19
3.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΛΑΣΕΩΝ - ΣΤΑΔΙΟ Α΄.....	20
3.1.2 ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ - ΣΤΑΔΙΟ Α΄	22
3.1.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ - ΣΤΑΔΙΟ Β΄	24
3.1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΣΤΑΔΙΟ Γ΄	24
3.1.5 ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΧΑΡΤΟΥ - ΣΤΑΔΙΟ Δ΄	26
3.2. ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	26
3.3. ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	34
4. ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ.....	39
4.1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ	39
4.1.1. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	39
4.1.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ HEARN ET AL. (2018)	42
4.1.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ Κ. (ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015).....	42
4.1.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΗ Κ.Α. (2014).....	43
4.1.5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΤΑΛΑΡ & DAS (2009).....	44
4.2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ.....	44
4.3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ	48



4.3.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	48
4.3.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑΣ (NPA SATELLITE MAPPING -CGG GECONSULTING, 2018)	61
4.3.3. ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ ΚΑΙ ΖΗΜΙΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ	68
5. ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΙΜΝΩΝ	74
5.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ A-A'	74
5.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	77
5.3. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	77
5.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ.....	78
6. ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΝΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΟΙΚΙΣΜΟΣ CYBARCO)	82
6.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ A-A'	82
6.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	83
6.3. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	85
6.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ.....	85
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	99
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA RM 15MAX.....	100
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA RM 5MIN	120
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA HILL 30MAX.....	134
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA HILL M12MIN.....	142
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI BB HILL M12MIN	148
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI DD HILL 12MIN	156

ΕΙΚΟΝΕΣ

<i>Εικόνα 1. Η περιοχή έρευνας. Επισημαίνεται η θέση του παραδοσιακού οικισμού Πισσουρίου, η περιοχή Λιμνών και ο οικισμός Cybarco.</i>	<i>11</i>
<i>Εικόνα 2. Λιθοστρωματογραφικές ενότητες της λεκάνης του Πισσουρίου (Stow et al, 1995). .</i>	<i>12</i>
<i>Εικόνα 3. Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης του Πισσουρίου (Stow et al, 1995).</i>	<i>13</i>
<i>Εικόνα 4. Αδροκρυσταλλικός γύψος των εβαποριτών του Πισσουρίου.</i>	<i>14</i>
<i>Εικόνα 5. Μάργες του Πισσουρίου, ανώτερος ορίζοντας. Σχεδόν ισομερής συμμετοχή μαργών και ιλιολίθων. Απουσιάζουν οι ψαμμίτες. Από το πρανές ανάντη της περιοχής των Λιμνών. ...</i>	<i>15</i>
<i>Εικόνα 6. Ψαμμίτες του Πισσουρίου που υπέρκεινται των Μαργών του Πισσουρίου. Ανάντη του οικισμού Cybarco.</i>	<i>16</i>
<i>Εικόνα 7. Σκαριφιματική γεωλογική τομή των Νεογενών σχηματισμών της λεκάνης Πισσουρίου (Stow et al, 1995).</i>	<i>17</i>
<i>Εικόνα 8. Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας στην οποία επισημαίνονται οι θέσεις πιθανών ρηγμάτων όπως αποτυπώνονται στον γεωλογικό χάρτη των Stow et al, 1995.</i>	<i>18</i>
<i>Εικόνα 9. Χάρτης απογραφής κατολισθήσεων.</i>	<i>23</i>
<i>Εικόνα 10. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της γεωλογίας.</i>	<i>27</i>
<i>Εικόνα 11. Χάρτης Χωρικής κατανομής γεωλογικών σχηματισμών.</i>	<i>28</i>
<i>Εικόνα 12. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της μορφολογικής κλίσης.</i>	<i>29</i>
<i>Εικόνα 13. Χάρτης Χωρικής κατανομής των μορφολογικών κλίσεων.</i>	<i>30</i>
<i>Εικόνα 14. Χάρτης Χωρικής κατανομής των κλάσεων που αφορούν την διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων.</i>	<i>31</i>
<i>Εικόνα 15. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων.</i>	<i>32</i>
<i>Εικόνα 16. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της απόστασης από τις τεκτονικές δομές.</i>	<i>32</i>
<i>Εικόνα 17. Χάρτης Χωρικής κατανομής κλάσεων που αφορούν την απόσταση από τεκτονικές δομές.</i>	<i>33</i>
<i>Εικόνα 18. Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Χάρτης 1).</i>	<i>35</i>
<i>Εικόνα 19. Απόσπασμα χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας στις παραλιακές περιοχές Α και Β.</i>	<i>36</i>
<i>Εικόνα 20. Απόσπασμα χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας σε περιοχές πέριξ του οικισμού Πισσουρίου και της περιοχής Λιμνών.</i>	<i>36</i>
<i>Εικόνα 21. Χάρτης των τμημάτων του οδικού δικτύου που διέρχονται από ζώνες υψηλής και πολύ υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας.</i>	<i>37</i>
<i>Εικόνα 22. Καμπύλες ικανότητας πρόβλεψης.</i>	<i>38</i>
<i>Εικόνα 23. Ζώνες κατολισθητικής επιδεκτικότητας και σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων.</i>	<i>38</i>
<i>Εικόνα 24. Χάρτης χωρικής κατανομής των γεωτεχνικών γεωτρήσεων στην περιοχή των Λιμνών. Επισημαίνονται οι θέσεις των ενεργών και κατεστραμμένων αποκλισημέτρων με πράσινα και κόκκινα σύμβολα, καθώς και οι θέσεις των γεωτεχνικών γεωτρήσεων με μπλε σύμβολα.</i>	<i>41</i>
<i>Εικόνα 25. Διακύμανση της στάθμης του επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα κατά την περίοδο 5/10/2015 έως 5/7/2016 (Χριστοφή & Ζήσιμος, 2016).</i>	<i>45</i>
<i>Εικόνα 26. Θέση στο ΝΑ τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας που εκδηλώνεται επιφανειακή ανάβλυση του υπόγειου υδροφόρου.</i>	<i>46</i>

Εικόνα 27. Χωρική κατανομή των νιτρικών στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις της περιοχής των Λιμνών (Χριστοφή & Ζήσιμος, 2016).....	47
Εικόνα 28. Επιφανειακή ανάβλυση μολυσμένων υπόγειων υδάτων - λυμάτων εντός του ρέματος που διέρχεται από τα νότια της κατολισθαίνουσας μάζας.....	47
Εικόνα 29. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2013/018 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	53
Εικόνα 30. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2013/017 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	54
Εικόνα 31. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2013/016 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	55
Εικόνα 32. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2017/018 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	56
Εικόνα 33. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2017/017 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	57
Εικόνα 34. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2018/006 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	58
Εικόνα 35. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2018/002 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	59
Εικόνα 36. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2018/008 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).	60
Εικόνα 37. Δεδομένα της περιόδου 2006 - 2010 που αναδεικνύουν τις μετακινήσεις κατά τη φορά κλίσης του πρανούς της περιοχής των Λιμνών. Οι καμπύλες ίσων μετακινήσεων διευκολύνουν την ανάγνωση της χωρικής κατανομής των παραμορφώσεων (NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018).	62
Εικόνα 38. Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων από τα δεδομένα της περιόδου 2014 - 2017 (NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018). Τα πολύγωνα B, C, D και E επισημαίνουν περιοχές ενδιαφέροντος.	63
Εικόνα 39. Κατανομή οριζόντιων μετακινήσεων από τα δεδομένα της περιόδου 2014 - 2017 (NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018). Τα πολύγωνα F, G, H και I επισημαίνουν περιοχές ενδιαφέροντος.	64
Εικόνα 40. Οι χρονοσειρές των οριζόντιων και των κατακόρυφων μετακινήσεων σε συνάρτηση με την κατανομή των κατακρημνισμάτων για τα πολύγωνα (F,G,H,I και B,C,D,E αντίστοιχα). Γραφική παράσταση από την εργασία των Hearn et. al. (2018) με προσθήκες για την ερμηνεία των δεδομένων.	65
Εικόνα 41. Χάρτης Χωρικής κατανομής των επιφανειακών διαρρήξεων στη στενή περιοχή της παλαιοκατολίσθησης από το 2013 έως το 2018.	70
Εικόνα 42. Χωρική κατανομή των επιφανειακών διαρρήξεων τον Νοέμβριο του 2019 από καταγραφή που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας πραγματογνωμοσύνης.	71
Εικόνα 43. Συγκρότημα οικιών A και μεμονωμένη οικία B που οριοθετούν μια από τις ρηχές περιστροφικές αστοχίες που αναπτύσσονται εντός της μάζας της παλαιοκατολίσθησης.	72
Εικόνα 44. Αποψη της κύριας κατακρήμνισης της κατολίσθησης που διέρχεται μπροστά από την οικία B και έχει μετατοπίσει την πισίνα.	72
Εικόνα 45. Η οικία A που έχει εκτραπεί από την κατακόρυφη θέση εξαιτίας της ανάπτυξης του ποδιού της αβαθούς κατολίσθησης κάτω από την επιφάνεια θεμελίωσής της.	72
Εικόνα 46. Χωρική κατανομή των διαρρήξεων στη στέψη του πρανούς της κύριας κατακρήμνισης.	73
Εικόνα 47. Αποψη ρωγμών σε δομικά στοιχεία του κτιρίου A της ανωτέρω εικόνας.	73

<i>Εικόνα 48. Άποψη ρωγμών σε δομικά στοιχεία του κτιρίου B της ανωτέρω εικόνας.</i>	<i>73</i>
<i>Εικόνα 49. Ο άξονας της τομής A-A' που σχεδιάστηκε για την αριθμητική προσομοίωση των κατολισθητικών κινήσεων στην περιοχή των Λιμνών.</i>	<i>74</i>
<i>Εικόνα 50. Άποψη της γεωμετρίας της τομής A-A'</i>	<i>76</i>
<i>Εικόνα 51. Μεγέθυνση επί του προφίλ του προσομοιώματος. Διακρίνονται οι επιφάνειες διάτμησης.</i>	<i>76</i>
<i>Εικόνα 52. Η κατανομή των υδροστατικών πιέσεων όπως διαμορφώνονται από την παρουσία ενιαίου υδροφόρου ορίζοντα.</i>	<i>78</i>
<i>Εικόνα 53. Η κατανομή των παραμορφώσεων στο σύνολο της παλαιοκατολίσθησης ως συνέπεια της ανόδου της στάθμης του υδροφόρου.</i>	<i>79</i>
<i>Εικόνα 54. Μεγέθυνση επί της κατανομής των παραμορφώσεων στη θέση κατάντη της κύριας κατακρήμνισης. Διακρίνεται η περιστροφική αστοχία κάτω από τη θεμελίωση των κτιρίων.</i>	<i>79</i>
<i>Εικόνα 55. Μεγέθυνση επί της κατανομής των παραμορφώσεων στο πόδι της παλαιοκατολίσθησης. Είναι σαφές ότι η μάζα εξωθείται προς τα εμπρός (ανατολικά) και προς τα άνω.</i>	<i>80</i>
<i>Εικόνα 56. Οι άξονες των τομών A-A', B-B' και D-D' που σχεδιάστηκαν για τη διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των πρानών της κύριας κατακρήμνισης της παλαιοκατολίσθησης.</i>	<i>82</i>
<i>Εικόνα 57. Άποψη της γεωμετρίας της τομής A-A' . Πρόκειται για απόσπασμα της τομής A-A' που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των συνθηκών ευστάθειας της παλαιοκατολίσθησης.</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 58. Άποψη της γεωμετρίας της τομής B-B'</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 59. Άποψη της γεωμετρίας της τομής D-D'</i>	<i>85</i>
<i>Εικόνα 60. Ο παραμορφωμένος κάναβος που αναδεικνύει τον μηχανισμό αστοχίας του πρानού της τομής A-A'</i>	<i>87</i>
<i>Εικόνα 61. Η κατανομή των διατμητικών τάσεων κατά την αστοχία του πρानού της τομής B-B'</i>	<i>87</i>
<i>Εικόνα 62. Η κατανομή των διατμητικών τάσεων κατά την αστοχία του πρानού της τομής D-D'</i>	<i>88</i>
<i>Εικόνα 63. Απόσπασμα της χωρικής κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων των δεδομένων συμβολομετρίας στην οποία επισημαίνονται οι θέσεις των μορφολογικών χαρακτηριστικών της κατολίσθησης. Ως ζώνη απομείωσης επισημαίνονται οι περιοχές με τα κόκκινα χρώματα, πρόκειται για τις περιοχές από τις απομακρύνεται το υλικό, και ως ζώνη συσσώρευσης οι περιοχές με τα μπλε, πρόκειται για τις περιοχές στις οποίες συγκεντρώνεται υλικό.</i>	<i>89</i>
<i>Εικόνα 64. Οι θέσεις των μορφολογικών χαρακτηριστικών της κατολίσθησης.</i>	<i>90</i>



ΠΙΝΑΚΕΣ

<i>Πίνακας 1. Συντελεστές βαρύτητας κλάσεων και συντελεστές επιρροής παραμέτρων.</i>	<i>25</i>
<i>Πίνακας 2. Καταγραφή των δεδομένων που παρέχουν οι γεωτεχνικές γεωτρήσεις</i>	<i>40</i>
<i>Πίνακας 3. Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων σε αναμοχλευθέντα μαργαϊκά υλικά, μάργες Λευκωσίας και ιλιολιθικές μάργες Καλαβασού (Hearn et al.,2018).....</i>	<i>42</i>
<i>Πίνακας 4. Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων της υγιούς και της αποσαθρωμένης μάργας Λευκωσίας σύμφωνα με τα δεδομένα αστράγγιστων δοκιμών.</i>	<i>44</i>
<i>Πίνακας 5. Συνοπτική παρουσίαση των γεωλογικών περιγραφών των γεωτεχνικών γεωτρήσεων. Επισημαίνονται τα μέγιστα βάθη που εμφανίζονται οι εκάστοτε σχηματισμοί και δομές.</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 6. Παραδοχές συνδυασμών γεωτεχνικών παραμέτρων για τη διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας.....</i>	<i>77</i>
<i>Πίνακας 7. Οι συντελεστές ασφάλειας των επιλύσεων επί της τομής A-A'.</i>	<i>78</i>
<i>Πίνακας 8. Οι συντελεστές ασφάλειας των επιλύσεων επί των τομών A-A', B-B' και D-D'. ...</i>	<i>86</i>



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Η παρούσα έκθεση συντάχθηκε στο πλαίσιο σύμβασης εκτέλεσης ερευνητικού έργου που συνάφθηκε μεταξύ του Κοινοτικού Συμβουλίου Πισσουρίου της Επαρχίας Λεμεσού Κύπρου και του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, δια του Ειδικού Λογαριασμού Κονδυλίων Έρευνας, με επιστημονικό υπεύθυνο τον Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Το αντικείμενο της σύμβασης είναι η σύνταξη έκθεσης αναφορικά με την κατολισθητική επιδεκτικότητα της κοινότητας Πισσουρίου και έκθεσης πραγματογνωμοσύνης που να εξετάζει το μηχανισμό εκδήλωσης των κατολισθητικών κινήσεων στην περιοχή των Λιμνών και την πιθανότητα επέκτασης της κατολίσθησης των Λιμνών στην ανάντη περιοχή (οικισμός *Cybarco*). Για τη σύνταξη της ανωτέρω έκθεσης απαιτήθηκε η πραγματοποίηση των ακόλουθων εργασιών:

Στο τμήμα της έκθεσης που αφορά την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας στην ευρύτερη περιοχή της κοινότητας Πισσουρίου περιλαμβάνονται οι εξής εργασίες:

- Περιγραφή της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας καθώς και των παραγόντων που αξιοποιήθηκαν.
- Χωρική ανάλυση των παραγόντων εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Κάθε παράγοντας αποτυπώνεται σε χάρτη κατάλληλης κλίμακας, όπου διακρίνονται ευκρινώς οι κατηγορίες και τα όρια αυτών. Σε κάθε χάρτη διακρίνονται με σαφήνεια το οδικό δίκτυο, οι οικισμοί και κάθε άλλο σημείο ενδιαφέροντος, ενώ κατά τη χωρική ανάλυση πραγματοποιείται εκτίμηση του ποσοστού κάλυψης κάθε κατηγορίας για κάθε παράγοντα.
- Ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας ο οποίος διαμορφώνεται με μια διαβάθμιση πέντε επιπέδων, από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή επιδεκτικότητα. Με την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας πραγματοποιείται περαιτέρω εντοπισμός των περιοχών που παρουσιάζουν πολύ υψηλή κατολισθητική επιδεκτικότητα.

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους της κοινότητας Πισσουρίου που απαιτούνται για τη σύνταξη των χαρτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας παραχωρήθηκαν από τον Εργοδότη και αναφέρονται σε υπόβαθρο του 2014.

Στο τμήμα της έκθεσης που αφορά την πραγματογνωμοσύνη επί του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών κινήσεων στην περιοχή των Λιμνών και επί της πιθανότητας επέκτασης της κατολίσθησης των Λιμνών στην ανάντη περιοχή (οικισμός *Cybarco*) περιλαμβάνονται τα εξής:

- Συμπεράσματα από την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων μελετών και τεχνικών εκθέσεων επί της κατολίσθησης στην περιοχή των Λιμνών. Τα συμπεράσματα

αυτά αφορούν το μηχανισμό εκδήλωσης της κατολίσθησης, το ρυθμό εκδήλωσης των μετακινήσεων αλλά και τα αίτια πρόκλησής τους.

- Αξιολόγηση των συνθηκών ευστάθειας των πρανών ανάντη της κύριας κατακρήμνισης της κατολίσθησης των Λιμνών. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται μέσω της επεξεργασίας των διαθέσιμων γεωτεχνικών και γεωμορφολογικών δεδομένων αλλά και των διαθέσιμων καταγραφών για τις εκδηλωθείσες παραμορφώσεις.

Τα ανωτέρω τεκμηριώνονται μέσω της πραγματοποίησης αυτοψίας στην περιοχή ενδιαφέροντος από τις 14 έως τις 17 Νοεμβρίου.

Η παρούσα έκθεση αποτελεί το τελικό παραδοτέο της σύμβασης και περιλαμβάνει, σύμφωνα με τις συμβατικές υποχρεώσεις, τα ευρήματα όλων των ανωτέρων εργασιών.

Πέραν της αυτοψίας, οι εργασίες για την ολοκλήρωση του παρόντος ερευνητικού έργου διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του ΕΜΠ. Επιστημονικός υπεύθυνος της ομάδας του έργου, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο Αναπληρωτής Καθηγητής Κωνσταντίνος Λουπασάκης ενώ την ομάδα αποτελούν ο Παρασκευάς Τσαγγαράτος, Dr. Μηχανικός Μεταλλείων - Μεταλλουργός, ΕΔΙΠ – ΕΜΠ, ο οποίος επιφορτίστηκε με την παραγωγή του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας και ο Πλούταρχος Τζάμπογλου, Dr. Μηχανικός Μεταλλείων - Μεταλλουργός, ΕΜΠ, ο οποίος συνέβαλε στις εργασίες πεδίου καθώς και στην αξιολόγηση των στοιχείων που προέκυψαν από αυτές.

1.2. Αξιοποιηθέντα δεδομένα μελετών

Για την εκπόνηση της παρούσας ερευνητικής εργασίας αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τις ακόλουθες μελέτες:

- NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting (Μάρτιος 2018) Satellite InSAR mapping of Pissouri, Cyprus. Τεχνική Έκθεση. Αναθέτουσα Αρχή: Aristo Developers.
- Hearn J.G. (Απρίλιος 2017) Ground behaviour problems affecting the residential area of Pissouri Limnes, Cyprus. Report on a reconnaissance visit. Αναθέτουσα Αρχή: Pissouri Housing Initiative Group.
- Χατζηχαλαράμπος Κλ., Κουλέρμου Ν. (Μάρτιος 2017 - Ιούλιος 2018) Εκθέσεις κλισιομετρήσεων στο Πισσούρι – Λίμνες. Ερευνητικές Γεωτρήσεις EG2013/16,17 &18, EG2017/17&18, EG2018/002,006&008. Τεχνικές Εκθέσεις, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης.
- Χριστοφή Χρ., Ζήσιμος Αν. (Οκτώβριος 2016) Εδαφικά προβλήματα στη περιοχή «Λίμνες» στο Πισσούρι. Παρακολούθηση υπόγειου νερού Υδρογεωλογική και Γεωχημική αξιολόγηση. Τεχνική Έκθεση. Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης.



- Κυριακίδης Κ. (Νοέμβριος 2015) Μελέτη γεωλογικών προβλημάτων της περιοχής Λίμνες στη κοινότητα Πισσουρίου της επαρχίας Λεμεσού - Προκαταρτική Τελική Μελέτη. Τεχνική Έκθεση. Τεχνικές Υπηρεσίες του Υπουργείου Εσωτερικών της Κυπριακής Δημοκρατίας.
- Νικολαΐδης Π. και συνεργάτες (Οκτώβριος 2010) Μελέτη σκοπιμότητας και μελέτη επιπτώσεων στο περιβάλλον για τα αποχετευτικά συστήματα Πισσουρίου, Αυδήμου και πραστέιου Αυδήμου - Τελική μελέτη εκτίμησης επιπτώσεων στο περιβάλλον. Τεχνική Έκθεση. Αναθέτουσα Αρχή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Επίσης αξιολογήθηκαν τα Γεωλογικά προφίλ και τα εργαστηριακά δεδομένα των γεωτεχνικών γεωτρήσεων (EG2013/16,17 &18, EG2017/17&18, EG2018/002, 006 &008) που ανορύχτηκαν στην περιοχή των Λιμνών από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης.

1.3. Περιεχόμενο της παρούσας έκθεσης

Εκτός από το παρόν τεύχος με τίτλο ``Έκθεση κατολισθητικής επιδεκτικότητας της κοινότητας Πισσουρίου και πραγματογνωμοσύνης επί του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών κινήσεων στην περιοχή των Λιμνών και επί της πιθανότητας επέκτασης της κατολίσθησης των Λιμνών στην ανάντη περιοχή (οικισμός Cybarco)`` η έκθεση περιλαμβάνει και δύο (2) χάρτες εκτός κειμένου:

- Χάρτης 1 - Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας, Κλίμακας 1:15.000, Σύνταξη: Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ & Τσαγγαράτος Παρασκευάς, ΕΔΙΠ ΕΜΠ.
- Χάρτης 2 - Εδαφικές Διαρρήξεις (Νοέμβριος 2019), Κλίμακας 1:2.000, Σύνταξη: Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ & Τσαγγαράτος Παρασκευάς, ΕΔΙΠ ΕΜΠ.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται στοιχεία αναφορικά με τις γεωλογικές συνθήκες στην στενή περιοχή της κοινότητας Πισσουρίου. Τα στοιχεία που αναφέρονται συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου, ενώ πληροφορίες αντλήθηκαν από τις υφιστάμενες μελέτες και χάρτες που αναφέρονται στην παράγραφο 1.2 καθώς και από βιβλιογραφικές πηγές.

2.1. Η κοινότητα Πισσουρίου - Εντοπισμός της περιοχής έρευνας

Η Κοινότητα Πισσουρίου της Επαρχίας Λεμεσού εντοπίζεται στο Νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου και καταλαμβάνει έκταση 40.234Km². Ο ομώνυμος παραδοσιακός οικισμός Πισσουρίου θεμελιώνεται, σε μέσο υψόμετρο 215m, στην κορυφή ράχης με γενικό προσανατολισμό ΒΑ-ΝΔ.

Το Πισσούρι αλλά και η ευρύτερη περιοχή της κοινότητας τις τελευταίες δυο δεκαετίες έχει παρουσιάσει εκρηκτική ανάπτυξη η οποία συνδέεται με την αλματώδη αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας και την αντίστοιχη αύξηση του πληθυσμού. Συνεπεία της έντονης οικιστικής δραστηριότητας, στις παρυφές του παραδοσιακού οικισμού του Πισσουρίου έχουν ανοικοδομηθεί διάφορα οικίστηκα συγκροτήματα. Μεταξύ αυτών των οικιστικών συγκροτημάτων βρίσκονται και οι υπό διερεύνηση οικισμοί Cybarco και Λιμνών (Εικόνα 1).

Ο οικισμός Λιμνών έχει οικοδομηθεί στην ομώνυμη περιοχή των Λιμνών η οποία εντοπίζεται νότια - νοτιοανατολικά του παραδοσιακού οικισμού Πισσουρίου (Εικόνα 1). Πρόκειται για μια ελαφρά επικλινή έκταση, με μέση κλίση 6-8° και εμβαδό περίπου 500.000m². Χωρίς φυσικά να είναι γνωστό εκ των προτέρων, η περιοχή έχει διαμορφωθεί από τη δράση παλαιοκατολίστησης, που ενεργοποιήθηκε σε άγνωστο παρελθόντα χρόνο. Στα Δυτικά της η περιοχή οριοθετείται από την πεταλοειδή κύρια κατακρήμνιση της παλαιοκατολίστησης, ενώ στα βόρεια και στα νότιά της από αβαθή ρέματα που ρέουν στα περιθώρια της κατολισθαίνουσας μάζας.

Η ονομασία της περιοχής εκτιμάται, από το συντάσσοντα της παρούσας έκθεσης, ότι σχετίζεται με τις κατολισθητικές κινήσεις καθώς η όποια μετακίνηση της κατολισθαίνουσας μάζας έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή του υδρογραφικού δικτύου και κατά συνέπεια τη δημιουργία μικρών παροδικών λιμνών, μετά από παρατεταμένες βροχοπτώσεις. Αν η θεώρηση αυτή είναι σωστή, τότε η παλαιοκατολίστηση τις τελευταίες δεκαετίες δεν ήταν ανενεργή, καθώς οι αναφορές για την ύπαρξη λιμνών στην περιοχή είναι πρόσφατες. Δηλαδή η κατολισθαίνουσα μάζα βρίσκονταν σε λανθάνουσα κατάσταση περιμένοντας την επίδραση των εναυσματικών παραγόντων για την επανενεργοποίησή της. Σύμφωνα με αναφορές, η συγκεκριμένη περιοχή από τη χειμερινή περίοδο 2011-2012 παρουσιάζει έντονες μετακινήσεις πλήττοντας σφοδρά τις οικίες που είναι θεμελιωμένες επί αυτής.

Ο οικισμός Cybarco εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της στέψης της παλαιοκατολίστησης (Εικόνα 1). Η κλίση του πρανούς επί του οποίου είναι θεμελιωμένος ο οικισμός φτάνει έως και τις 15°. Ο συγκεκριμένος οικισμός αν και βρίσκεται εκτός της μάζας της κατολίστησης εμφανίζει περιορισμένο, αλλά όχι αμελητέο, αριθμό διαρρήξεων που υποδηλώνουν μια κινητικότητα του πρανούς.

Πέραν των δύο προαναφερόμενων οικισμών διαρρήξεις εμφανίζονται και στις κατασκευές που εντοπίζονται στη στέψη της παλαιοκατολίστησης, μεταξύ του οικισμού Cybarco και του παραδοσιακού οικισμού του Πισσουρίου (Εικόνα 1).

Το σύνολο των προαναφερόμενων θέσεων διερευνώνται στο πλαίσιο της παρούσας έκθεσης.



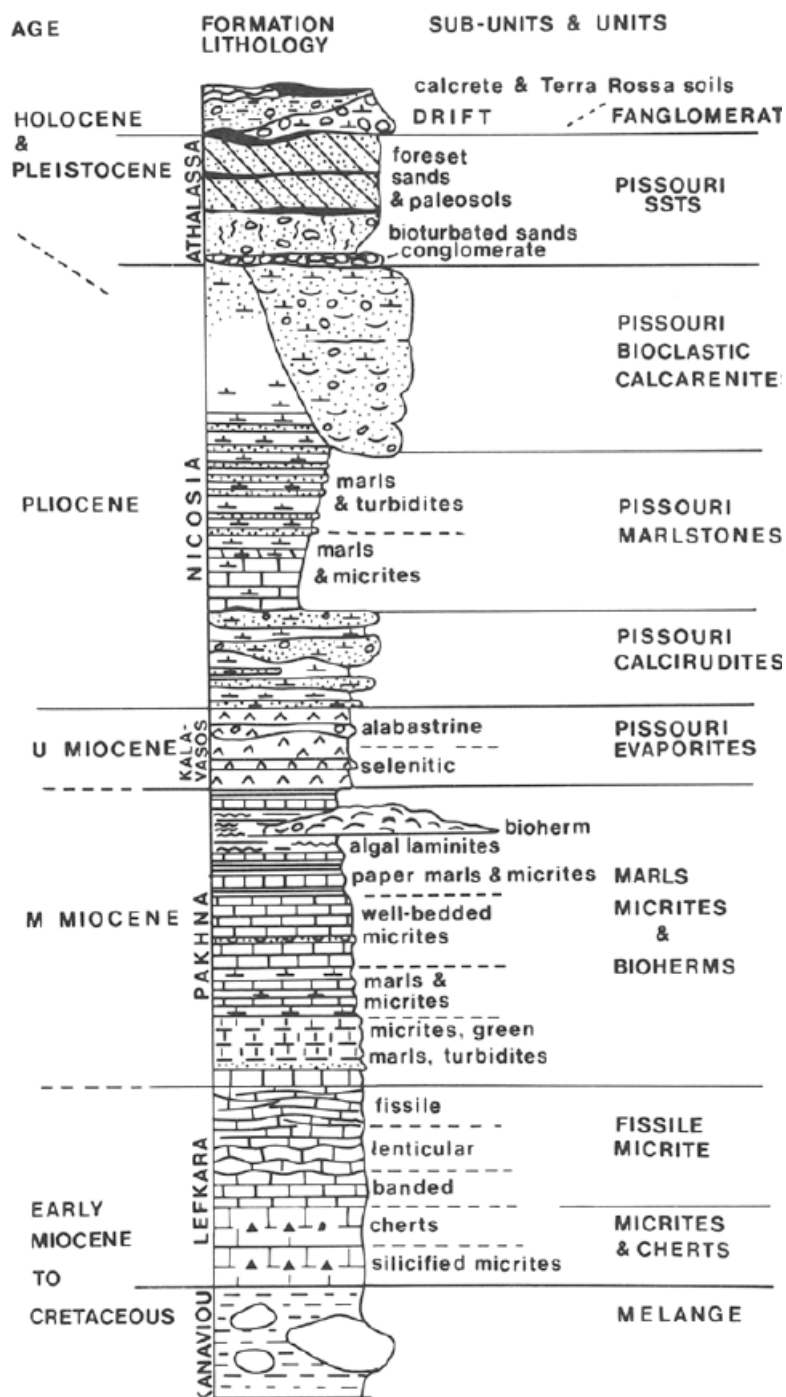
Εικόνα 1. Η περιοχή έρευνας. Επισημαίνεται η θέση του παραδοσιακού οικισμού Πισσουρίου, η περιοχή Λιμνών και ο οικισμός Cybarco.

2.2. Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής της Κοινότητας Πισσουρίου

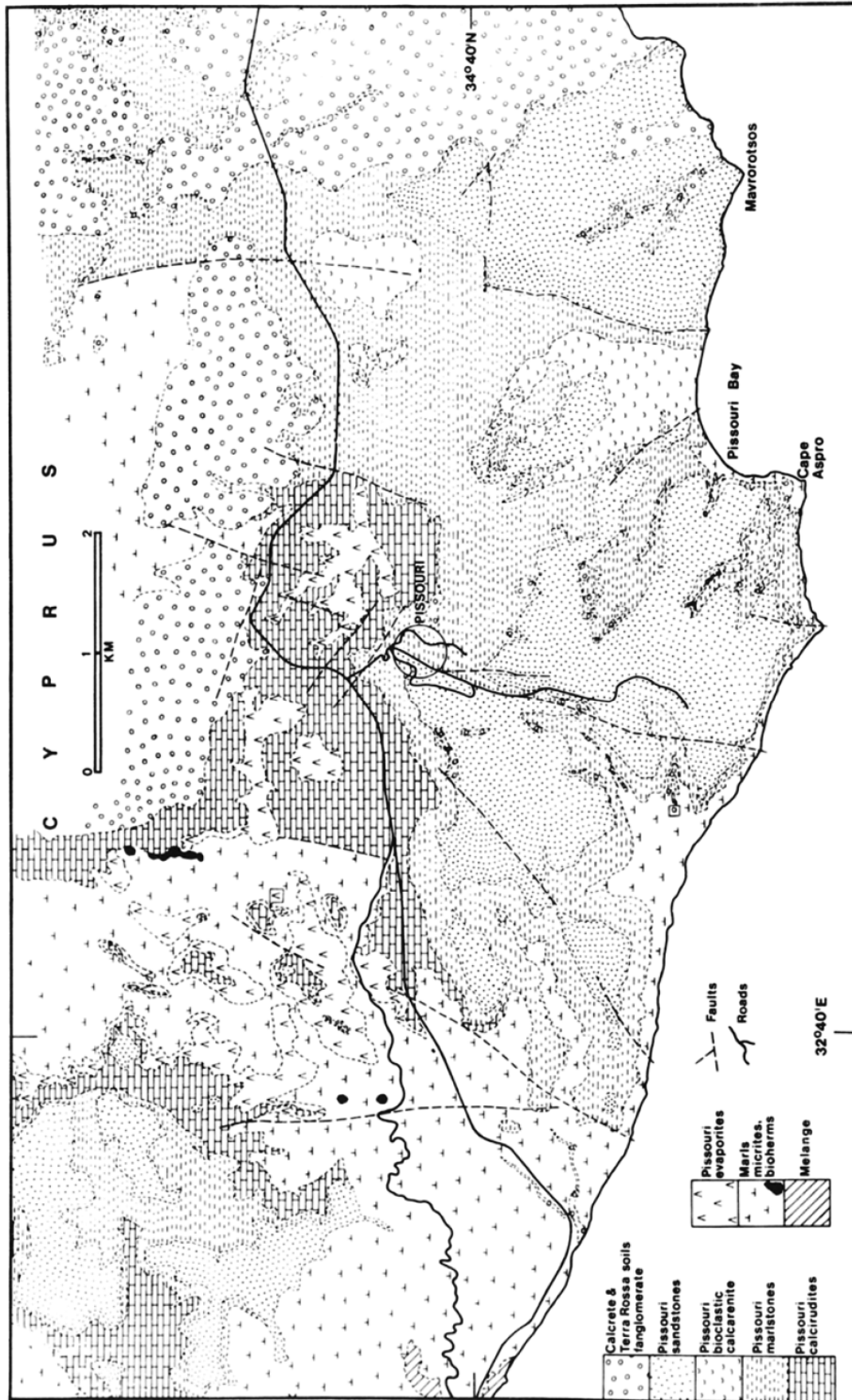
Η Νεογενής λεκάνη του Πισσουρίου αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Μειοκαίνου. Δομείται από επτά λιθοστρωματογραφικές ενότητες του Μειοκαίνου (Σχηματισμοί Λευκάρων και Πάχνας), δυο ενότητες με εβαπορίτες του Μεσσηνίου (Σχηματισμός Καλαβασού) και έξι ενότητες του Πλειο-Πλειστόκαινου (Σχηματισμοί Λευκωσίας και Αθαλάσσας) (Εικόνα 2). Το υπόβαθρο της λεκάνης αποτελείται από το σύμπλεγμα (melange) Μαμωνίων που είναι ορατό δυτικότερα, στην περιοχή της Πέτρας του Ρωμιού.

Στην στενή περιοχή της κοινότητας Πισσουρίου εντοπίζονται οι εβαπορίτες και οι μάργες Πάχνας, οι εβαπορίτες Πισσουρίου του σχηματισμού Καλαβασού, οι ασβεστορουδίτες - ασβεστιτικά λατυποπαγή (Calcirudites) του Πισσουρίου του

σχηματισμού Λευκωσίας, οι μάργες του Πισσουρίου του σχηματισμού Λευκωσίας, τα ασβεστιτικά βιοκλαστικά πετρώματα (bioclastic calcarenites) του σχηματισμού Λευκωσίας, οι ψαμμίτες του Πισσουρίου του σχηματισμού Αθαλάσσας και τα θραυσματοπαγή υλικά αναβαθμίδας του Ολοκαίνου (Εικόνα 3).



Εικόνα 2. Λιθοστρωματογραφικές ενότητες της λεκάνης του Πισσουρίου (Stow et al, 1995).



Εικόνα 3. Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης του Πισσορίου (Stow et al, 1995).

Συγκεκριμένα, ο σχηματισμός Πάχνας αποτελείται από υποκίτρινες μάργες και κρητίδες. Ενώ, εντός των μαργών παρατηρούνται ενστρώσεις ασβεστιτικού ψαμμίτη αλλά και κροκαλοπαγών.

Οι εβαπορίτες Πισσουρίου διακρίνονται σε δύο ορίζοντες. Ο κατώτερος αποτελείται από αδροκρυσταλλικό γύψο (Εικόνα 4) και ο ανώτερος από αλάβαστρο που καλύπτεται από μια στρώση πολύμεικτου λατυποπαγούς. Το συνολικό πάχος των εβαπορίτων φτάνει τα 40m.



Εικόνα 4. Αδροκρυσταλλικός γύψος των εβαποριτών του Πισσουρίου.

Οι ασβεστορουδίτες - ασβεστιτικά λατυποπαγή (Calcirudites) του Πισσουρίου, με συνολικό πάχος 20 - 25m, διακρίνονται επίσης σε δύο ορίζοντες. Ο κατώτερος ορίζοντας αποτελείται από λεπτοστρωματώδεις κλαστικούς ασβεστόλιθους σε εναλλαγή με απολιθωματοφόρους σχηματισμούς. Ενώ ο ανώτερος από παχυστρωματώδεις κλαστικούς ασβεστόλιθους με μικρές στρώσεις μάργας.

Οι μάργες του Πισσουρίου αποτελούν τον σημαντικότερο σχηματισμό της περιοχής έρευνας, καθώς, πέραν της μεγάλης εξάπλωσής τους, εμφανίζουν σοβαρά γεωτεχνικά προβλήματα εξαιτίας του υψηλού περιεχομένου τους σε αργιλικά ορυκτά. Διακρίνονται σε τρεις ορίζοντες. Ο κατώτερος ορίζοντας αποτελείται από λευκές - γκρίζες μάργες με ενστρώσεις λευκών μικριτικών ασβεστολίθων, συνολικού πάχους 20m. Ο ενδιάμεσος ορίζοντας αποτελείται από μάργες εντός των οποίων εντοπίζονται στρώσεις ιλιολίθων και λεπτές στρώσεις ψαμμιτών, συνολικού πάχους 30m. Τέλος ο

ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από μάργες που εναλλάσσονται ισομερώς με ιλιολίθους και ψαμμίτες. Το πάχος του ανώτερου ορίζοντα φτάνει τα 70m.

Στην στενή περιοχή ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα στα πρανή ανάντη της περιοχής Λιμνών, εντοπίζεται ο ανώτερος και ο ενδιάμεσος ορίζοντας, με εναλλαγές μαργών και ιλιολύθων (Εικόνα 5). Οι επιφάνειες στρώσης των μαργών εμφανίζονται με τα στοιχεία προσανατολισμού: $090-092^{\circ}/12-13^{\circ}$. Σύμφωνα με τα δεδομένα των γεωτεχνικών γεωτρήσεων, στην κατολισθαινούσα μάζα της περιοχής Λιμνών οι ανωτέρω σχηματισμοί εμφανίζονται έντονα αναμοχλευμένοι, ενώ διατέμνονται και από επιφάνειες διάτμησης.



Εικόνα 5. Μάργες του Πισσουρίου, ανώτερος ορίζοντας. Σχεδόν ισομερής συμμετοχή μαργών και ιλιολίθων. Απουσιάζουν οι ψαμμίτες. Από το πρανές ανάντη της περιοχής των Λιμνών.

Τα ασβεστίτικα βιοκλαστικά πετρώματα (bioclastic calcarenites) του σχηματισμού Λευκωσίας εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας με ένα συνολικό πάχος 110m. Πρόκειται για παχυστρωματώδεις αδρομερείς απολιθωματοφόρους ψαμμίτες και απολιθωματοφόρους κλαστικούς ασβεστόλιθους.

Οι ψαμμίτες του Πισσουρίου εντάσσονται στον σχηματισμό Αθαλάσσας και είναι ο ανώτερος σχηματισμός που εντοπίζεται στην στενή περιοχή ενδιαφέροντος. Πρόκειται για ψαμμίτη εντός του οποίου διακρίνονται καλά αναπτυγμένες ενστρώσεις παλαιοεδαφών και σπανιότερα ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Το συνολικό πάχος του ορίζοντα είναι 80m.

Στην στενή περιοχή ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα στην περίμετρο του οικισμού Cybarco, οι ψαμμίτες εμφανίζονται να επικάθονται των μαργών χωρίς τη μεσολάβηση των ασβεστιτικών βιοκλαστικών πετρωμάτων (Εικόνα 6).

Τα θραυσματοπαγή υλικά αναβαθμίδας του Ολοκαίνου, είναι φτωχά διαβαθμισμένα υλικά, μέτρια έως καλά συγκολλημένα, και πάχος που διακυμαίνεται από τα 1,5 έως τα 30m.

Η αλληλουχία των προαναφερόμενων σχηματισμών παρουσιάζεται στη σκαριφηματική της τομής της εικόνας 7.

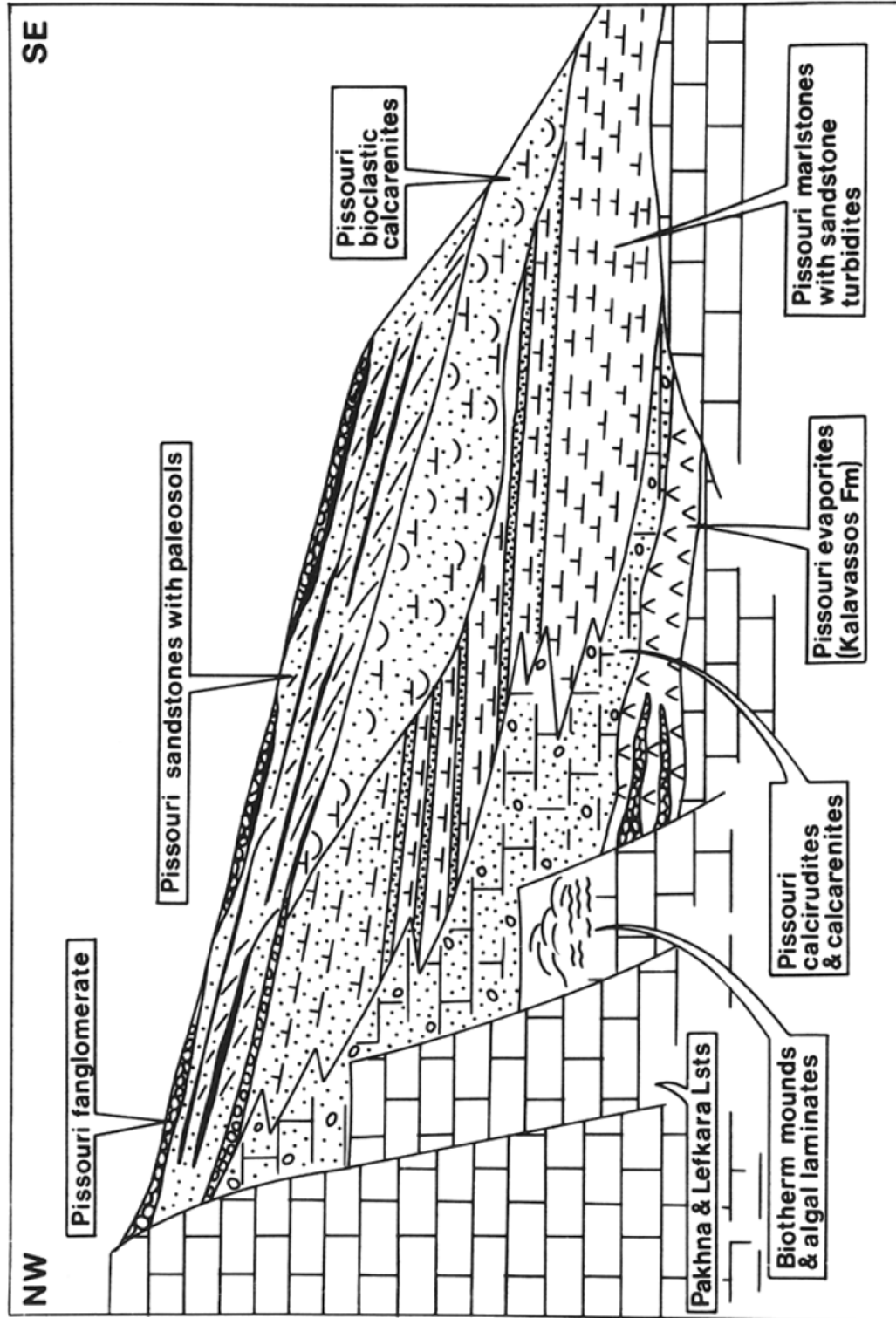


Εικόνα 6. Ψαμμίτες του Πισσουρίου που υπέρκεινται των Μαργών του Πισσουρίου. Ανάντη του οικισμού Cybarco.

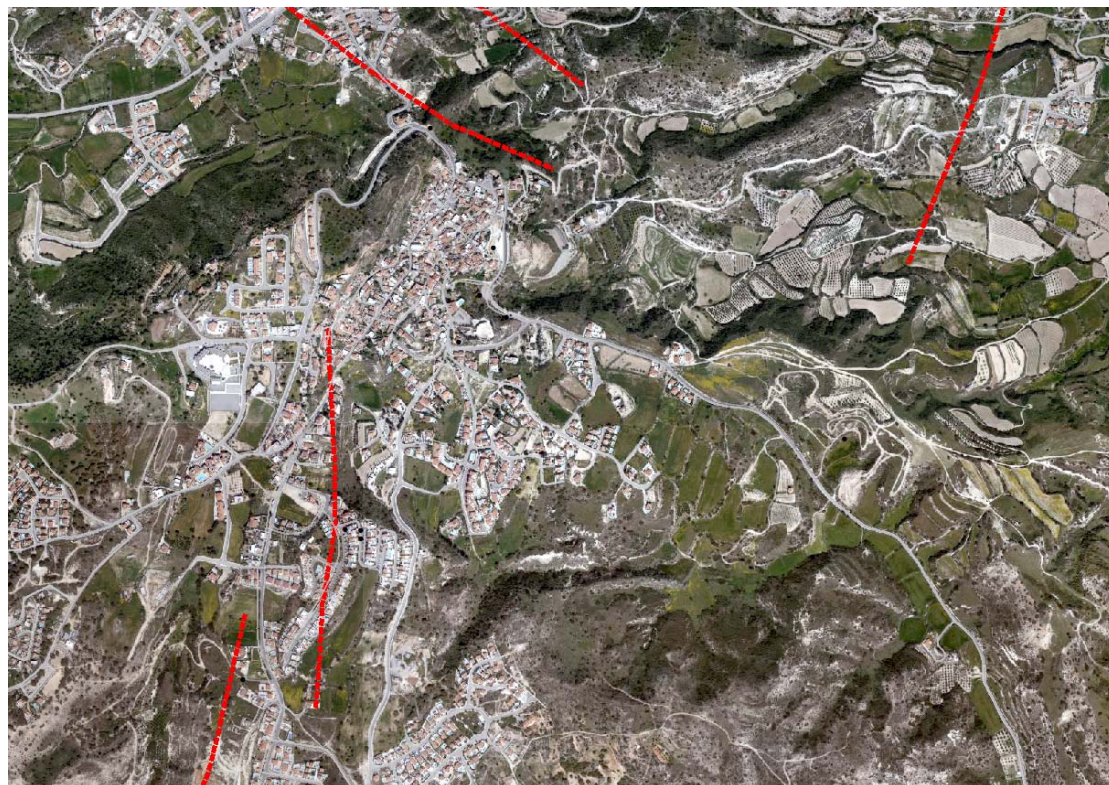
Πέραν των γεωλογικών σχηματισμών ιδιαίτερης προσοχής χρήζει και η παρουσία τεκτονικών ρηγμάτων. Οι συγκεκριμένες τεκτονικές δομές διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ευστάθεια των πρανών. Στον γεωλογικό χάρτη των Stow et al, 1995 (Εικόνα 3) επισημαίνεται η θέση αρκετών πιθανών ρηγμάτων. Προφανώς η ευκολία διάβρωσης των μαργών, που καταλαμβάνουν την πλειονότητα της περιοχής, έχει αποκρύψει τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κατοπτρικών τους επιφανειών, με αποτέλεσμα να επισημαίνονται ως πιθανά.

Στην στενή περιοχή της κατολίσθησης έχει επισημανθεί η θέση ενός τέτοιου πιθανού ρήγματος διερχόμενου από την κύρια κατακρήμνιση (Εικόνα 8). Δεν είναι διόλου απίθανο η παρουσία της κύριας κατακρήμνισης να έδωσε την εντύπωση τεκτονικής δομής, χωρίς όμως να αποκλείεται και παρουσία ρήγματος. Για την περαιτέρω αξιολόγηση της πληροφορίας αυτής θα πρέπει να πραγματοποιηθεί διερεύνηση της

παρουσίας του ρήγματος τόσο χαρτογραφικά όσο και γεωτρητικά. Επισημαίνεται ότι στην περιοχή διακρίνονται και άλλες επιφάνειες οι οποίες μοιάζουν με κατοπτρικές επιφάνειες ρηγμάτων αλλά δεν αποτυπώνονται στον χάρτη των Stow et al, 1995.



Εικόνα 7. Σκαριφματική γεωλογική τομή των Νεογενών σχηματισμών της λεκάνης Πισσουρίου (Stow et al, 1995).



Εικόνα 8. Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας στην οποία επισημαίνονται οι θέσεις πιθανών ρηγμάτων όπως αποτυπώνονται στον γεωλογικό χάρτη των Stow et al, 1995.

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικώς η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας της ευρύτερης περιοχής της κοινότητας Πισσουρίου, ακολούθως αναλύονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν, στη συνέχεια περιγράφονται οι διεργασίες που εκτελούνται για τη δημιουργία του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας, ενώ στο τέλος αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου.

Ως κατολισθητική επιδεκτικότητα ορίζεται η πιθανότητα εκδήλωσης ενός κατολισθητικού φαινομένου λαμβάνοντας υπόψη τις γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες που επικρατούν, και μη λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική συνιστώσα του φαινομένου (Fell et al., 2008; Hervas and Bobrowsky, 2009). Εξετάζει το που είναι πιθανό να συμβεί μια αστοχία αλλά όχι το πότε και το ποιο θα είναι το μέγεθος ή έντασή της. Δύναται συνεπώς να δοθεί μια ποσοτική ή ποιοτική έκφραση της χωρικής κατανομής των επιδεκτικών σε κατολισθητικά φαινόμενα περιοχών. Από την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας δεν αξιολογούνται οι εναυσματικοί παράγοντες, όπως είναι η εκδήλωση μιας έντονης καταιγίδας ή ενός σεισμικού συμβάντος.

Έχουν προταθεί αρκετές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό του βαθμού κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Γενικά διακρίνονται οι προσεγγίσεις που μπορεί να έχουν ποιοτικό (qualitative) ή ποσοτικό (quantitative) χαρακτήρα (Soeters and van Westen, 1996; Aleotti and Chowdhury, 1999; Fell et al., 2008).

Όλες οι προσεγγίσεις για την αποτελεσματική τους εφαρμογή υιοθετούν μια σειρά από παραδοχές που έχουν να κάνουν με τα παρακάτω:

α) Το παρελθόν αποτελεί ισχυρή ένδειξη για το μέλλον. Αυτό στην ουσία σημαίνει ότι στις περιοχές που στο παρελθόν έχουν καταγραφεί κατολισθήσεις υπάρχει υψηλή πιθανότητα να εμφανίσουν κατολισθήσεις και στο μέλλον.

και

β) Περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από παρόμοιες συνθήκες, σχετικά με τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία, τη σεισμική και τεκτονική δραστηριότητα αλλά και το κλίμα με αυτές τις περιοχές που έχουν καταγραφεί αστοχίες, δυνητικά παρουσιάζουν υψηλή πιθανότητα να παρουσιάσουν αστοχία στο μέλλον (Guzzetti et al., 1999; Hervas and Bobrowsky, 2009).

3.1. Περιγραφή της μεθόδου εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας

Η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόστηκε δύναται να χωριστεί σε τέσσερα στάδια ανάλυσης: α) την επιλογή παραμέτρων και διαμόρφωση κλάσεων καθώς και

τη δημιουργία χάρτη απογραφής, β) την απόδοση συντελεστών επιρροής στις παραμέτρους καθώς και συντελεστών βαρύτητας στις κλάσεις των παραμέτρων, γ) την εφαρμογή της επιλεγείσας μεθοδολογίας και δημιουργία χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας και δ) την επαλήθευση της ορθότητας του μοντέλου. Συνοπτική περιγραφή των διεργασιών που συντελούνται σε κάθε στάδιο δίνεται παρακάτω.

3.1.1 Επιλογή παραμέτρων και διαμόρφωση κλάσεων - Στάδιο Α΄

Η εκδήλωση μιας κατολίσθησης αποτελεί μια πολύπλοκη και σύνθετη διεργασία, η οποία επηρεάζεται από μια σειρά παραμέτρων και συνθηκών (Guzzetti et al., 1999; Fell et al., 2008). Σε ότι αφορά τις παραμέτρους διακρίνονται αυτές που διαμορφώνουν ή προετοιμάζουν κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση μιας κατολίσθησης (predisposing factors) και σε εκείνες που δρουν εναυσματικά (triggering factors).

Βάσει των παραπάνω οι κατολισθήσεις κατά την επεξεργασία τους για την εκτίμηση είτε της επιδεκτικότητας είτε της επικινδυνότητας αναλύονται σε μια σειρά από παραμέτρους οι οποίες λειτουργούν μεμονωμένα ή συνδυαστικά στην προετοιμασία εκδήλωσης, ενεργοποίηση ή εξέλιξη του φαινομένου.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην περίπτωση της κοινότητας του Πισσουρίου, στηρίζεται στη θεώρηση των παραμέτρων σύμφωνα με την κρίση ειδικών. Κατά την προσέγγιση αυτή, οι ειδικοί αποδίδουν στις παραμέτρους συντελεστές επιρροής ή βαρύτητας ώστε να αποτυπωθεί η επίδρασή τους επί της εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων. Ακολουθώντας, εφαρμόζοντας την τεχνική των σταθμισμένων γραμμικών συνδυασμών σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών δημιουργείται ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Συγκεκριμένα για την παρούσα μελέτη συναξιολογήθηκαν, δεδομένα που αφορούσαν τη γεωλογία της περιοχής, τις μορφολογικές κλίσεις, τη διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων και την απόσταση από τις τεκτονικές δομές, παράμετροι που θεωρούνται ότι διαμορφώνουν ή προετοιμάζουν κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση μιας κατολίσθησης. Περισσότερα αναφορικά με τον τρόπο απόδοσης των συντελεστών και την εφαρμογή της τεχνικής των σταθμισμένων γραμμικών συνδυασμών θα παρουσιαστούν στη συνέχεια (§3.1.3).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν μια περιοχή, θεωρούνται ως οι πλέον καθοριστικοί παράγοντες που ελέγχουν την εκδήλωση των κατολισθήσεων (Fell et al., 2008). Γενικά, οι εναλλαγές στρωμάτων που έχουν διαφορετικές τιμές παραμέτρων μηχανικής αντοχής και δομές που επηρεάζονται από την τεκτονική δραστηριότητα ευνοούν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Koukis et al., 2005). Επιπλέον οι αποσαθρωτικές διεργασίες διαφοροποιούν τη μηχανική, ορυκτολογική και υδρολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών επιδρώντας ενισχυτικά στην πιθανότητα αστοχίας (Rozos et al., 2008).

Εξετάζοντας τη γεωλογία της περιοχής έρευνας, κατά τη σύνταξη των χαρτών επιδεκτικότητας διακρίνονται οι ακόλουθοι γεωλογικοί σχηματισμοί: οι μάργες του σχηματισμού Πάχνας, οι εβαπορίτες Πισσουρίου του σχηματισμού Καλαβασού, οι ασβεστορουδίτες - ασβεστιτικά λατυποπαγή του Πισσουρίου του σχηματισμού Λευκωσίας, οι μάργες του Πισσουρίου του σχηματισμού Λευκωσίας, τα ασβεστιτικά βιοκλαστικά πετρώματα του σχηματισμού Λευκωσίας, οι ψαμμίτες του Πισσουρίου του σχηματισμού Αθαλάσσας και τα θραυσματοπαγή υλικά αναβαθμίδας του Ολοκαίνου (Stow et al., 1995).

Οι μορφολογικές κλίσεις καθώς και η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων ενός φυσικού πρανούς, επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (Wu et al., 2001). Τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς διαμορφώνονται από τη συνδυαστική επίδραση της γεωλογικής δομής, της τεκτονικής δραστηριότητας και των τεκτονικών δομών, των κλιματικών συνθηκών που καθορίζουν την ένταση και τη διάρκεια των διαβρωτικών και αποσαθρωτικών διαδικασιών καθώς και το είδος της βλάστησης που επικρατεί (Maharaja, 1993). Συγκεκριμένα, η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων επιδρά έμμεσα στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Η ύπαρξη διαφορετικής διεύθυνσης, σημαίνει έκθεση σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, π.χ. διάρκεια ηλιακού φωτός, ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία κ.α., αλλά και διαφορετικών συνθηκών ανάπτυξης βλάστησης (Guzzetti et al., 1999).

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, κατά τη σύνταξη των χαρτών επιδεκτικότητας η παράμετρος της μορφολογικής κλίσης για την περιοχή έρευνας, διαμορφώνεται σε 10 κλάσεις ($< 5^\circ$, 6° - 10° , 11° - 15° , 16° - 20° , 21° - 25° , 26° - 30° , 31° - 35° , 36° - 40° , 41° - 45° , $>46^\circ$). Σε ότι αφορά την παράμετρο της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων διαμορφώθηκε από το αρχικό ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας και κατηγοροποιήθηκε σε 8 κατηγορίες (Βόρεια (B), Βόρειο-ανατολικά (BA), Ανατολικά (A), Νότιο-ανατολικά (NA), Νότια (N), Νότιο-δυτικά (ND), Δυτικά (Δ), Βόρειο-δυτικά (BD)).

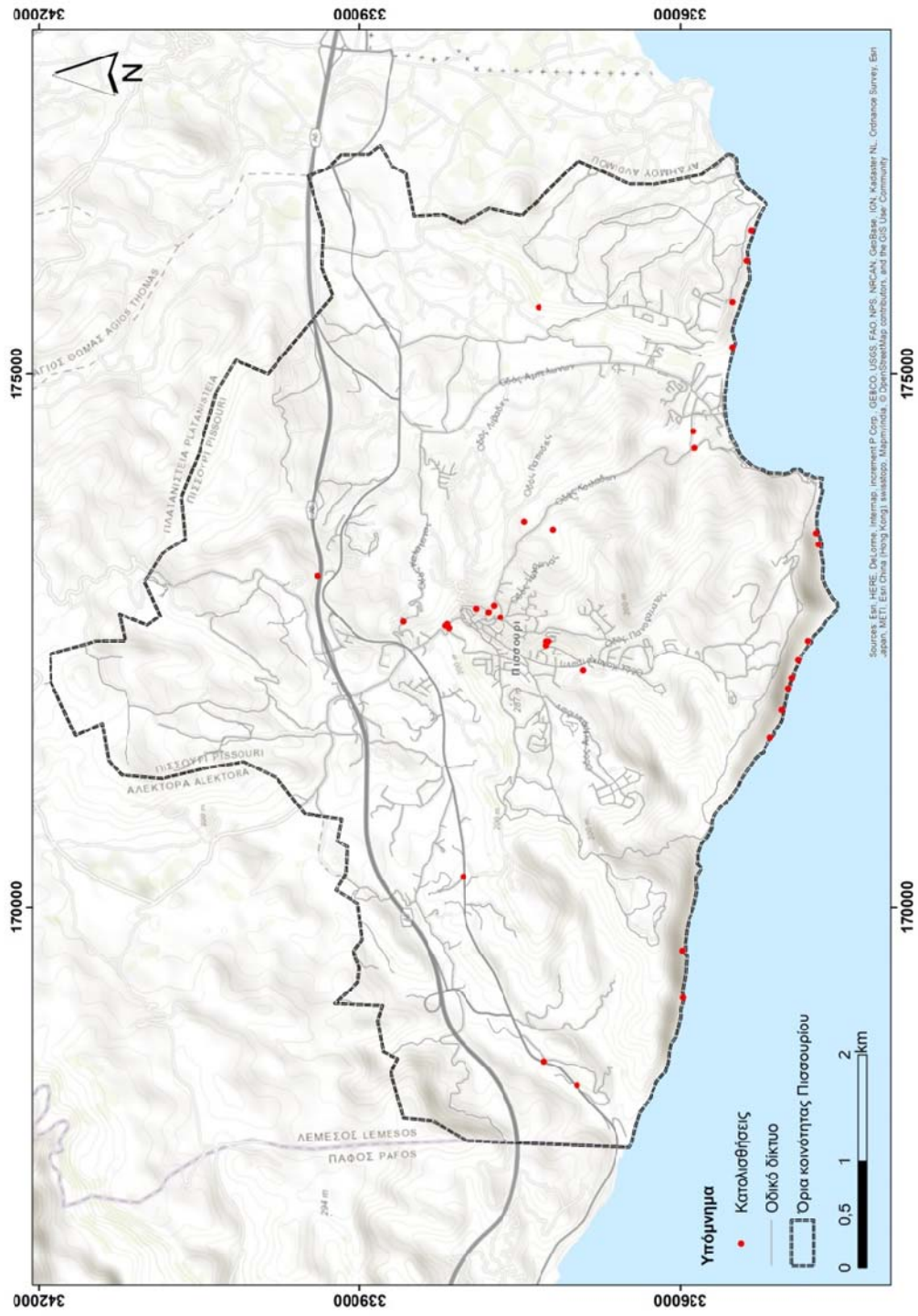
Οι ρηξιγενείς ζώνες αποτελούν περιοχές με μεγάλη πιθανότητα αστάθειας. Κατά τον Varnes (1978) ο βαθμός κατακερματισμού παίζει κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό της ευστάθειας του πρανούς. Η τεκτονική επιδρά στην αστάθεια μέσω της διαμόρφωσης επιφανειών ασυνέχειας (Pachauri & Pant, 1992). Συνεπώς η δημιουργία ζωνών επιρροής, εκατέρωθεν των τεκτονικών δομών, ρηγμάτων, επιπτώσεων και επωθήσεων, συμβάλλει στην περαιτέρω διάκριση των περιοχών ως προς την πιθανότητα εκδήλωσης αστοχίας. Περιοχές εγγύτερες στα τεκτονικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται ως περιοχές με αυξημένη πιθανότητα αστοχίας. Κατά τη σύνταξη των χαρτών επιδεκτικότητας η παράμετρος της απόστασης από τις τεκτονικές δομές, πιθανά ρήγματα, διαμορφώνεται σε 4 κατηγορίες ($<100\mu$, 101 - 200μ , 201 - 300μ , $>301\mu$).

3.1.2 Χάρτης απογραφής κατολισθήσεων - Στάδιο Α΄

Ο χάρτης απογραφής κατολισθήσεων αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρτογραφικό προϊόν και βασικό στοιχείο για την αποτελεσματική εφαρμογή ποιοτικών αλλά και ποσοτικών μεθόδων κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Επίσης συμβάλει στην επαλήθευση της ορθότητας των διαμορφούμενων μοντέλων. Τα αρχεία απογραφής κατολισθήσεων αποτελούν την πιο απλούστερη μορφή χαρτογράφησης κατολισθήσεων (Guzzetti et al., 1999) και στην πλειονότητα των περιπτώσεων περιλαμβάνουν την ακριβή θέση, την έκταση και την ημερομηνία εκδήλωσης της κάθε κατολίσθησης. Δημιουργούνται ανάλογα με τη χρήση που θα εξυπηρετήσουν, την έκταση που θα καλυφθεί αλλά και τις διαθέσιμες πηγές πληροφόρησης (Guzzetti et al., 1999).

Στην παρούσα μελέτη, η χαρτογράφηση των θέσεων αστοχίας πραγματοποιήθηκε κυρίως από έρευνα πεδίου και τη χρήση αεροφωτογραφιών και εναέριων ψηφιακών αρχείων. Χαρτογραφήθηκαν 35 θέσεις, όπου διαπιστώθηκε διαταραχή της ισορροπίας του πρανούς με επακόλουθο την εκδήλωση κατολίσθησης.

Σε ότι αφορά την αξιοποίηση των θέσεων αστοχίας που καταγράφηκαν, ενσωματώθηκαν στη βάση δεδομένων ως σημειακές οντότητες. Τοποθετούνται στην θέση που εκφράζει το κέντρο βάρους της έκτασης που διαμορφώνει στην επιφάνεια του εδάφους η αστοχία. Η εικόνα 9 παρουσιάζει την χωρική κατανομή των κατολισθήσεων εντός της κοινότητας του Πισσουρίου. Σημαντικός αριθμός κατολισθήσεων εντοπίζονται στα παράλια της κοινότητας, όπου διαμορφώνονται απότομες ακτές, καθώς επίσης και κατά μήκος του οδικού δικτύου.



Εικόνα 9. Χάρτης απογραφής κατολισθήσεων.

3.1.3 Απόδοση συντελεστών επιρροής και συντελεστών βαρύτητας - Στάδιο Β΄

Κάθε παράμετρος αξιολογήθηκε με βάση την επίδραση που έχει στην εκδήλωση ενός κατολισθητικού συμβάντος και αποδόθηκαν συντελεστές επιρροής με βάση την κρίση των ειδικών. Στη συνέχεια στις επιμέρους κλάσεις κάθε παραμέτρου, αποδόθηκαν αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας (Πίνακας 1). Το εύρος τιμών για τους συντελεστές επιρροής καθορίστηκε στο διάστημα $[0,1]$, ενώ για τους συντελεστές βαρύτητας στο διάστημα $[1,10]$ (Kouli et al., 2013).

Σύμφωνα με την επεξεργασία όλου του διαθέσιμου υλικού και τη συμβολή της ομάδας των ειδικών η υψηλότερη επιρροή, για την περιοχή έρευνας, δόθηκε στην παράμετρο των μορφολογικών κλίσεων και της γεωλογίας, την απόσταση από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά και τέλος στην παράμετρο της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων. Αναλυτικά στον πίνακα 1 δίνονται οι τιμές των συντελεστών για κάθε παράμετρο αλλά και κάθε διαμορφούμενη κλάση.

3.1.4 Εφαρμογή της μεθοδολογίας και δημιουργία χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας - Στάδιο Γ΄

Ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας προέκυψε ως άθροισμα των γινομένων των συντελεστών επιρροής και βαρύτητας, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση η οποία βασίζεται στην τεχνική των σταθμισμένων γραμμικών συνδυασμών (Ayalew et al., 2004):

$$LSI = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m W_j W_{ij}$$

όπου LSI, είναι ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας, W_j , ο συντελεστής επιρροής της παραμέτρου j , W_{ij} ο συντελεστής βαρύτητας της κλάσης i στην παράμετρο j , n ο αριθμός των παραμέτρων και m ο αριθμός των κλάσεων κάθε παραμέτρου j .

Ο τελικός χάρτης εφαρμόζοντας τη μέθοδο κατηγοροποίησης των γεωμετρικών διαστημάτων (ESRI, 2011), διαμορφώθηκε σε πέντε ζώνες διαβάθμισης και συγκεκριμένα στις: πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας, χαμηλής επιδεκτικότητας, μέτριας επιδεκτικότητας, υψηλής επιδεκτικότητας και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.



Πίνακας 1. Συντελεστές βαρύτητας κλάσεων και συντελεστές επιρροής παραμέτρων.

Γεωλογικοί σχηματισμοί	Συντελεστής βαρύτητας	Συντελεστής επιρροής
Θραυσματοπαγή υλικά αναβαθμίδας του Ολοκαίνου	8	0.30
Ψαμίτες Πισσουρίου	4	
Ασβεστιτικά βιοκλαστικά πετρώματα	4	
Μάργες Πισσουρίου	10	
Ασβεστορουδίτες - ασβεστιτικά λατυποπαγή του Πισσουρίου	5	
Εβαπορίτες Πισσουρίου	4	
Μάργες Πάχνα	8	
Μορφολογική κλίση	Συντελεστής βαρύτητας	Συντελεστής επιρροής
<5°	1	0.45
6° - 10°	3	
11° - 15°	3	
16° - 20°	5	
21° - 25°	5	
26° - 30°	7	
31° - 35°	7	
36° - 40°	8	
41° - 45°	9	
>45°	10	
Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης	Συντελεστής βαρύτητας	Συντελεστής επιρροής
Βόρεια	10	0.10
Βόρειο-Ανατολικά	7	
Ανατολικά	7	
Νότιο-Ανατολικά	3	
Νότια	9	
Νότιο-Δυτικά	3	
Δυτικά	5	
Βόρειο-Δυτικά	5	
Απόσταση από τεκτονικές δομές	Συντελεστής βαρύτητας	Συντελεστής επιρροής
< 100μ	10	0.15
101-200μ	8	
201-300μ	6	
>301μ	2	

3.1.5 Επιβεβαίωση της προγνωστικής ικανότητας του χάρτου - Στάδιο Δ΄

Σε ότι αφορά την επιβεβαίωση της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου που εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, αξιοποιήθηκε το σύνολο των καταγραφών που αφορούσαν τις θέσεις αστοχίας. Η επαλήθευση του προγνωστικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας πραγματοποιήθηκε μέσω της διαμόρφωσης καμπυλών ικανότητας πρόβλεψης. Οι καμπύλες αυτές, αποτυπώνουν τη σχέση μεταξύ των επί τις εκατό (%) αθροιστικών ποσοστών των κατολισθήσεων (άξονας Y) σε συνάρτηση με τα επί τις εκατό (%) αθροιστικά ποσοστά της έκτασης των ζωνών επιδεκτικότητας (άξονας X). Ως ποσοτικό μέτρο της επίδοσης του μοντέλου θεωρείται το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την καμπύλη ικανότητας πρόβλεψης (area under curve, AUC). Το εμβαδόν αυτό εκφράζει την πιθανότητα το μοντέλο να αναγνωρίζει σωστά πιθανές θέσεις αστοχίας. Οι τιμές που μπορεί να λάβει κυμαίνονται από 0.5 – 1.0 με την ανώτατη τιμή να σηματοδοτεί μοντέλο με απόλυτη ακρίβεια και η τιμή 0.5 το μοντέλο να πραγματοποιεί τυχαίες προβλέψεις. Η πλειονότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας ακολουθούν τη συγκεκριμένη μεθοδολογική προσέγγιση για την επαλήθευση της ορθότητας του προγνωστικού μοντέλου (Tsangaratos & Pila, 2016).

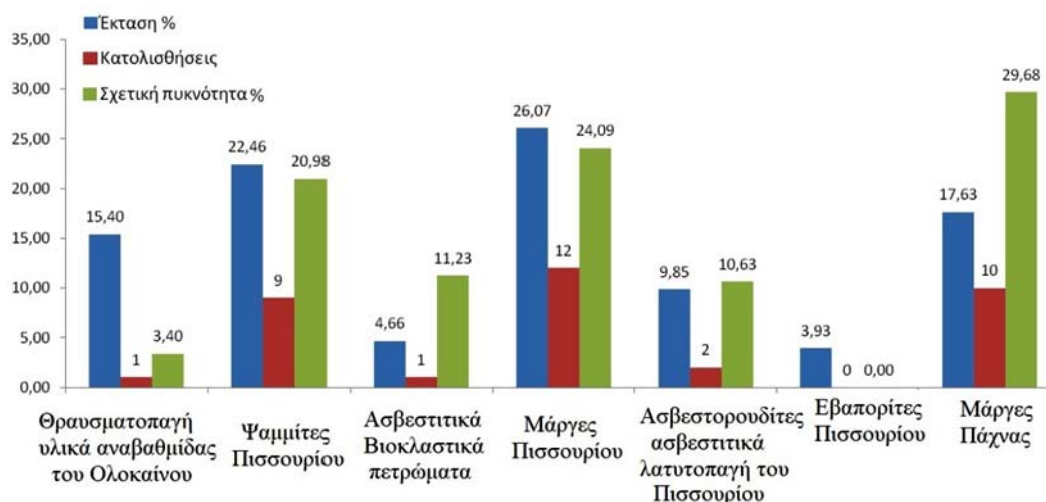
Η σχετική πυκνότητα των κατολισθητικών φαινομένων εντός των διαφόρων ζωνών επιδεκτικότητας συναντάται σε αρκετές μελέτες ως ένα επιπλέον μέτρο επαλήθευσης της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλου. Η σχετική πυκνότητα κατά την εκτίμησή της λαμβάνει υπόψιν τη συχνότητα των κατολισθήσεων στις διάφορες ζώνες επιδεκτικότητας, καθώς και το εμβαδόν που καταλαμβάνει κάθε ζώνη. Το ιδανικό μοντέλο θα πρέπει να διακρίνει με λεπτομέρεια τις θέσεις όπου θεωρείται πιθανή αστοχία, καθώς η ζώνη «πολύ υψηλή επιδεκτικότητα» καταλαμβάνει μικρή έκταση και μεγάλο αριθμό κατολισθήσεων.

3.2. Χωρική ανάλυση των παραμέτρων εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας – Αποτελέσματα

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και αφορά: α) τον υπολογισμό του ποσοστού που καταλάμβαναν οι επιμέρους κλάσεις κάθε παραμέτρου, β) τον υπολογισμό του αριθμού των κατολισθήσεων που εντοπίζονται εντός των επιμέρους κλάσεων για κάθε παράμετρο και γ) τον υπολογισμό της σχετικής πυκνότητας κατολισθήσεων. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης υπό μορφή διαγραμμάτων καθώς επίσης και η χωρική κατανομή των επιμέρους κλάσεων για το σύνολο των παραμέτρων.

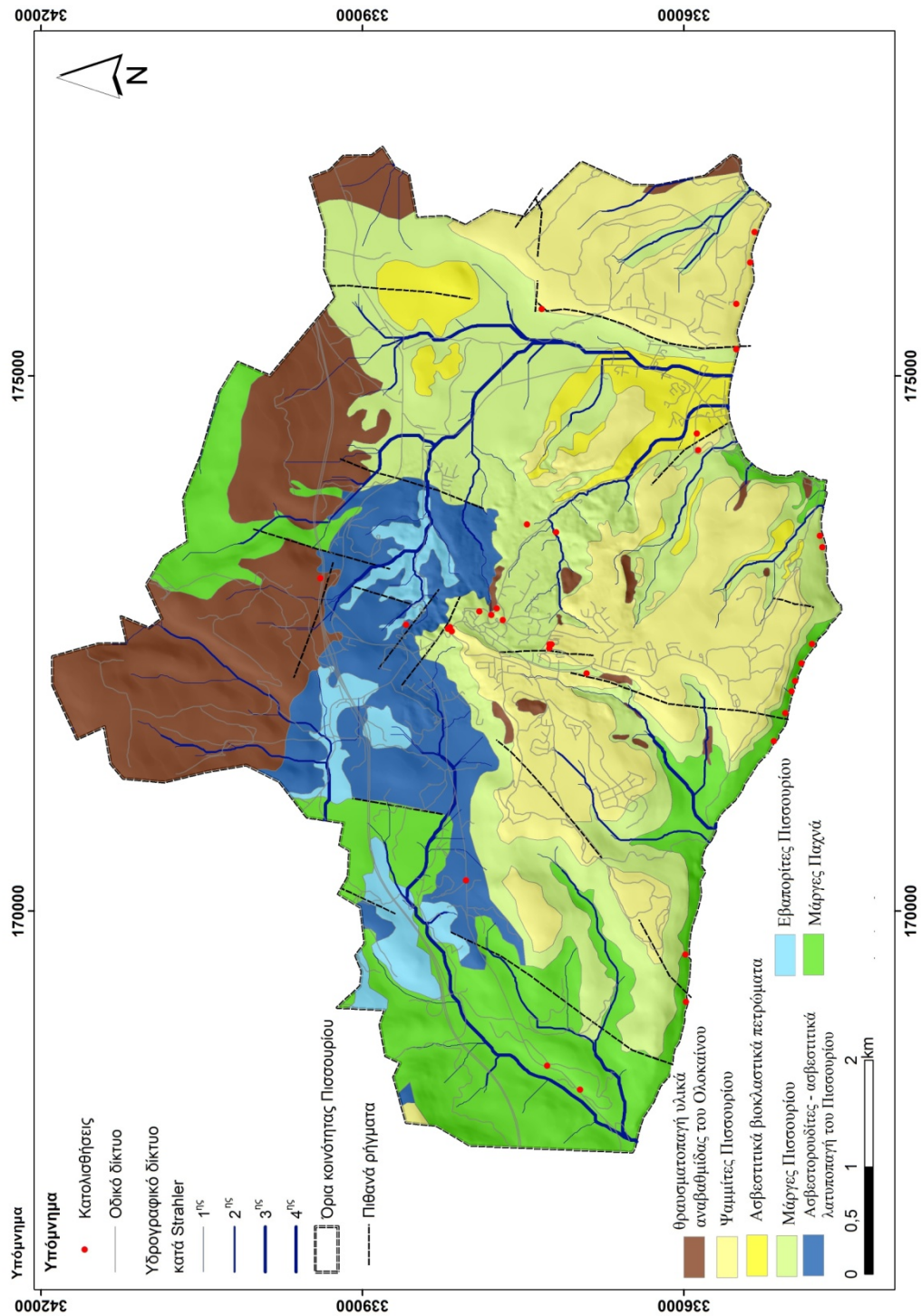
Επισημαίνεται ότι η σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων, εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψιν τον αριθμό των κατολισθήσεων στην κάθε κλάση σε συνάρτηση με το εμβαδόν της έκτασης που καταλαμβάνει η εκάστοτε κλάση. Όταν μια κλάση παρουσιάζει υψηλή σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων αυτό αποτελεί ένδειξη αντίστοιχα υψηλής πιθανότητας για εκδήλωση κατολισθητικού φαινομένου εντός της κλάσης αυτής.

Σε ότι αφορά στην παράμετρο των γεωλογικών σχηματισμών διαπιστώθηκε ότι η κοινότητα του Πισσουρίου καλύπτεται σε σημαντικό ποσοστό από Μάργες Πισσουρίου του σχηματισμού Λευκωσίας, Ψαμμίτες Πισσουρίου και Μάργες του σχηματισμού Πάχνας (Εικόνες 10 & 11). Ο μεγαλύτερος αριθμός κατολισθήσεων εντοπίζεται σε περιοχές που καλύπτονται από Μάργες Πισσουρίου του σχηματισμού Λευκωσίας (12 κατολισθήσεις), ακολούθως σε Μάργες του σχηματισμού Πάχνας (10 κατολισθήσεις) και σε Ψαμμίτες του Πισσουρίου (9 κατολισθήσεις). Υπολογίζοντας και τη σχετική πυκνότητα των κατολισθήσεων των επιμέρους κλάσεων διαπιστώθηκε ότι την υψηλότερη σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων κατέχουν οι Μάργες του σχηματισμού Πάχνας, ενώ ακολουθεί η Μάργα Πισσουρίου του σχηματισμού Λευκωσίας και οι Ψαμμίτες Πισσουρίου. Συμπερασματικά, οι συγκεκριμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί εμφανίζουν την μεγαλύτερη κατολισθητική επιδεκτικότητα.



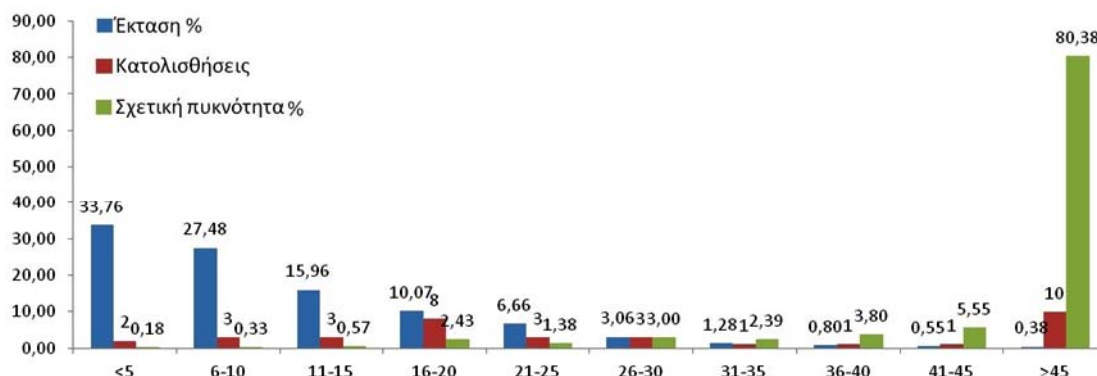
Εικόνα 10. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της γεωλογίας

Σε ότι αφορά στις μορφολογικές κλίσεις, το μεγαλύτερο ποσοστό της κοινότητας Πισσουρίου (33.76%) παρουσιάζει κλίσεις μικρότερες των 5° , με την μέση κλίση να εκτιμάται στις 10° . Η πλειονότητα των κατολισθήσεων που καταγράφηκαν εντοπίζονται σε περιοχές όπου χαρακτηρίζονται από κλίσεις μεγαλύτερες από 45° , ενώ και η σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων σε αυτές τις περιοχές είναι εξίσου υψηλή (80.38%). Παράλληλα σημαντικός αριθμός κατολισθήσεων καταγράφηκε και σε περιοχές όπου η κλίση κυμαίνεται από 16° έως 20° .



Εικόνα 11. Χάρτης Χωρικής κατανομής γεωλογικών σχηματισμών

Το διάγραμμα της εικόνας 14 παρουσιάζει αναλυτικά τα ποσοστά κάλυψης των κατηγοριών, καθώς και των λοιπών στοιχείων της χωρικής ανάλυσης, ενώ η εικόνα 15 την χωρική κατανομή των κατηγοριών που σχετίζονται με την μορφολογική κλίση.



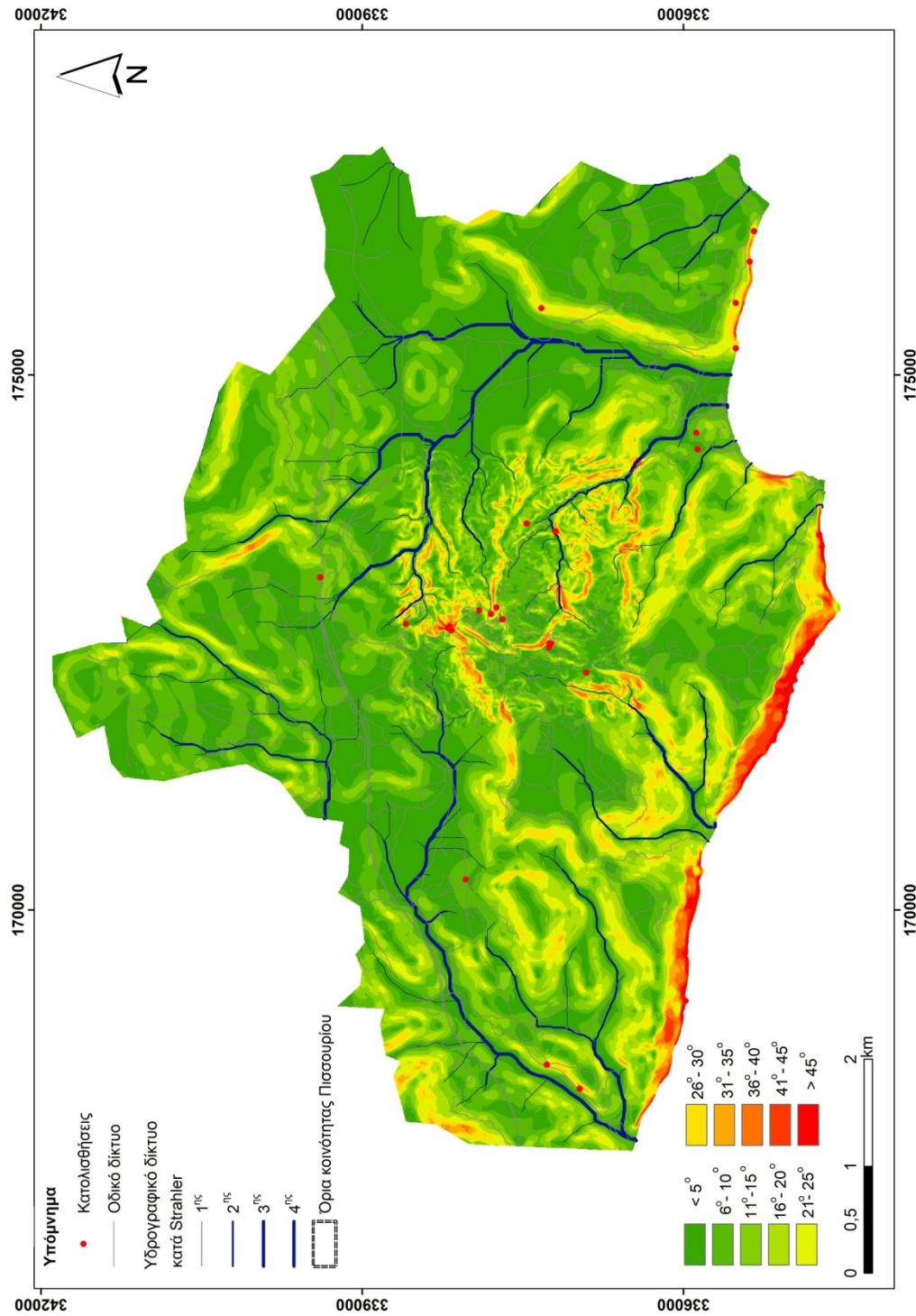
Εικόνα 12. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της μορφολογικής κλίσης

Η σχετική χωρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για την παράμετρο της διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων κατέδειξε ότι περίπου το 40% των πρηνών της περιοχής έχει νότιο – νότιο-ανατολική διεύθυνση κλίσης. Συγκεκριμένα, η νότια και η νότιο-ανατολική διεύθυνση κλίσης μοιράζονται το ίδιο ποσοστό, ενώ ακολουθεί με μικρότερο ποσοστό η νότιο-δυτική διεύθυνση. Η χωρική κατανομή της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων απεικονίζεται στην εικόνα 14 και το ποσοστό ανά κλάση στην εικόνα 15. Ο μεγαλύτερος αριθμός κατολισθήσεων εντοπίζεται σε περιοχές που παρουσιάζουν Νότια διεύθυνση κλίσης, ωστόσο την υψηλότερη σχετική πυκνότητα κατέχουν οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από Βόρεια διεύθυνση κλίσης.

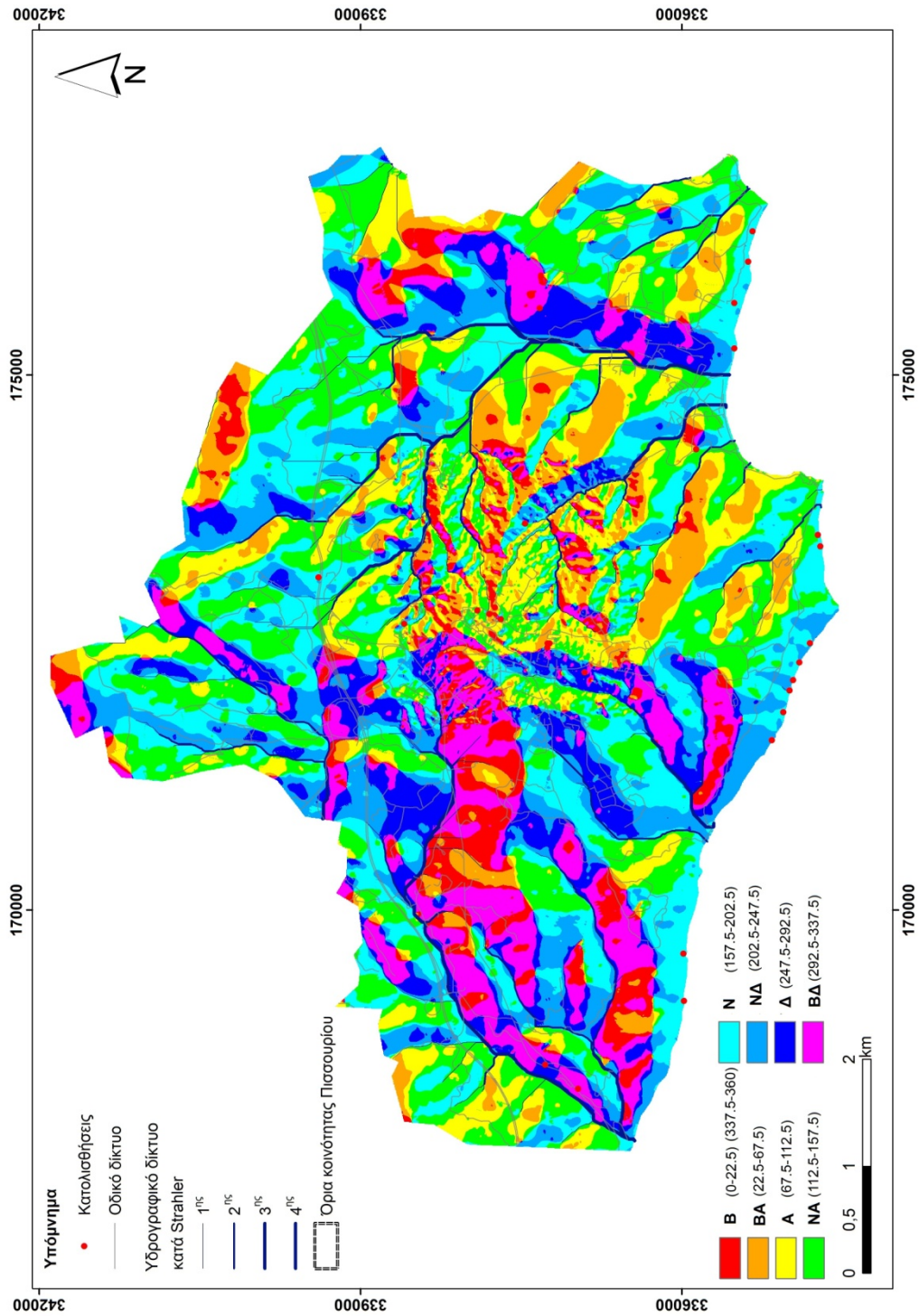
Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι στην εκδήλωση μιας κατολίσθησης σημαντική επίδραση έχει και η ύπαρξη του οδικού δικτύου. Η κατασκευή οδικού δικτύου πολύ συχνά προκαλεί διαταραχή της ισορροπίας και αλλαγή στη γεωμετρία των φυσικών πρηνών, διαμορφώνοντας συνθήκες που ευνοούν την αστοχία τους. Όπως διαπιστώθηκε η πλειονότητα των κατολισθήσεων που εντοπίζονται σε πρηνή με Βόρεια διεύθυνση κλίσης βρίσκονται παράλληλα και κατά μήκος του οδικού δικτύου. Επομένως η εκδήλωσή τους μπορεί να οφείλεται κυρίως στην εγγύτητά τους με το οδικό δίκτυο και όχι στον προσανατολισμό των πρηνών.

Σε ότι αφορά την απόσταση από τις τεκτονικές δομές, το 63.48% της περιοχής έρευνας, βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 300 μέτρα, ενώ οι υπόλοιπες κλάσεις παρουσιάζουν παρόμοια ποσοστά κάλυψης (Εικόνα 16). Κατά την ανάλυση του αριθμού των κατολισθήσεων που καταγράφονται διαπιστώθηκε ότι την μεγαλύτερη σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων παρουσιάζουν περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από 100 μέτρα συνεπώς θεωρείται ως η περισσότερο πιθανή στην εκδήλωση κατολισθητικών συμβάντων εξαιτίας της

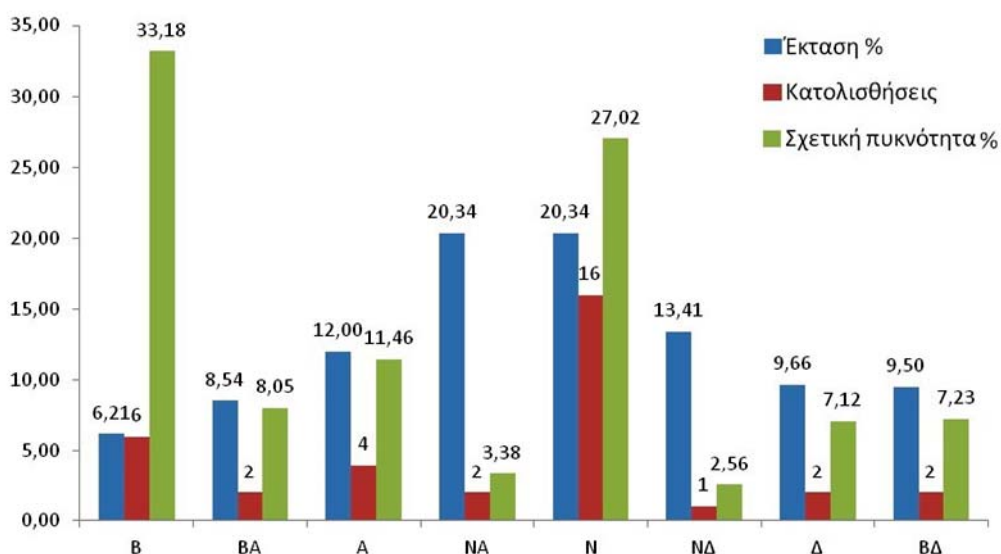
παρουσίας ρηξιγενούς ζώνης. Η χωρική κατανομή της απόστασης από τεκτονικές δομές απεικονίζεται στην εικόνα 17.



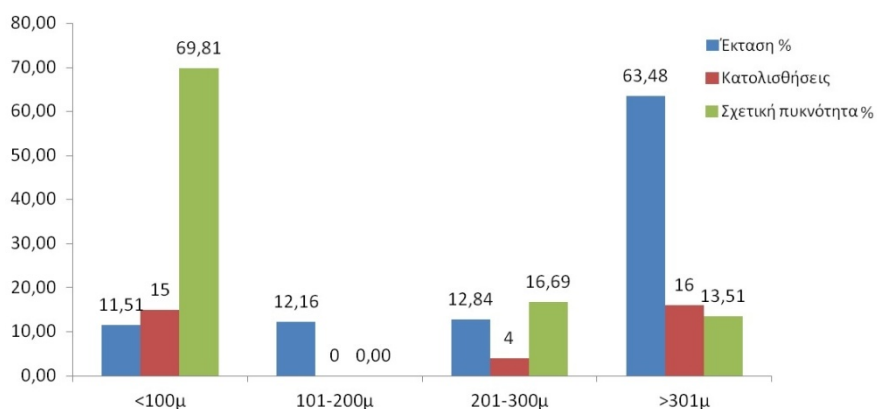
Εικόνα 13. Χάρτης Χωρικής κατανομής των μορφολογικών κλίσεων



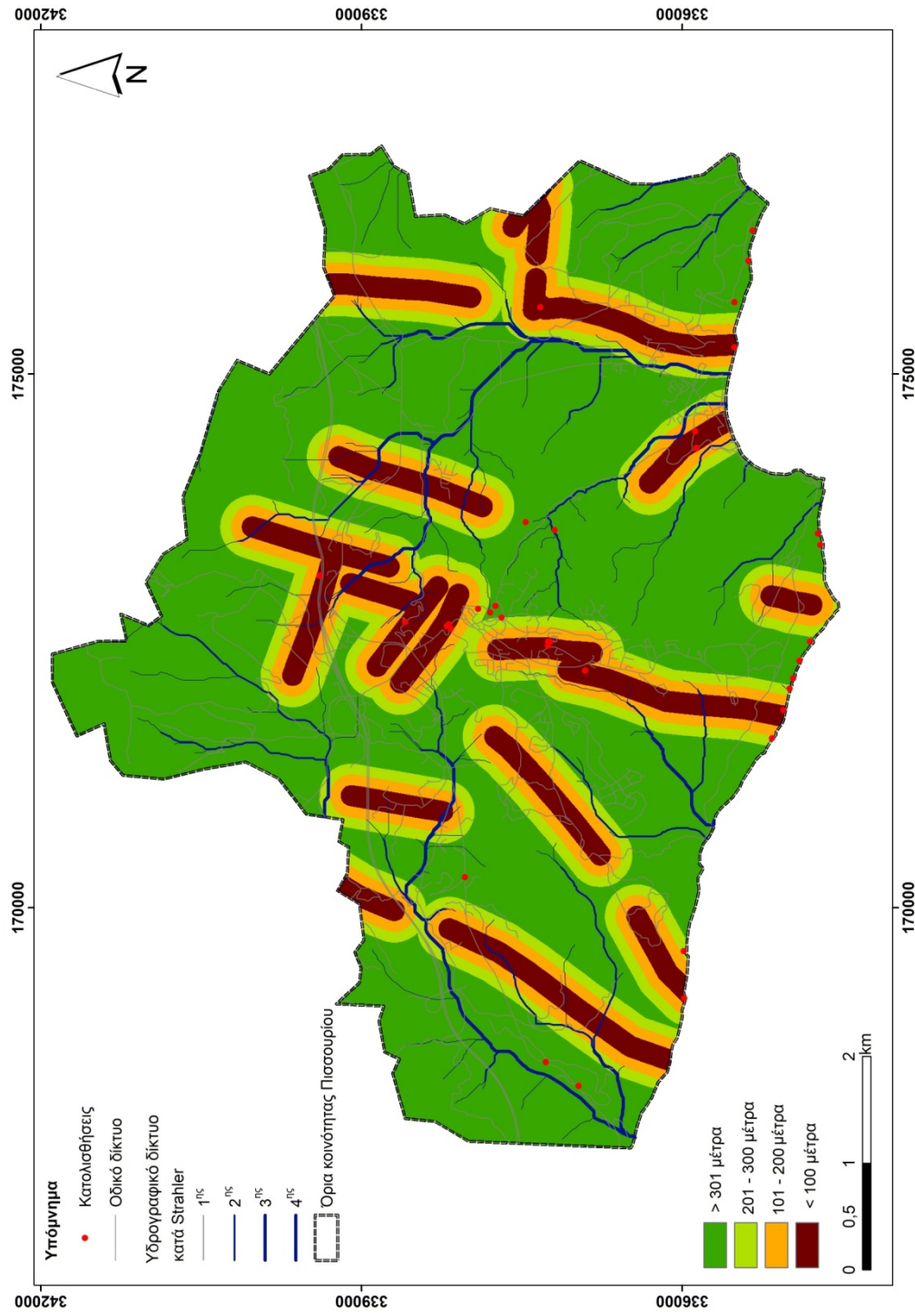
Εικόνα 14. Χάρτης χωρικής κατανομής των κλάσεων που αφορούν την διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων



Εικόνα 15. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων



Εικόνα 16. Διάγραμμα ποσοστού έκτασης, αριθμού κατολισθήσεων και σχετικής πυκνότητας για την παράμετρο της απόστασης από τις τεκτονικές δομές.



Εικόνα 17. Χάρτης Χωρικής κατανομής κλάσεων που αφορούν την απόσταση από τεκτονικές δομές .

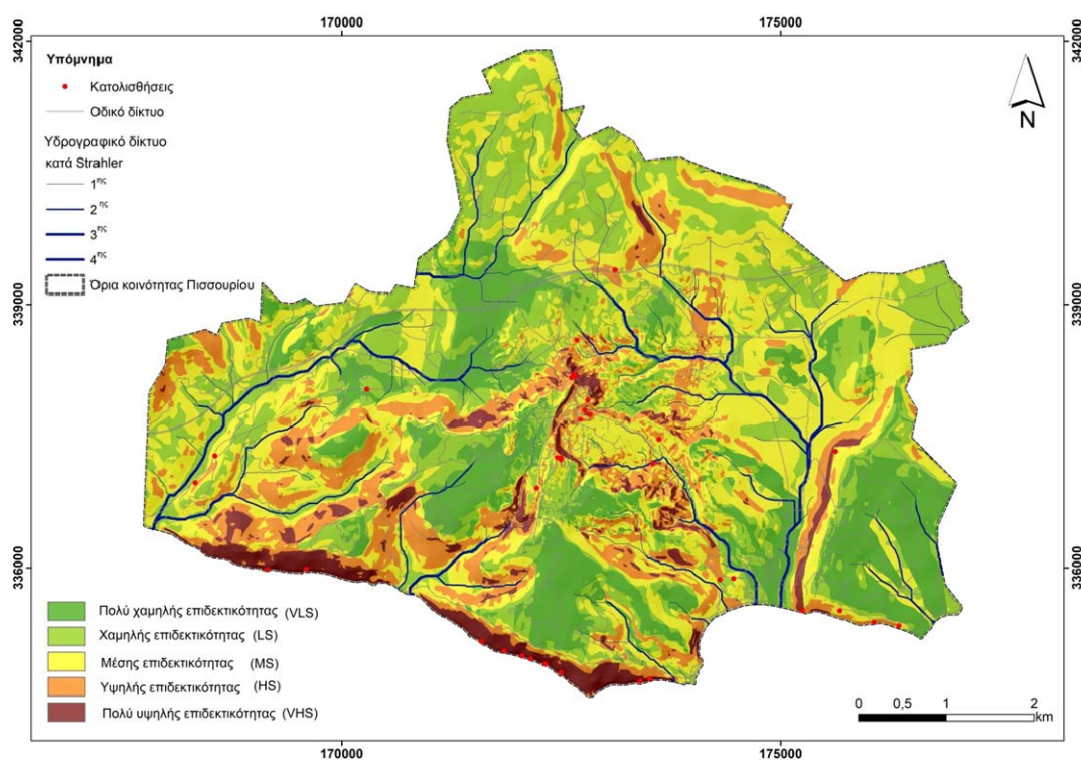
3.3. Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας

Με βάση την ακολουθούμενη μεθοδολογία, που περιγράφηκε εκτενώς στην παραγράφο 3.1.4, ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Εικόνα 18 & Χάρτης 1) προέκυψε ως άθροισμα των γινομένων των συντελεστών επιρροής και συντελεστών βαρύτητας ακολουθώντας την τεχνική των σταθμισμένων γραμμικών συνδυασμών. Ο χάρτης διαμορφώθηκε σε πέντε ζώνες διαβάθμισης οι οποίες είναι οι εξής: πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας, χαμηλής επιδεκτικότητας, μέσης επιδεκτικότητας, υψηλής επιδεκτικότητας και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.

Από την αξιολόγηση του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

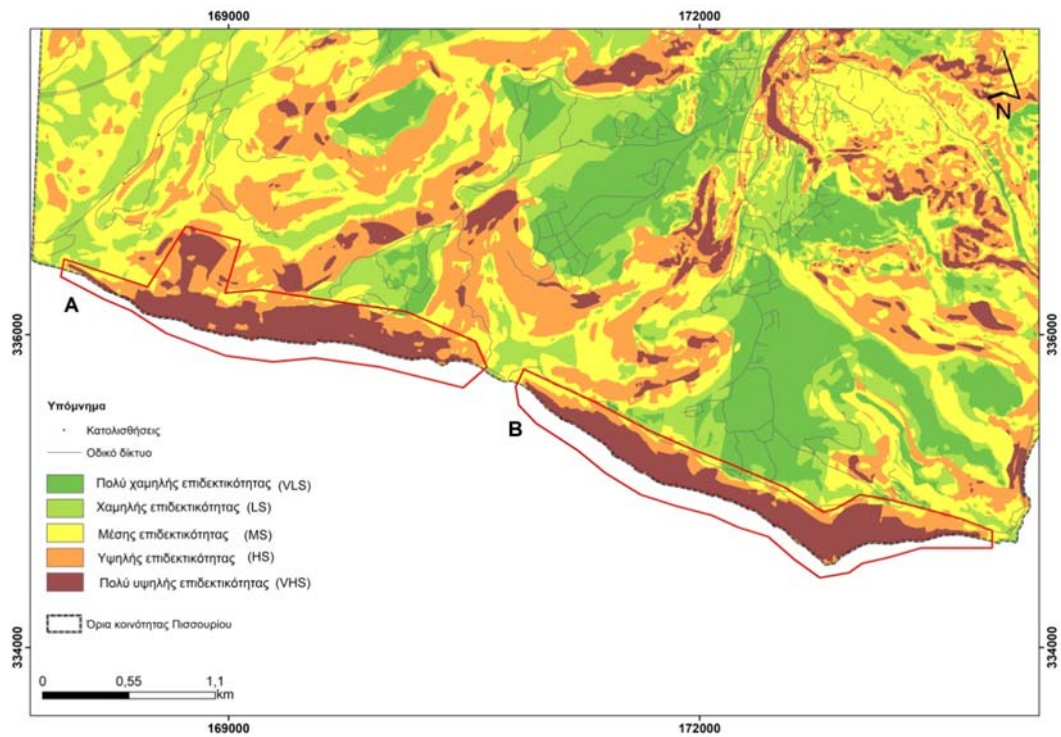
- Μόλις το 4.87% της περιοχής έρευνας ανήκει στη ζώνη πολύ υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας, ενώ η υψηλή κατολισθητική επιδεκτικότητα καταλαμβάνει το 14.95%.
- Για τη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας διαπιστώθηκε ότι στο μεγαλύτερο ποσοστό της δομείται από τους μαργαϊκούς σχηματισμούς Πισσουρίου και Πάχνας και οι κλίσεις της κυμαίνονται μεταξύ 25° έως 30° με διεύθυνση κλίσεων Ανατολική.
- Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι, σε ότι αφορά τις μορφολογικές κλίσεις και τη διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, διαπιστώθηκε και η ύπαρξη περιοχών πολύ υψηλής επιδεκτικότητας με κλίση και προσανατολισμό διάφορο από αυτό που αναφέρθηκε προηγουμένως, με λιγότερη όμως συχνότητα. Ως παράδειγμα επί της ανωτέρω επισήμανσης, στη ζώνη πολύ υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας εντάσσονται περιοχές που εντοπίζονται στις απόκρημνες ακτές στα νότια και νότιο-δυτικά της περιοχής έρευνας (Εικόνα 19). Οι συγκεκριμένες περιοχές (Α και Β), δομούνται από Μάργες του σχηματισμού Πάχνας και χαρακτηρίζονται από μορφολογικές κλίσεις μεγαλύτερες από 41° με νότιο προσανατολισμό.
- Πέριξ του οικισμού Πισσουρίου και της περιοχής Λιμνών εντοπίζονται περιοχές (Γ και Δ) με υψηλή έως πολύ υψηλή κατολισθητική επιδεκτικότητα (Εικόνα 20). Στην έκταση αυτή επικρατεί η Μάργα του Πισσουρίου και σε αρκετές θέσεις διαμορφώνονται πρηνή με κλίση μεγαλύτερη από 25°. Οι περιοχές αυτές είναι διαπιστωμένες ως επιδεκτικές αστοχιών και μάλιστα αποτελούν αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Στην περιοχή Γ, η πιθανή παρουσία ρήγματος, ενδεχομένως να εντείνει τις συνθήκες αστάθειας. Ενώ στη περιοχή Δ τα πρηνή της κύριας κατακρήμνισης της παλαιοκατολίσθησης χαρακτηρίζονται ως αναμένεται με πολύ υψηλή επιδεκτικότητα. Εναλλαγές υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας εντοπίζονται στα βόρεια και στα νότια της περιοχής των Λιμνών εκεί όπου εντοπίζονται αβαθή ρέματα που ρέουν στα περιθώρια της κατολισθαίνουσας μάζας.
- Αναλύοντας περαιτέρω τη χωρική κατανομή της κατολισθητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με το οδικό δίκτυο της κοινότητας διαπιστώθηκε ότι σημαντικό κομμάτι, περίπου το 11%, του οδικού δικτύου διέρχεται από περιοχές που χαρακτηρίζονται

από υψηλή και πολύ υψηλή επιδεκτικότητα. Στην παρούσα μελέτη το οδικό δίκτυο δεν θεωρείται ως παράμετρος που επιδρά επί της εκδήλωσης και εξέλιξης του φαινομένου των κατολισθήσεων αλλά ως έργου υποδομής που ενδεχομένως επηρεαστεί δυσμενώς. Από την αξιολόγηση των χαρτών διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του οδικού δικτύου, που εντάσσεται στη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας, διέρχεται από Μάργες Πισσουρίου, ενώ σημαντικό ποσοστό κατέχουν και οι Μάργες του σχηματισμού Πάχνας. Στην εικόνα 21 διακρίνονται 8 περιοχές (Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η, Θ) με υψηλή και πολύ υψηλή επιδεκτικότητα κατά μήκος του οδικού δικτύου. Στις θέσεις Α, Β και Θ, έχουν ήδη σημειωθεί αρκετές κατολισθήσεις στο παρελθόν, με πιθανή την εκδήλωση νέων αστοχιών ή επαναδραστηριοποίηση παλιότερων. Από αυτές τις περιοχές, η πιο κρίσιμη θεωρείται ότι είναι η Α, η οποία εντοπίζεται στις παρυφές του οικισμού του Πισσουρίου.

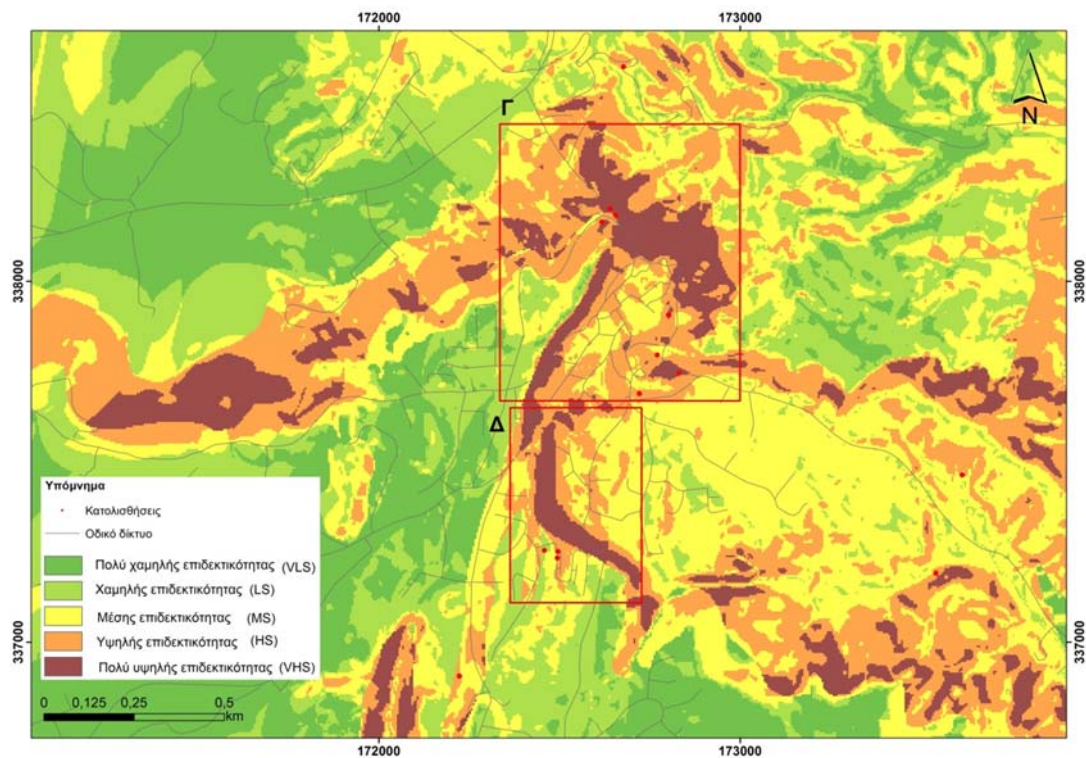


Εικόνα 18. Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Χάρτης 1).

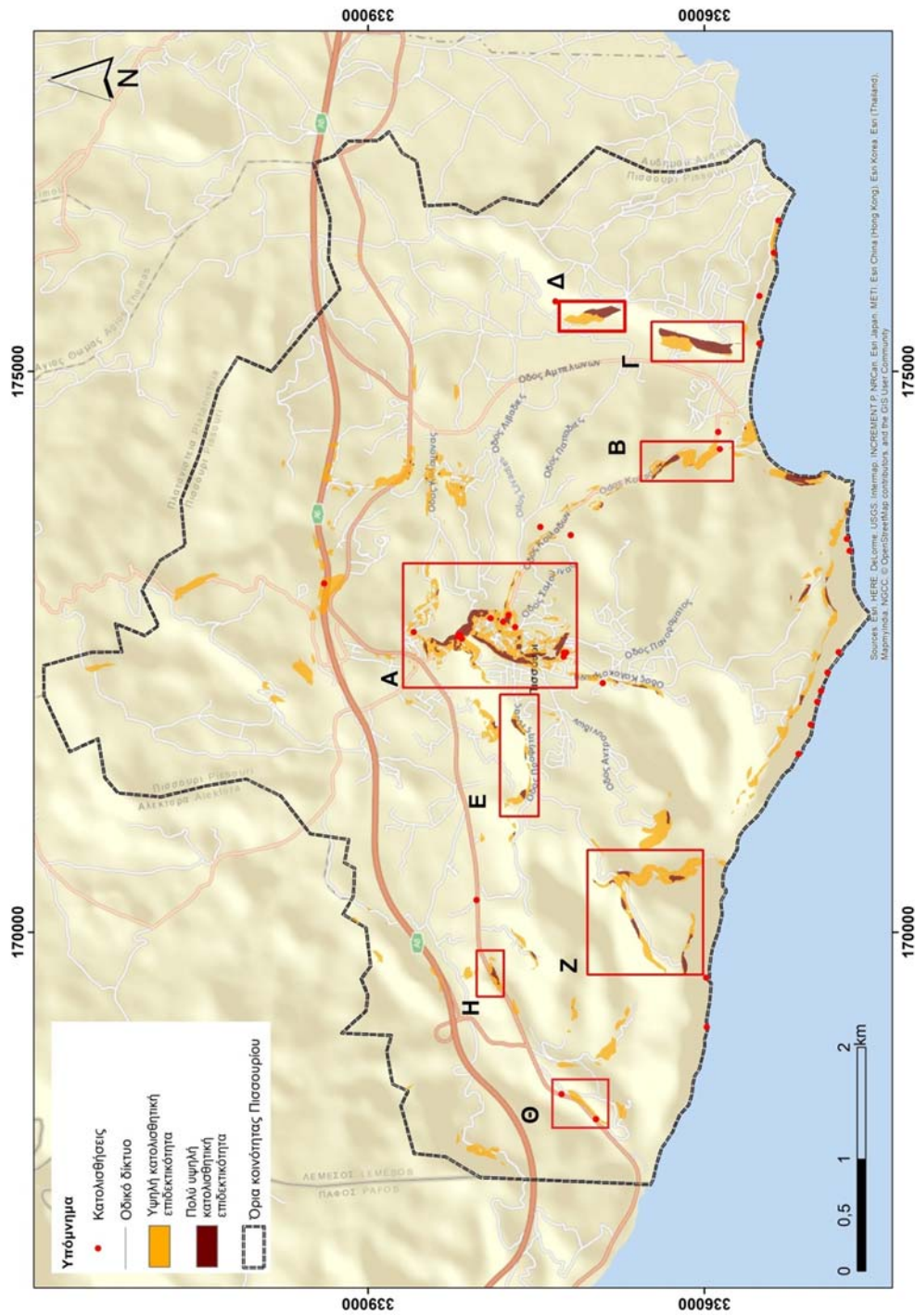
Για την επαλήθευση της προγνωστικής ικανότητας αξιοποιήθηκαν δυο μέθοδοι: α) η καμπύλη ικανότητας πρόβλεψης και β) η σχετική πυκνότητα. Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 22 η περιοχή κάτω από την καμπύλη υπολογίστηκε σε 0.8593, μια επίδοση αρκετά καλή. Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία, η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μοντέλο με πολύ καλή ακρίβεια πρόβλεψης.



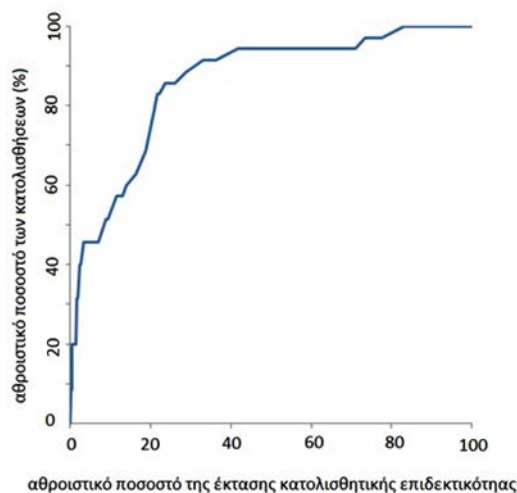
Εικόνα 19. Απόσπασμα χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας στις παραλιακές περιοχές Α και Β.



Εικόνα 20. Απόσπασμα χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας σε περιοχές περίξ του οικισμού Πισσουρίου και της περιοχής Λιμνών.

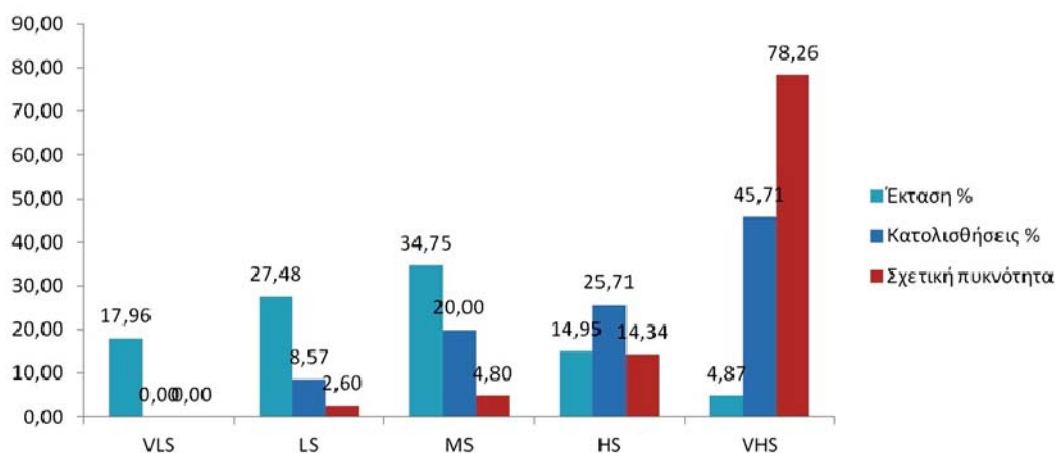


Εικόνα 21. Χάρτης των τμημάτων του οδικού δικτύου που διέρχονται από ζώνες υψηλής και πολύ υψηλής κατολισθητικής επίδεκτικότητας.



Εικόνα 22. Καμπύλες ικανότητας πρόβλεψης

Από το διάγραμμα της εικόνας 23 διαπιστώνεται ότι το ποσοστό της έκτασης που καταλαμβάνει η ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας (Very High Susceptibility, VHS), είναι το μικρότερο, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό κατολισθήσεων εντοπίζεται εντός της ζώνης αυτής. Η αθροιστική σχετική πυκνότητα των υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας ζωνών φτάνει το 92.60%, που πιστοποιεί περαιτέρω την εξαιρετική προγνωστική ικανότητα της μεθόδου που ακολουθήθηκε.



Εικόνα 23. Ζώνες κατολισθητικής επιδεκτικότητας και σχετική πυκνότητα κατολισθήσεων

Συμπερασματικά, ο παρεχόμενος χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας μπορεί να αποτελέσει στο μέλλον ένα αξιόπιστο επιτελικό εργαλείο για τον περαιτέρω σχεδιασμό έργων υποδομής αλλά και την ένταξη στο σχέδιο πόλεων νέων περιοχών.

4. ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο, με στόχο τη θεώρηση των κατολισθητικών κινήσεων στην περιοχή των Λιμνών, αναλύονται οι μηχανικές παράμετροι των γεωλογικών σχηματισμών και οι υδρογεωλογικές συνθήκες της στενής περιοχής ενδιαφέροντος και τέλος αξιολογούνται τα διαθέσιμα στοιχεία αναφορικά με τις μετακινήσεις και τις παραμορφώσεις στην περιοχή. Τα στοιχεία που σχετίζονται με τις παραμορφώσεις προέρχονται από τα δεδομένα των κλισιομέτρων, δεδομένα συμβολομετρίας καθώς και από επιτόπιες καταγραφές εδαφικών διαρρήξεων.

4.1. Αξιολόγηση των γεωτεχνικών παραμέτρων των σχηματισμών της περιοχής των Λιμνών

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών της στενής περιοχής των Λιμνών ανακτήθηκαν από τις διαθέσιμες γεωτεχνικές γεωτρήσεις του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης καθώς και από το αρχείο των υφιστάμενων μελετών.

Συγκεκριμένα τα δεδομένα που περιέχονται στις εκάστοτε μελέτες είναι τα εξής:

4.1.1. Γεωτεχνικές γεωτρήσεις του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης

Στην περιοχή των Λιμνών, από το 2013 έως το 2018, έχουν ανορυχθεί 14 γεωτεχνικές γεωτρήσεις από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης (Εικόνα 24). Οι γεωτρήσεις αυτές φτάνουν σε βάθη από 18,0 έως 67,5m, με τις μισές να μην υπερβαίνουν τα 25m (Πίνακας 2).

Σε ότι αφορά στα γεωτεχνικά δεδομένα που παρέχουν (Πίνακας 2), υπάρχει πλούσια πληροφόρηση για τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών και σχετικά περιορισμένη για τα μηχανικά. Συγκεκριμένα στο σύνολο των γεωτρήσεων για τις μάργες Πισσουρίου διατίθενται δεδομένα από πέντε δοκιμές τριαξονικής φόρτισης - UU, μία ταχεία δοκιμή διάτμησης και μια δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης. Για τους εβαπορίτες Καλαβασού διατίθενται δεδομένα από μια δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης και μια δοκιμή σημειακής φόρτισης. Ενώ για τα υλικά της κατολισθαίνουσας μάζας δεδομένα από δύο δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης.

Από το σύνολο των ανωτέρω δοκιμών, σε ότι αφορά στα μηχανικά χαρακτηριστικά, προκύπτουν τα ακόλουθα δεδομένα:

1) Για τα υλικά της κατολίσθησης:

- Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (UCS) 7,9-8,2 KPa

2) Για τις Μάργες Πισσουρίου:

- Δοκιμές Τριαξονικής φόρτισης -UU: Συνοχή 23,7 - 156,36 KPa
- Δοκιμές Τριαξονικής φόρτισης -UU: Γωνία εσωτερικής τριβής 3,6-16,1°



- Ταχείες δοκιμές διάτμησης: Συνοχή 20 KPa
- Ταχείες δοκιμές διάτμησης: Γωνία εσωτερικής τριβής 4°
- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (UCS): 110-132 KPa

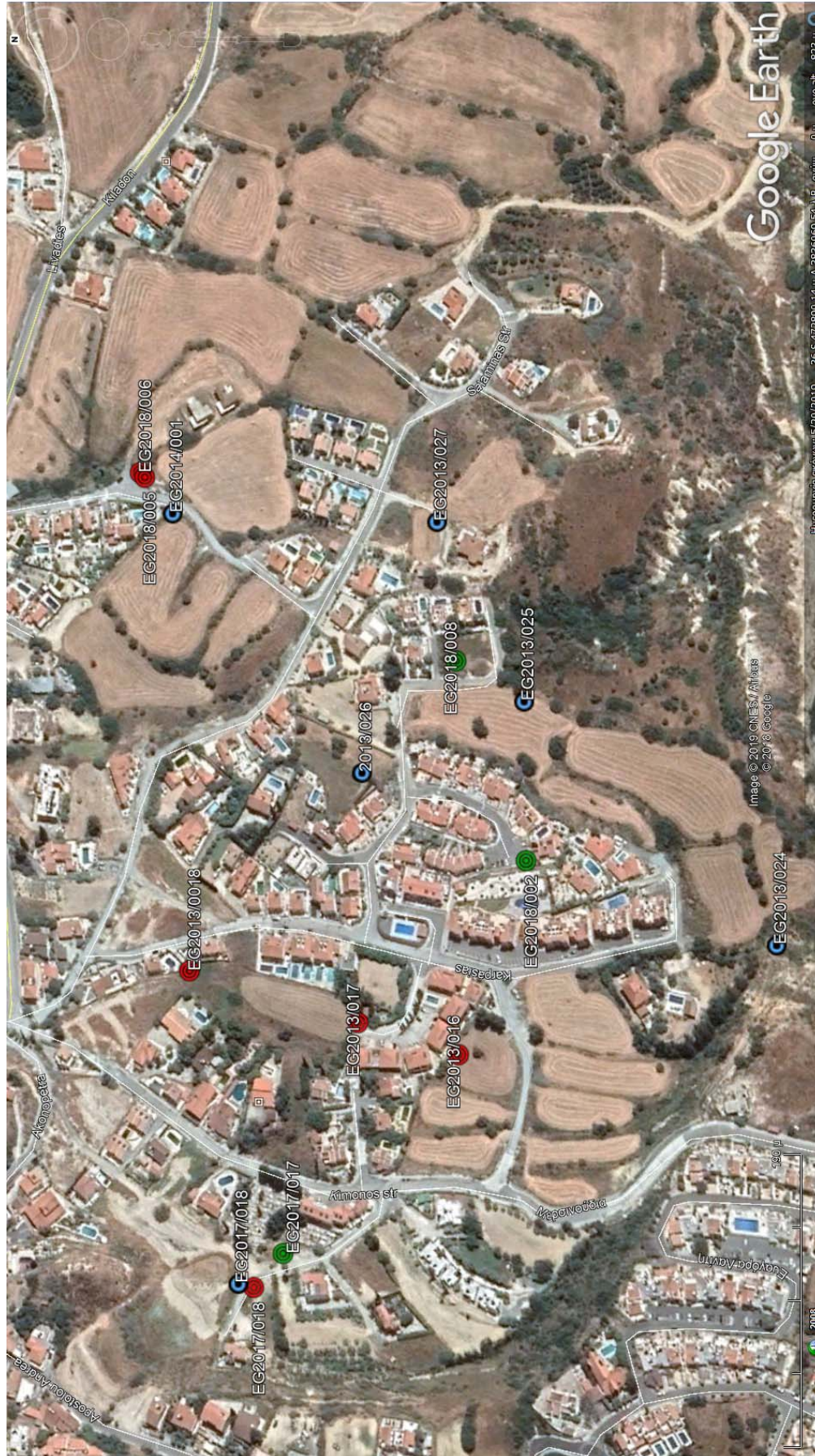
3) Για τους Εβαπορίτες Πισσουρίου:

- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (UCS): 2247 - 3498 KPa
- Αντοχή σημειακής φόρτισης: 0,18-0,25 MPa

Πίνακας 2. Καταγραφή των δεδομένων που παρέχουν οι γεωτεχνικές γεωτρήσεις

Έτος Ανόρυξης /Α.Α.	Βάθος Γεωτρ. (m)	Δεδομένα Δοκιμών			Παρατηρήσεις (Αριθμός δοκιμών)
		SPT	Φυσικές Παραμέτρους	Μηχανικές Παραμέτρους	
2018/002	30,0	X	X		
2018/005	67,5				
2018/006	21,0				
2018/008	21,0				
2017/017	21,5	X	X	X	
2017/018	18,5	X	X	X	
2014/001	41,5		X	X	
2013/017	25,0	X	X		
2013/016	25,0	X	X	X	
2013/018	18,0	X	X		
2013/024	40,0	X	X	X	
2013/025	41,5	X	X	X	
2013/026	41,5	X	X	X	
2013/027	41,5	X	X		

Μίαρες Πισσουρίου: 5 Triaxial Comp. Tests - UU,
1 Direct Shear Test , 1 UCS.
Εβαπορίτες Καλαβασού: 1 Point Load, 1 UCS
Υλικά κατολισθαίνουσας μάζας: 2 UCS



Εικόνα 24. Χάρτης χωρικής κατανομής των γεωτεχνικών γεωρήσεων στην περιοχή των Λιμνών. Επισημαίνονται οι θέσεις των ενεργών και κατεστραμμένων αποκλισημέτρων με πράσινα και κόκκινα σύμβολα, καθώς και οι θέσεις των γεωτεχνικών γεωρήσεων με μπλε σύμβολα.

4.1.2. Δεδομένα δημοσιευμένης εργασίας Hearn et al. (2018)

Η συγκεκριμένη εργασία περιέχει το πληρέστερο αρχείο φυσικών και μηχανικών παραμέτρων και προέρχεται από τις εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο συγκρότημα Vines 5 το 2012. Οι συγγραφείς έχουν διαχωρίσει τα υλικά σε αναμοχλευθέντα μαργαϊκά υλικά, μάργες Λευκωσίας και ιλιολιθικές μάργες Καλαβασού (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων σε αναμοχλευθέντα μαργαϊκά υλικά, μάργες Λευκωσίας και ιλιολιθικές μάργες Καλαβασού (Hearn et al., 2018).

	Αναμοχλευθέντα Μαργαϊκά Υλικά	Μάργες Λευκωσίας	Ιλιολιθικές Μάργες Καλαβασού
SPT (300mm)	5-13	7-31	9-35
Φαινόμενο Βάρος, γ (kN/m ³)	17,6-18,7	19,1-19,3	18,1-19,4
Ξηρό Φαινόμενο Βάρος, γ (kN/m ³)	13,5-13,8	14,2-14,8	13,6-14,8
Υγρασία, m (%)	30-37	29-35	30-33
Όριο Υδαρότητας LL (%)	44-51	61-65	55-73
Όριο Πλαστικότητας PL (%)	19-23	24-28	29-37
Δείκτης Πλαστικότητας PI (%)	23-31	25-37	28-39
Αστράγγιστη συνοχή, Cu (kPa)	80-135	180-254	300-401
Ανεμπόδιση θλίψη, UCS (kPa)	119-151	204-403	387-550
Ενεργή Γωνία Τριβής, Φ' (°)	26-28	27-31	30-32
Ενεργή Συνοχή, c' (kPa)	51-76	102-202	193-275
Μέτρο Ελαστικότητας, E (MPa)	5-15	12-30	-

Οι Hearn et al. (2018), παρά το γεγονός ότι δεν παρέχουν δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών για τις τιμές των παραμενουσών αντοχών επισημαίνουν ότι, για να ενεργοποιείται κατολίσθηση σε μάζα με μορφολογική κλίση της τάξης των 10° οι τιμές των Φ πρέπει να είναι χαμηλότερες από τις 10°.

4.1.3. Δεδομένα μελέτης Κυριακίδης Κ. (Νοέμβριος 2015)

Η συγκεκριμένη μελέτη αναφέρει ότι έχει αντλήσει τα γεωτεχνικά δεδομένα από τις γεωτρήσεις του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης και διαιρεί τους σχηματισμούς της περιοχής στις ακόλουθες λιθολογικές ενότητες:

1) Ορίζοντας ``κατολισθημένων υλικών`` (πάχους 13m) με τα ακόλουθα μηχανικά χαρακτηριστικά.

- Αυξημένη υδροπερατότητα, $2,9 \times 10^{-3}$ - $4,5 \times 10^{-5}$ cm/sec
- Υγρό φαινόμενο βάρος 1.7 - 2.0 KN/m³

- Πλαστικότητα Μέση - Υψηλή (CI-CH)
- Συνοχή 40 - 120KPa
- Γωνία εσωτερικής τριβής 25-30°
- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (UCS) 50-100 KPa
- Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (UCS) 25-50 KPa
- Αστράγγιστη συνοχή (Τριαξονική δοκιμή-UU) 30-100 KPa
- Γωνία εσωτερικής τριβής (Τριαξονική δοκιμή-UU) 15-20°

2) Ορίζοντας ``Πλειοκαινικός Σχηματισμός Λευκωσίας`` (Μάργες Πισσουρίου) με τα ακόλουθα μηχανικά χαρακτηριστικά.

- Μειωμένη υδροπερατότητα, 10^{-7} - 10^{-8} cm/sec
- Υγρό φαινόμενο βάρος 1.7 - 2.1 KN/m³
- Πλαστικότητα Υψηλή - Πολύ Υψηλή (CH-CV)
- Συνοχή 120 - 400KPa
- Γωνία εσωτερικής τριβής 20-30°
- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (UCS) 150-400 KPa
- Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (UCS) 75-200 KPa

3) Ορίζοντας ``Σχηματισμός Καλαβασού`` (Εβαπορίτες Πισσουρίου) με τα ακόλουθα μηχανικά χαρακτηριστικά.

- Μειωμένη υδροπερατότητα
- Υγρό φαινόμενο βάρος 1.7 - 2.1 KN/m³
- Πλαστικότητα Υψηλή - Πολύ Υψηλή (CH-CV)
- Συνοχή 200 - 500KPa
- Γωνία εσωτερικής τριβής 22-30°
- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (UCS) 200-500 KPa
- Αστράγγιστη διατμητική αντοχή(UCS) 100-250 KPa

4.1.4. Δεδομένα δημοσιευμένης εργασίας Αλεξανδρή κ.α. (2014)

Η συγκεκριμένη εργασία αναφέρει τα μηχανικά χαρακτηριστικά των εξαλλοιωμένων υλικών της μάργας Πισσουρίου που εντοπίζονται σε κατολισθαινούσα μάζα παρακείμενου πρανούς το οποίο έχει σταθεροποιηθεί. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη εργασία ``τα δείγματα από την ανώτερη εξαλλοιωμένη ζώνη της μάργας χαρακτηρίζονται ως άργιλοι - ιλύες υψηλής πλαστικότητας CH-MH, και αργιλικό κλάσμα (CF) που κυμαίνεται από 30 έως 60%. Από αργές δοκιμές άμεσης διάτμησης προέκυψαν ενεργές παράμετροι διατμητικής αντοχής ίσες με $c'=35$ kPa και $\phi'=21^\circ$ (peak strength). Δοκιμές δακτυλιοειδούς διάτμησης δείχνουν πως η παραμένουσα (residual) γωνία τριβής δεν παρουσιάζει μείωση σε σχέση με την μέγιστη ($\phi_r=21^\circ$), πιθανότατα επειδή οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε πιο ιλυώδη δείγματα (MH). Καθώς η σύσταση των υλικών ποικίλει από CH έως MH, στην πράξη η παραμένουσα γωνία τριβής μπορεί να είναι και χαμηλότερη.``

4.1.5. Δεδομένα δημοσιευμένης εργασίας Atalar & Das (2009)

Η συγκεκριμένη εργασία αναφέρει τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μαργών Λευκωσίας, όπως αυτά ελήφθησαν από αστράγγιστες δοκιμές. Οι συγγραφείς έχουν διαχωρίσει τα υλικά σε αναμοχλευθέντα, χακί (οξειδωμένες) μάργες και γκρι μάργες (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων της υγιούς και της αποσαθρωμένης μάργας Λευκωσίας σύμφωνα με τα δεδομένα αστράγγιστων δοκιμών.

	LL (%)	PL (%)	Cu(kPa)	Φu (°)	% Montmorillonite
Αναμοχλευθέντα Μαργαϊκά Υλικά	60-84	35-45	52-130	6.5-18.9	10-12
Χακί Οξειδωμένες Μάργες	66-119	38-79	140-960	2-20.1	9-26
Γκρι Μάργες	55-95	30-55	340-420	20	4-25

Συγκρίνοντας τις ανωτέρω πηγές γεωτεχνικών παραμέτρων γίνεται σαφές ότι:

- **Το πληρέστερο σύνολο φυσικών και μηχανικών παραμέτρων παρέχεται από την εργασία των Hearn et al. (2018), που βασίζεται σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο συγκρότημα Vines 5, το 2012.** Δεν διατίθενται όμως περισσότερα στοιχεία για την περαιτέρω αξιολόγησή τους, πλην του σχετικού πίνακα στη δημοσίευση.
- **Όλα τα δεδομένα, πλην αυτών της εργασίας των Hearn et al. (2018), παρουσιάζουν έλλειψη σε παραμέτρους βραδέων - αποστραγγιζόμενων δοκιμών.**
- **Στο σύνολό τους τα δεδομένα παρουσιάζουν έλλειψη σε τιμές παραμενουσών αντογών.**
- **Δεν υπάρχουν καθόλου γεωτεχνικά δεδομένα και γεωτρήσεις για τα πρανή που υπέρκεινται της περιοχής των Λιμνών.**

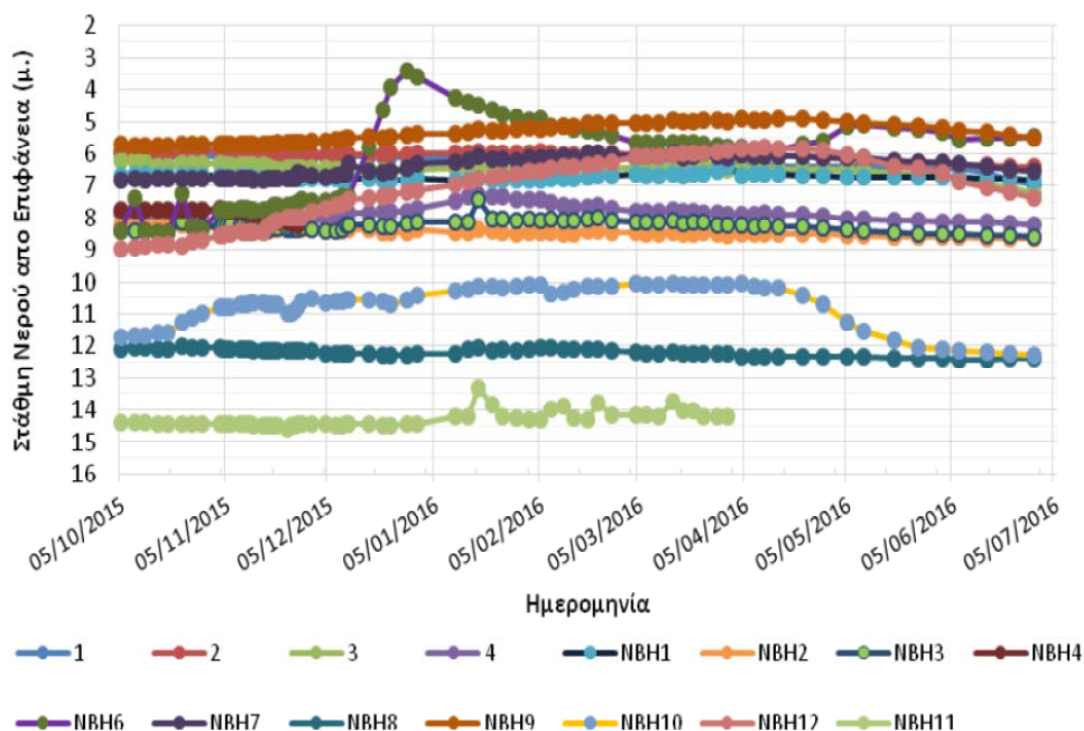
Εν κατακλείδι, η παράθεση των υφιστάμενων δεδομένων αναδεικνύει τις ελλείψεις που πρέπει να καλυφθούν σε προγραμματισμένες μελλοντικές μελέτες στη στενή περιοχή των Λιμνών.

4.2. Υδρογεωλογικές συνθήκες στη στενή περιοχή των Λιμνών

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής των Λιμνών παρουσιάζονται με μεγάλη σαφήνεια στην έκθεση των Χριστοφή & Ζήσιμου (2016). Σύμφωνα με την προαναφερόμενη έκθεση στη στενή περιοχή ενδιαφέροντος δεν αναπτύσσεται υδροφορία αξιόλογης δυναμικότητας καθώς οι μάργες παρουσιάζουν μικρή υδροπερατότητα. Ουσιαστικά σχηματίζεται ένα επικρεμάμενος υδροφόρος ορίζοντας εντός των διαταραγμένων υλικών της κατολισθαίνουσας μάζας, με κατάντη αδιαπέρατο όριο τις σχεδόν αδιαπέρατες μάργες, των σχηματισμών Λευκωσίας και Καλαβασού, που υπόκεινται της κατολισθαίνουσας μάζας.

Εξετάζοντας τη στάθμη των γεωτρήσεων διακρίνεται ότι το νερό ανέρχεται εποχιακά σε βάθος έως και 3m από την επιφάνεια. Ενώ, στάθμες της τάξης των 5-9m παρατηρούνται σε πολλά από τα πιεζόμετρα κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Η σχεδόν ανύπαρκτη ή πολύ μικρή ετήσια διακύμανση της στάθμης στα περισσότερα πιεζόμετρα (Εικόνα 25) είναι δηλωτική της χαμηλής περατότητας των σχηματισμών της κατολισθαίνουσας μάζας.

Εξετάζοντας το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης διαπιστώνεται έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των γεωτρήσεων. Μάλιστα η διαφοροποίηση αυτή είναι δυσανάλογα μεγάλη για τη μικρή σε έκταση περιοχή των Λιμνών. Χαρακτηριστικά στα δεδομένα που παραθέτονται στην έκθεση των Χριστοφή & Ζήσιμου (2016) φαίνεται ότι η διακύμανση του απόλυτου υψομέτρου της στάθμης μεταξύ των γεωτρήσεων φτάνει έως και τα 80m (διακύμανση απόλυτης στάθμης ~148μ. – 228μ.). Το ανωτέρω ενδεχομένως να υποδηλώνει ότι ο επικρεμάμενος υδροφόρος της περιοχής των Λιμνών είναι κατακερματισμένος σε επιμέρους υδροφόρους.



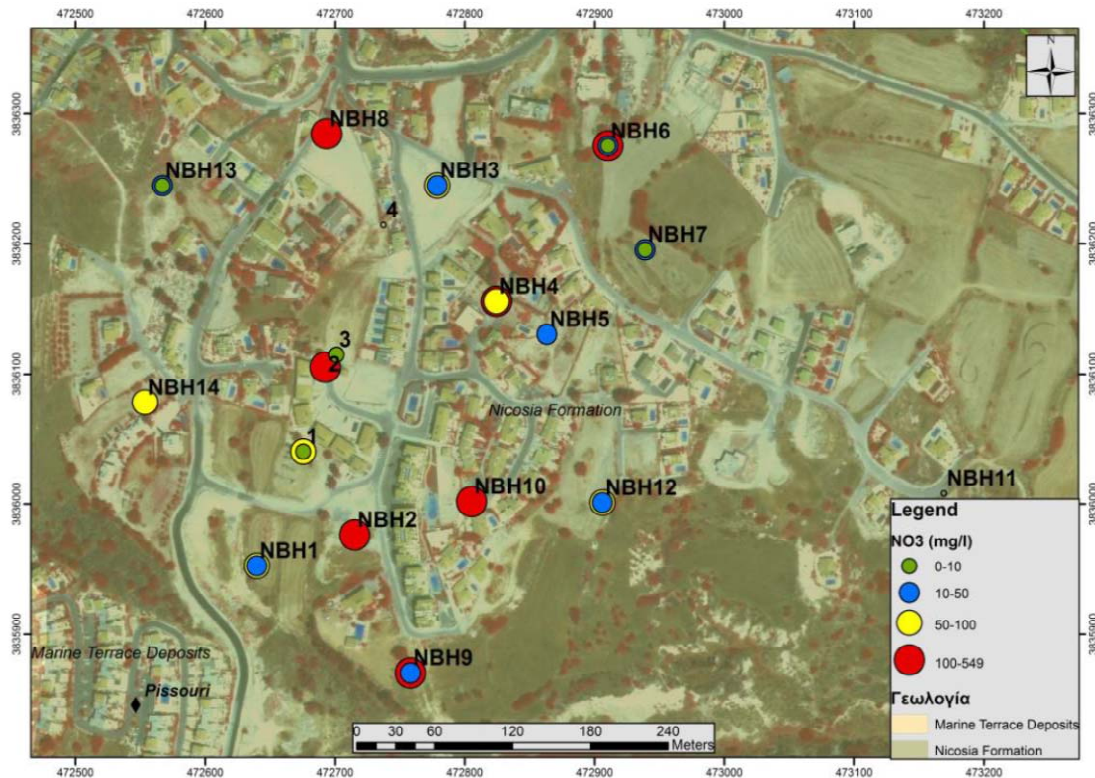
Εικόνα 25. Διακύμανση της στάθμης του επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα κατά την περίοδο 5/10/2015 έως 5/7/2016 (Χριστοφή & Ζήσιμος, 2016).

Ένα επιπλέον στοιχείο που συνηγορεί προς την κατεύθυνση κατακερματισμού του επικρεμάμενου υδροφόρου είναι τα διαφορετικά υψόμετρα στα οποία εμφανίζονται επιφανειακές αναβλύσεις. Συγκεκριμένα εκτός από δυο επιφανειακές αναβλύσεις που εμφανίζονται στις κοίτες των δύο ρεμάτων που περιβάλλουν την κατολισθαίνουσα μάζα, εκδηλώνονται και αναβλύσεις σε θέσεις εντός της μάζας της κατολίσθησης (Εικόνα 26) με σημαντική υψομετρική διαφορά από αυτές των ρεμάτων.

Σε ότι αφορά στον χημισμό των υπόγειων υδάτων, από τις χημικές αναλύσεις που παρουσιάζονται στην έκθεση των Χριστοφή & Ζήσιμου (2016) γίνεται σαφές ότι τα υπόγεια ύδατα είναι επιβαρημένα. Συγκεκριμένα καταγράφονται πολύ ψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας οι οποίες αποδίδονται στην περιορισμένη τροφοδοσία του υδροφόρου καθώς και στη διάλυση των εβαποριτών. Επιπλέον πολλά από τα δειγμάτων έχουν ψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, που σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνούν ακόμα και τα 500 ppm (Εικόνα 27). Προφανώς, η οικιστική ανάπτυξη σε συνδυασμό με την απουσία αποχετευτικού δικτύου είναι τα κύρια αίτια της συγκεκριμένης επιβάρυνσης. Χαρακτηριστικά, στην εικόνα 28 παρουσιάζεται θέση εντός της κοίτης του ρέματος που διέρχεται από τα νότια της κατολισθαίνουσας μάζας στην οποία αναβλύζουν λύματα.



Εικόνα 26. Θέση στο ΝΑ τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας που εκδηλώνεται επιφανειακή ανάβλυση του υπόγειου υδροφόρου.



Εικόνα 27. Χωρική κατανομή των νιτρικών στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις της περιοχής των Λιμνών (Χριστοφή & Ζήσιμος, 2016).



Εικόνα 28. Επιφανειακή ανάβλυση μολυσμένων υπόγειων υδάτων - λυμάτων εντός του ρέματος που διέρχεται από τα νότια της κατολισθαίνουσας μάζας.

4.3. Αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων παραμορφώσεων της περιοχής των Λιμνών

Για τη διερεύνηση των παραμορφώσεων αξιολογήθηκαν δεδομένα προερχόμενα από τις γεωτεχνικές γεωτρήσεις και τα κλισιόμετρα που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, οι καταγραφές των επιφανειακών διαρρήξεων και των ζημιών σε κτίρια δομημένα επί της κατολισθαίνουσας μάζας και δεδομένα συμβολομετρίας από την έκθεση της NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting (2018).

4.3.1. Δεδομένα γεωτεχνικών γεωτρήσεων και κλισιομετρήσεων

Πέραν των γεωτεχνικών δεδομένων οι γεωτρήσεις προφανώς μας δίνουν πολύτιμες πληροφορίες για τη στρωματογραφία, το πάχος της κατολισθαίνουσας μάζας, την παρουσία ζωνών διάτμησης κ.α. Οι πληροφορίες αυτές πέραν της αναγκαιότητάς τους για την ερμηνεία του μηχανισμού της κατολίπησης είναι απαραίτητες και για τη δόμηση των όποιων μοντέλων προσομοίωσης.

Συγκεκριμένα, από την αξιολόγηση των γεωτρητικών προφίλ (Πίνακας 5) προέκυψαν τα ακόλουθα δεδομένα αναφορικά με το βάθος της κατολισθαίνουσας μάζας:

- Η ζώνη που χαρακτηρίζεται με σαφήνεια ως έντονα διαταραγμένη από τις κατολισθητικές κινήσεις, και ονοματίζεται στα προφίλ των γεωτρήσεων ως ζώνη ``κατολισθημένων υλικών``, φτάνει στο δυτικότερο άκρο της κατολισθαίνουσας μάζας (EG2017/018) έως το βάθος των 18,5m και στο νοτιότερο άκρο (EG2017/018) έως το βάθος των 16m.
- Σε πολλές από τις γεωτρήσεις δεν γίνεται καμία αναφορά στην παρουσία ``κατολισθημένων υλικών``. Αντιθέτως υπάρχει διάκριση μεταξύ μαλακής ή χαλαρής και υγιούς ή σκληρής μάργας. Το όριο αυτό εντοπίζεται σε βάθη που φτάνουν ή και υπερβαίνουν τα 25m σε αρκετές από τις γεωτρήσεις (π.χ. EG2013/025 και EG2013/017).
- Επιφάνειες διάτμησης εντοπίζονται σε βάθη που υπερβαίνουν κατά πολύ το όριο της μάζας που περιγράφεται να έχει διαταραχθεί από την κατολίπηση και εντοπίζονται και εντός της ζώνης που χαρακτηρίζεται ως χαλαρή ή μαλακή μάργα. Για παράδειγμα στη γεώτρηση EG2013/16 η μάζα που περιγράφεται να έχει διαταραχθεί από την κατολίπηση φτάνει έως το βάθος των 8,5m ενώ σε βάθος 24,5 m και εντός ζώνης που χαρακτηρίζεται ως μαλακή μάργα εντοπίζονται επιφάνειες διάτμησης. Το ίδιο συμβαίνει και στη γεώτρηση 2013/024 όπου η κατολισθαίνουσα μάζα επισημαίνεται έως το βάθος των 16m, ενώ σε βάθος 39,2m εντοπίζεται επιφάνεια ολίπησης εντός στρώσης μαλακών μαργών που εκτείνονται από το βάθος των 28m έως το πέρας της γεώτρησης στο βάθος των 40m.

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τις περιγραφές το μέγιστο πάχος της κατολισθαίνουσας μάζας φτάνει έως τα 18,5m ενώ οι μαλακές και διαταραγμένες μάργες φτάνουν κατά

θέσεις έως και κάτω από τα 40m (π.χ. EG2013/024). Επίσης διακρίνεται ότι υπάρχουν σαφή ίχνη επιφανειών διάτμησης εντός της χαλαρής μάζας των μαργαϊκών υλικών έως και βάθη που φτάνουν και τα 39m. Δηλαδή σύμφωνα με τα δεδομένα των γεωτρήσεων έως και τα 39m έχουν στο απώτερο ή και στο πρόσφατο παρελθόν λάβει χώρα μετακινήσεις. Επίσης φαίνεται ότι το βάθος της επιφάνειας ολίσθησης της παλαιοκατολίσθησης που έχει καταγραφεί στην περιοχή των Λιμνών πρέπει να είναι σε πολύ μεγαλύτερο από αυτό των 18,5m.

Από τα ανωτέρω αναφορικά με τις περιγραφές, γίνεται σαφές ότι από τα προφίλ των γεωτεχνικών γεωτρήσεων και τις παρεχόμενες περιγραφές δεν μπορούν να προκύψουν απόλυτα σαφή συμπεράσματα για το μέγιστο πάχος της διαταραγμένης από την κατολίσθηση μάζας. Αυτό οφείλεται και στις διαφοροποιήσεις που υπάρχουν στις περιγραφές των γεωλόγων που αξιολόγησαν τα δείγματα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Συνοπτική παρουσίαση των γεωλογικών περιγραφών των γεωτεχνικών γεωτρήσεων. Επισημαίνονται τα μέγιστα βάθη που εμφανίζονται οι εκάστοτε σχηματισμοί και δομές.

Έτος Ανόρυξης /Α.Α.	Βάθος Γεωτρ. (m)	Γεωλογικές Περιγραφές (m)			Βάθη Επιφανειών Διάτμησης
		Υλικά Κατολίσθησης	Μαλακή Μάργα	Ισχυρή Μάργα	
2018/002	30,0		0,0-19,5	19,5-30,0	
2018/005	67,5		0,0-12,5	12,5-67,5	
2018/006	21,0		0,0-12,5	12,5-21,0	
2018/008	21,0		0,0-16,0	16,0-21,0	
2017/017	21,5		0,0-21,5		
2017/018	18,5	0,0- 18,5			
2014/001	41,5			2,5-41,5	26,0
2013/017	25,0	0,0-12	12,0- 25,0		23-23,1
2013/016	25,0	0,0-8,5	8,5- 25,0		24,5-25,0
2013/018	18,0	0,0-13,0	13,0-18,0		14,2
2013/024	40,0	0,0- 16,0	16,0- 40,0		39,2
2013/025	41,5	0,0-11,5	11,5- 25,0	25,0-41,5	
2013/026	41,5	0,0-12,0	12,0-19,0	19,0-41,5	
2013/027	41,5		0,0-13,5	13,5-41,5	15,8 / 23,8 / 26,0

Σε ότι αφορά στην αξιολόγηση των κλισιομετρήσεων τα συμπεράσματα είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα. Για την σαφέστερη παρουσίασή τους στις επόμενες σελίδες παραθέτονται τα διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος για όλα τα κλισιόμετρα που έχουν εγκατασταθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η αξιολόγηση των μετρήσεων γίνεται αρχικά μεταξύ των κλισιομέτρων που έχουν εγκατασταθεί το ίδιο έτος (2013, 2017, 2018), ενώ στο τέλος παραθέτονται και συμπεράσματα από τη συνολική αξιολόγηση των δεδομένων.

Από την αξιολόγηση των κλισιομετρήσεων των γεωτρήσεων EG2013 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι γεωτρήσεις έχουν κατασκευαστεί σε ένα νοητό άξονα ανάντη και παράλληλα της οδού Καρπασίας (Εικόνα 24).
- Και στις τρεις γεωτρήσεις που κατασκευάστηκαν το 2013 (EG2013/018, EG2013/017, EG2013/016) είναι διακριτή και σαφώς ορισμένη η στάθμη της επιφάνειας ολίσθησης.
- Το μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων είναι ως αναμένεται στο κεντρικό τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας, στη γεώτρηση EG2013/017 (Εικόνα 30), και η επιφάνεια ολίσθησης εντοπίζεται σε βάθος 23m.
- Στις εκατέρωθεν γεωτρήσεις EG2013/018 (Εικόνα 29) και EG2013/018 (Εικόνα 31) η επιφάνεια ολίσθησης εντοπίζεται σε βάθη 6m και 19m αντίστοιχα.

Από την αξιολόγηση των κλισιομετρήσεων των γεωτρήσεων EG2017 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι γεωτρήσεις έχουν κατασκευαστεί μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και του νεκροταφείου. Εκατέρωθεν της οδού Ευάγγελου Φλωράκη (Εικόνα 24).
- Το μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων είναι τα 18m για τη γεώτρηση EG2017/017 (Εικόνα 33) και τα 14,5m για την EG2017/018 (Εικόνα 32).
- Οι μετακινήσεις δεν αναδεικνύουν μια σαφώς ορισμένη επιφάνεια ολίσθησης αλλά αναπτύσσονται σε μία ζώνη που εκτείνεται από το μέγιστο βάθος καταγραφής των μετακινήσεων έως την επιφάνεια με αυξανόμενους ρυθμούς. Πρακτικά οι μετακινήσεις ελάμβαναν χώρα ωσάν να υπάρχουν αλλεπάλληλες επιφάνειες διάτμησης εντός της κατολισθαίνουσας μάζας επί των οποίων ελάμβαναν χώρα διαδοχικές ολισθήσεις.

Από την αξιολόγηση των κλισιομετρήσεων των γεωτρήσεων EG2018 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι γεωτρήσεις του 2018 έχουν κατασκευαστεί στο μέσο της κατολισθαίνουσας μάζας κατά μήκος μια νοητής ευθείας που συνδέει την οδό Κοιλιάδων με το πέρας της οδού Καρπασίας (Εικόνα 24).
- Στα δύο από τα τρία κλισιόμετρα, EG2018/002 (Εικόνα 35) και EG2018/008 (Εικόνα 35), το σύνολο του μήκους τους βρίσκεται εξολοκλήρου εντός της κατολισθαίνουσας μάζας, με αποτέλεσμα να μην είναι διακριτή η στάθμη της επιφάνειας ολίσθησης.
- Στα ανωτέρω κλισιόμετρα, EG2018/002 (Εικόνα 35) και EG2018/008 (Εικόνα 36), οι μετακινήσεις δεν αναδεικνύουν μια σαφώς ορισμένη επιφάνεια ολίσθησης αλλά αναπτύσσονται σε μία ζώνη που εκτείνεται από το μέγιστο βάθος καταγραφής των μετακινήσεων έως την επιφάνεια με αυξανόμενους ρυθμούς. Δηλαδή και σε αυτά τα κλισιόμετρα οι μετακινήσεις ελάμβαναν χώρα ωσάν να υπάρχουν αλληπάλλληλες επιφάνειες διάτμησης εντός της κατολισθαίνουσας μάζας επί των οποίων ελάμβαναν χώρα διαδοχικές ολισθήσεις.
- Το γεγονός ότι καταγράφονται μετακινήσεις σε όλο το μήκος των κλισιομέτρων EG2018/002 και EG2018/008 υποδηλώνει ότι έχουν εγκατασταθεί εξολοκλήρου εντός της κινούμενης μάζας και δεν υπερβαίνουν την επιφάνεια ολίσθησης.
- Αντιθέτως, στο κλισιόμετρο EG2018/006 (Εικόνα 34) το βάθος της επιφάνειας ολίσθησης είναι σαφώς διακριτό στο βάθος των 11,5m.

Συναξιολογώντας όλα τα δεδομένα κλισιομετρήσεων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Σε όλα τα κλισιόμετρα καταγράφηκαν μετακινήσεις αμέσως μετά την εγκατάστασή τους. Δηλαδή οι κατολισθητικές κινήσεις ήταν ενεργές από το 2013.
- Το ανώτερο τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας (ανάντη του νεκροταφείου) παρουσίαζε ολισθήσεις έως και το βάθος των 18m χωρίς όμως να διακρίνεται μια σαφώς ορισμένη επιφάνεια ολίσθησης. Πρακτικά οι μετακινήσεις ελάμβαναν χώρα ωσάν να υπάρχουν αλληπάλλληλες επιφάνειες διάτμησης εντός της κατολισθαίνουσας μάζας επί των οποίων ελάμβαναν χώρα διαδοχικές ολισθήσεις.
- Αντίστοιχου τύπου μετακινήσεις καταγράφονται και στο μέσο της κατολισθαίνουσας μάζας, στις θέσεις των κλισιομέτρων EG2018/002 και EG2018/008.
- **Από τα δύο ανωτέρω συμπεράσματα διαφαίνεται η πιθανή παρουσία επάλληλων ενεργών επιφανειών διάτμησης σε διαφορετικές στάθμες της ολισθαίνουσας μάζας, αντίστοιχες με αυτές που έχουν περιγραφεί στις γεωτεχνικές γεωτρήσεις (Πίνακας 5).**
- **Οι καταγραφές των κλισιομέτρων EG2018/002 και EG2018/008 αποδεικνύουν ότι στο μέσο της κατολισθαίνουσα μάζας οι μετακινήσεις λαμβάνουν χώρα σε**



βάθη μεγαλύτερα των 28,5m και 20m αντίστοιχα, υπερβαίνοντας το βάθος των κλισιομέτρων.

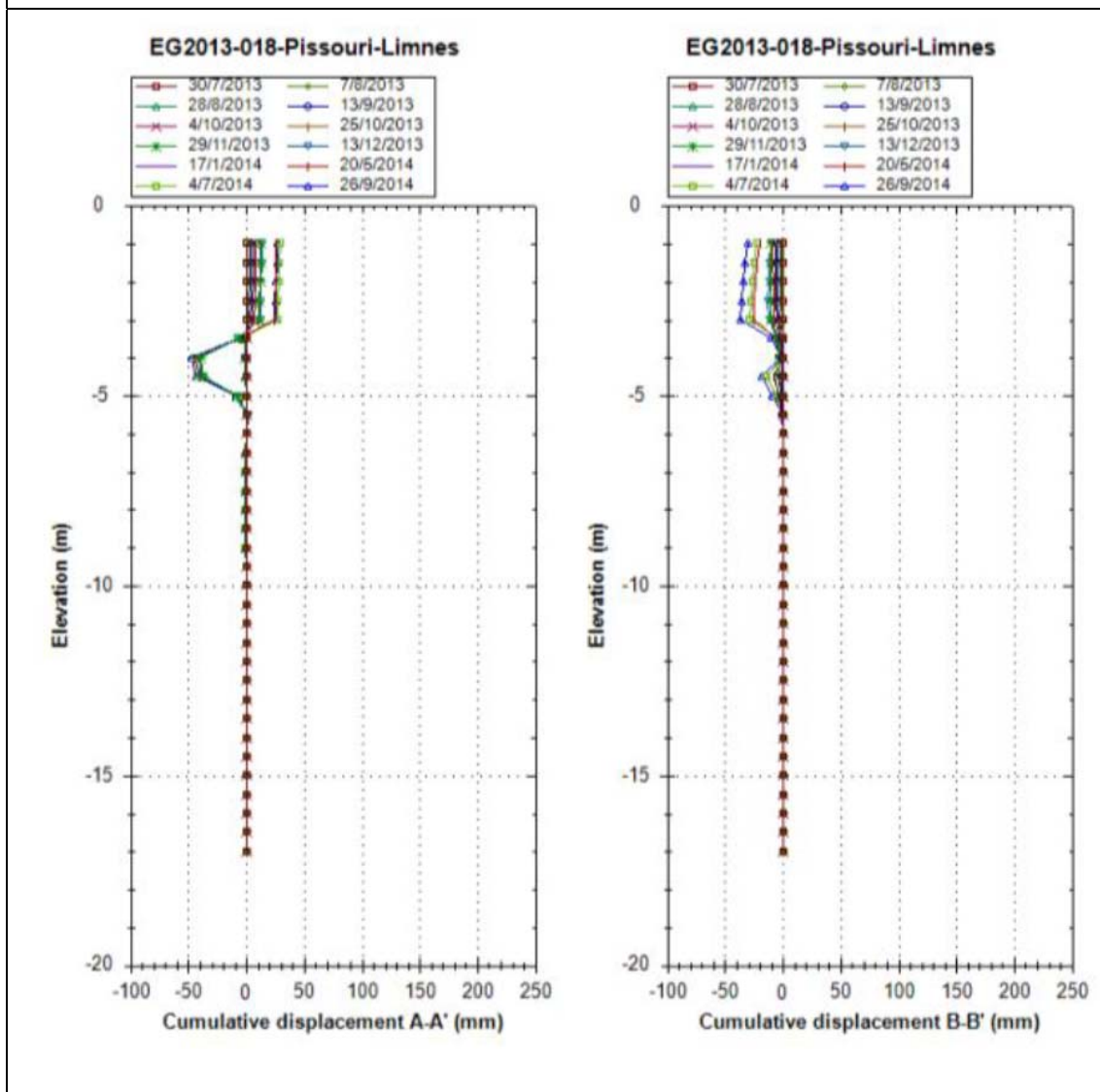
- **Κανένα από τα κλισιόμετρα δεν παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης πιθανής ολίσθησης σε επιφάνεια μεγάλου βάθους** παρά το γεγονός ότι από το 2013 στα δείγματα των γεωτρήσεων είχαν εντοπιστεί επιφάνειες ολίσθησης έως το βάθος των 39,2m.
- **Δεν έχει εγκατασταθεί κανένα κλισιόμετρο ανάντη των πρηνών της κύριας κατακρήμνισης και ανατολικότερα του οδικού άξονα Κολοκοτρόνη - Αποστόλου Ανδρέα. Στις συγκεκριμένες περιοχές καταγράφονται εδαφικές διαρρήξεις γεγονός το οποίο καθιστά επιτακτική την παρακολούθηση των μετακινήσεών τους και με κλισιόμετρα.**
- **Από τα ανωτέρω γίνεται σαφές ότι είναι επιτακτική η ανάγκη κατασκευής κλισιομέτρων μεγάλου βάθους στην περιοχή των Λιμνών καθώς και στα πρηνή ανάντη της κύριας κατακρήμνισης της παλαιοκατολίσθησης.**

EG2013/018

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Ιούλιος 2013 – Σεπτέμβριος 2014

Βάθος κλισιομέτρου: 17m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 6m



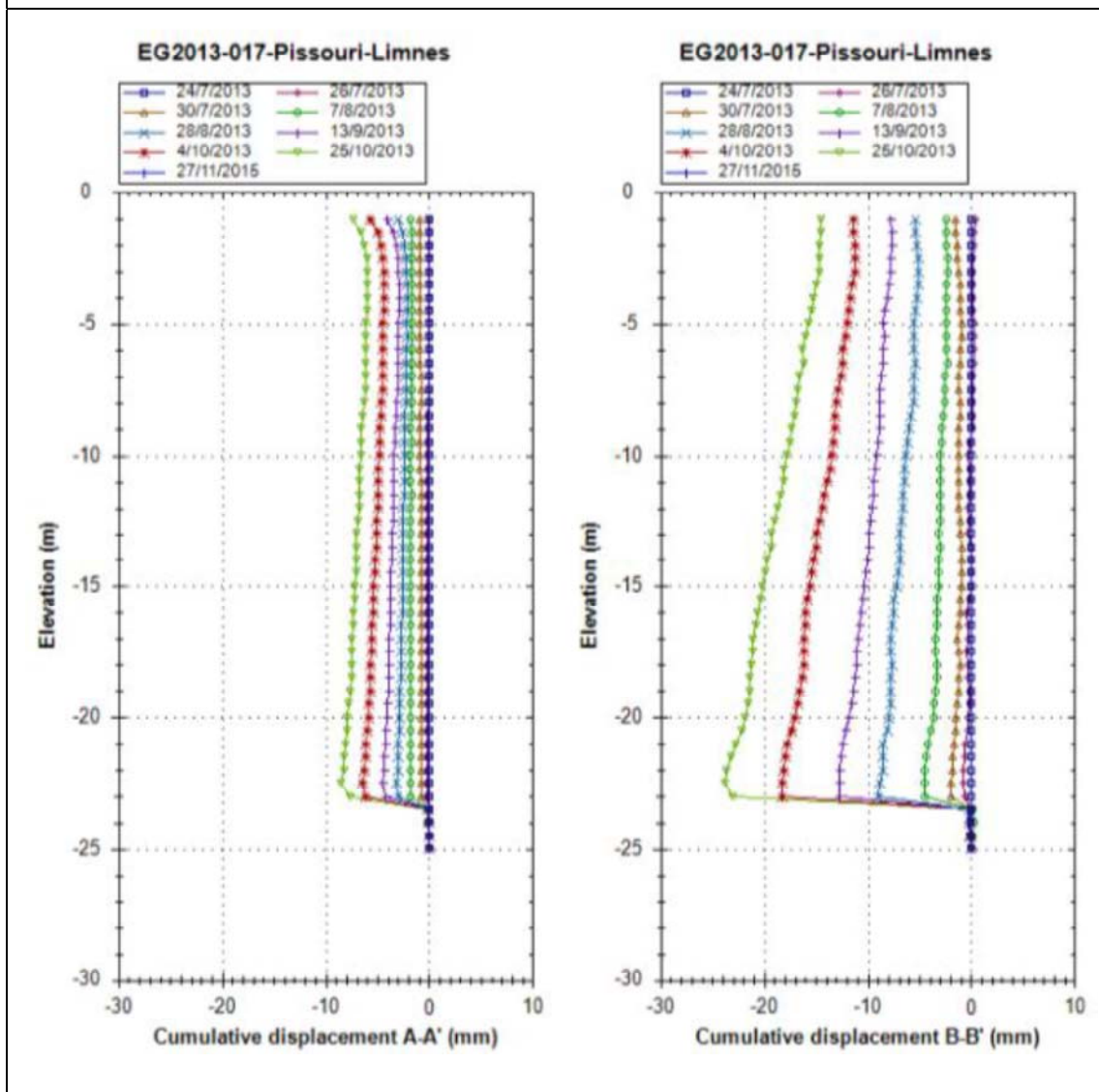
Εικόνα 29. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2013/018 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

EG2013/017

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Ιούλιος 2013 – Νοέμβριος 2015

Βάθος Κλισιομέτρου: 25m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 23m



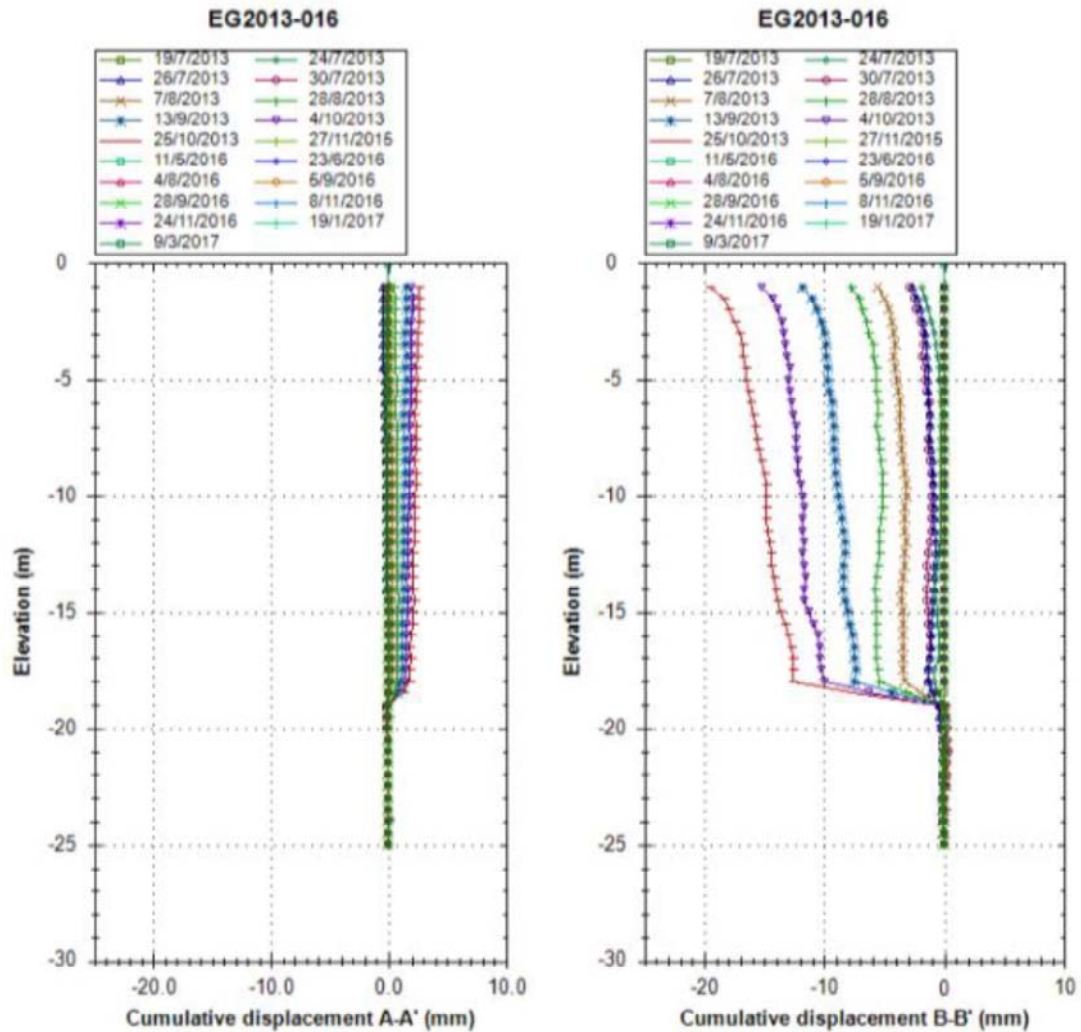
Εικόνα 30. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2013/017 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

EG2013/016

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Ιούλιος 2013 – Μάρτιος 2017

Βάθος Κλισιομέτρου: 25m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 18m



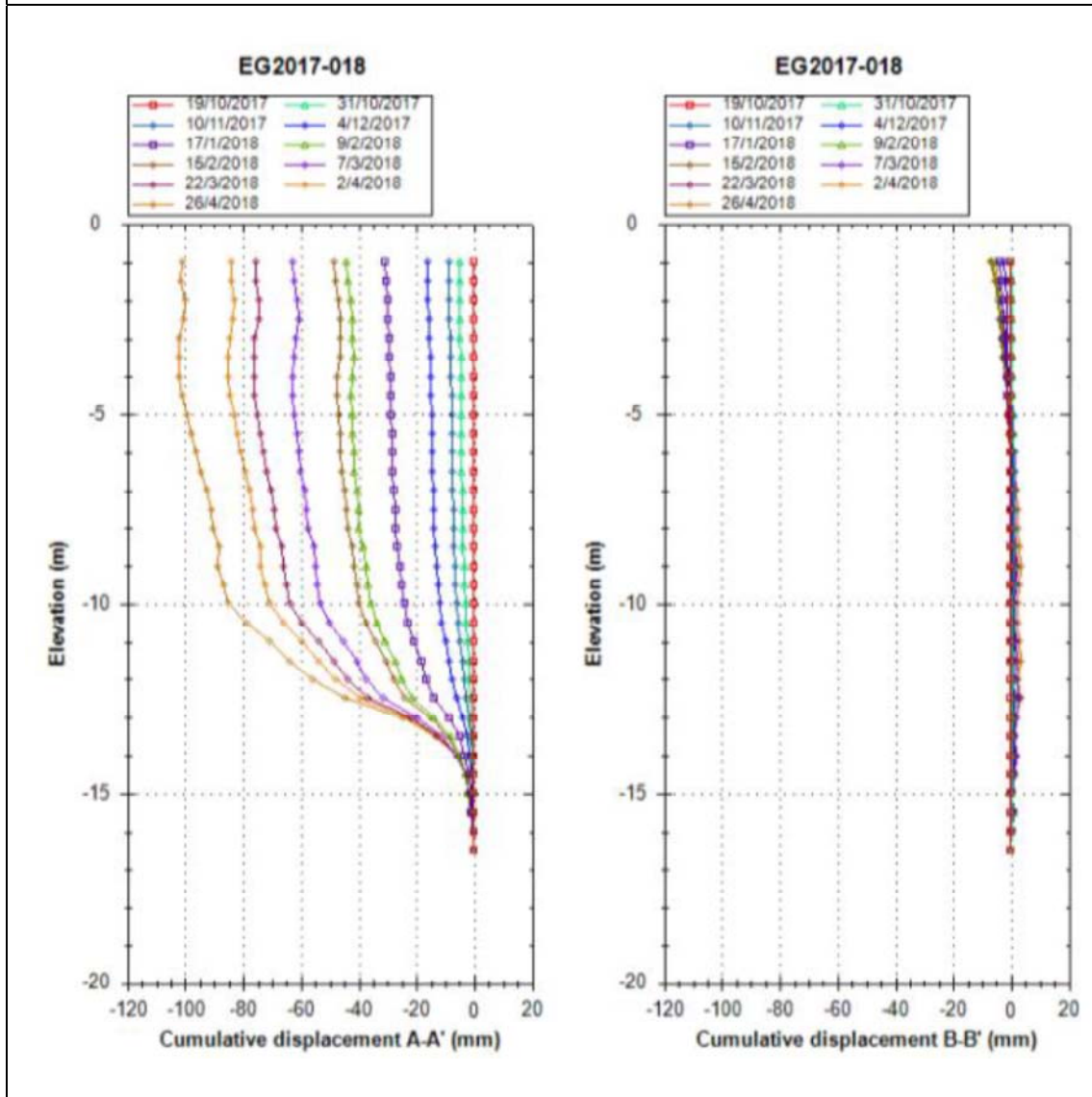
Εικόνα 31. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2013/016 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

EG2017/018

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Οκτώβριος 2017 – Απρίλιος 2018

Βάθος Κλισιομέτρου: 16,5m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 14,5m



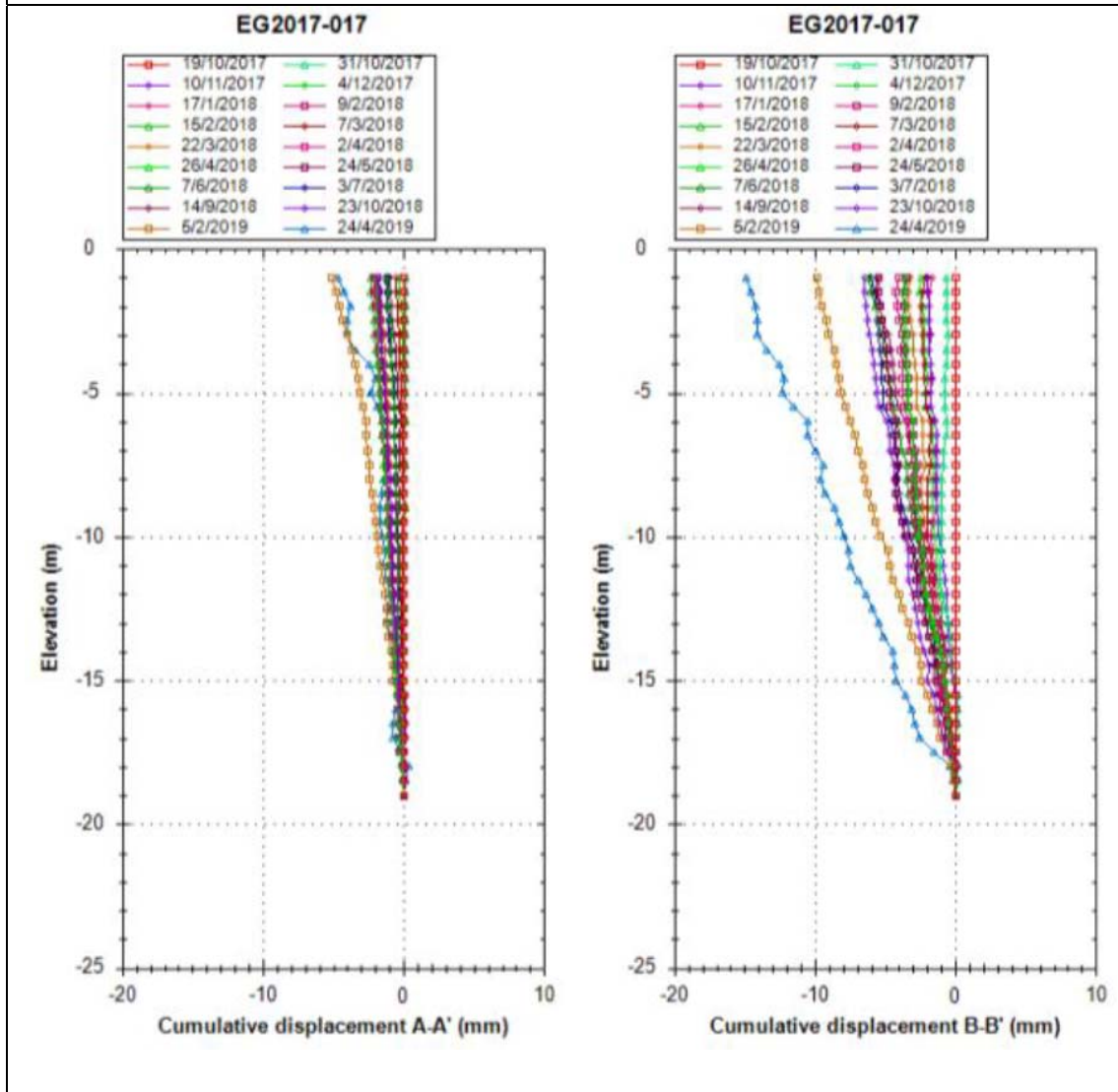
Εικόνα 32. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2017/018 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

EG2017/017

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Οκτώβριος 2017 – Απρίλιος 2019

Βάθος κλισιομέτρου: 19m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 18m



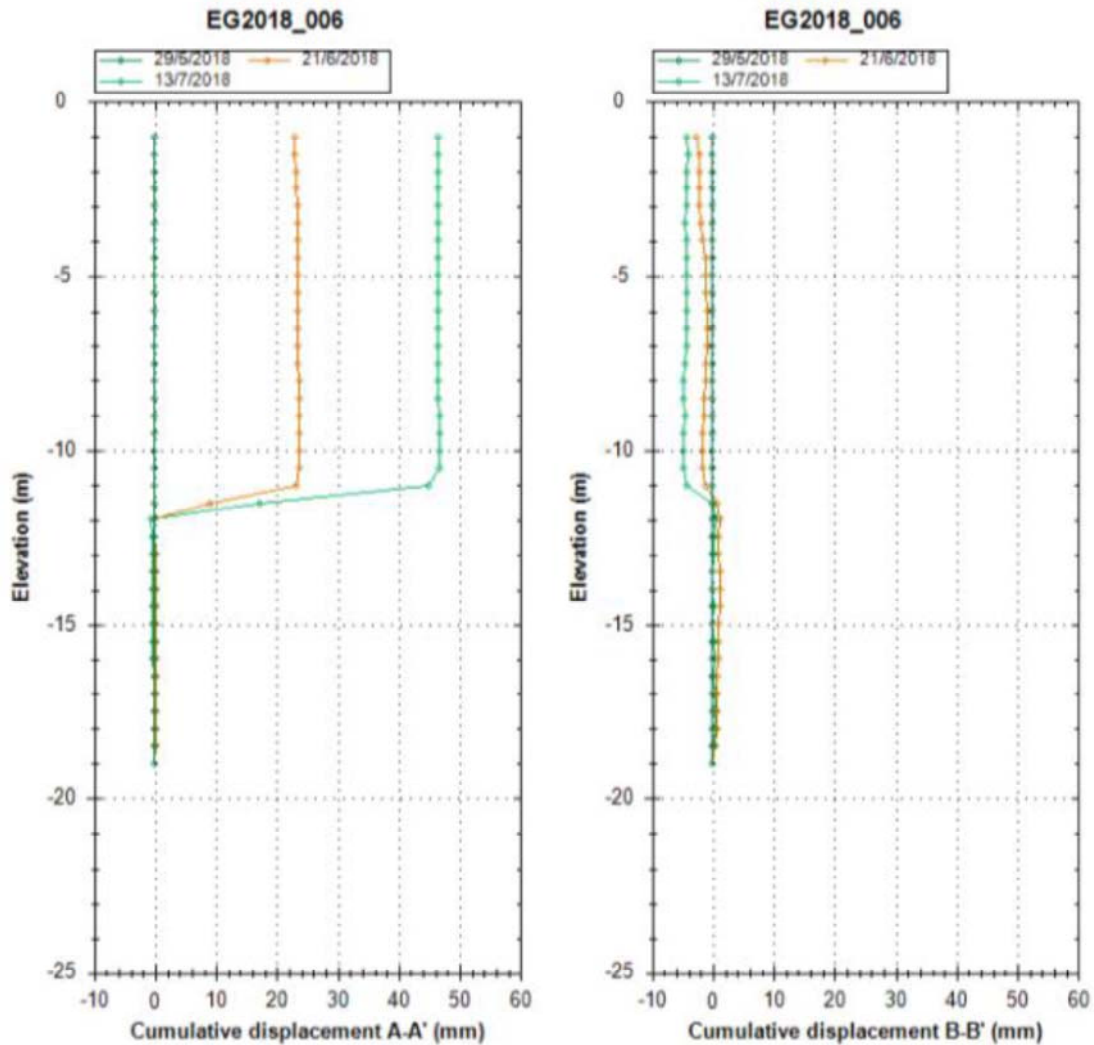
Εικόνα 33. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2017/017 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

EG2018/006

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Μάιος 2018 – Ιούλιος 2018

Βάθος Κλισιομέτρου: 19m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 12m



Εικόνα 34. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2018/006 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

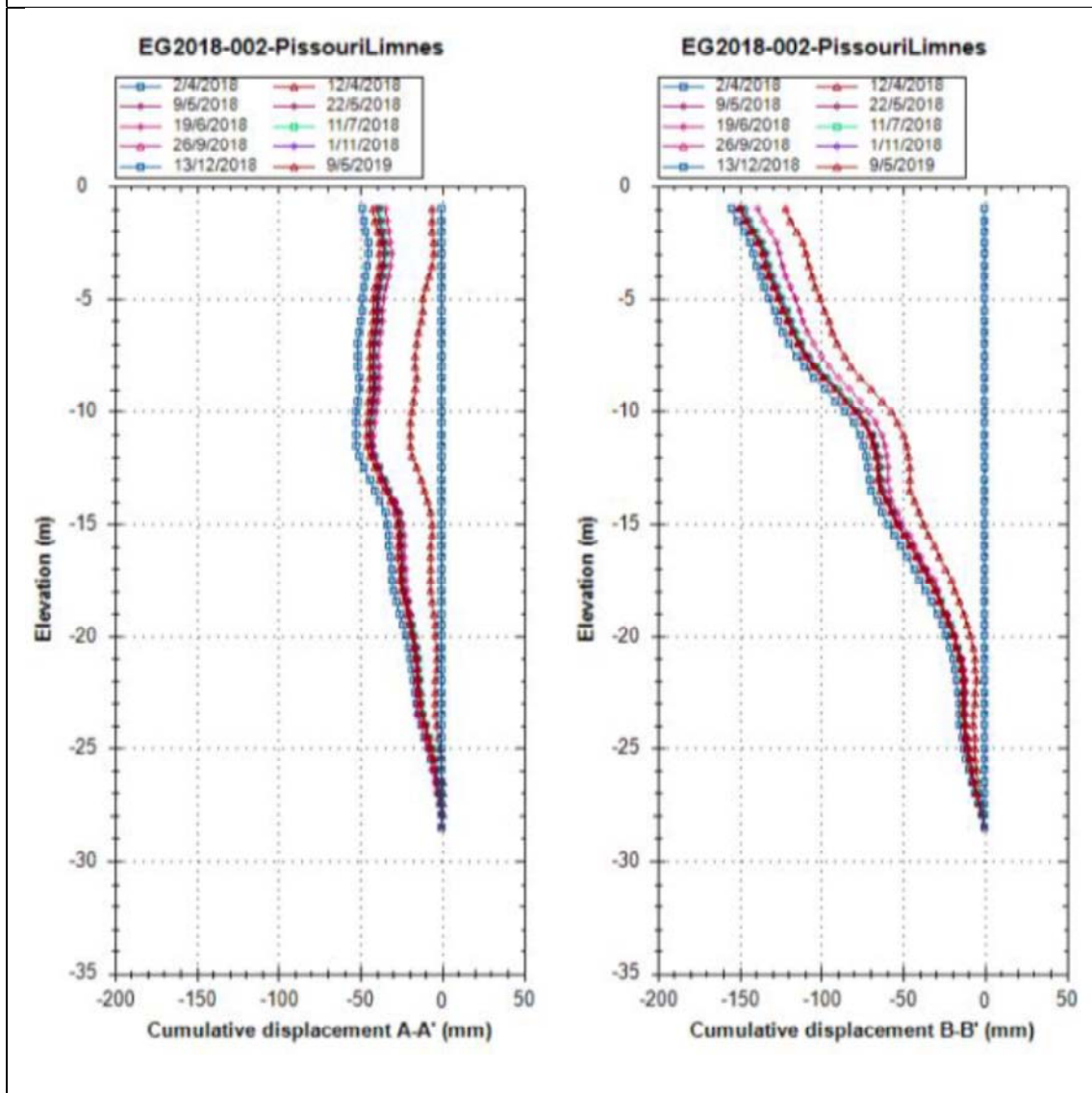
EG2018/002

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Απρίλιος 2018 – Μάϊος 2019

Βάθος Κλισιομέτρου: 28,5m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 28,5m.

Οι μετακινήσεις εκτείνονται σε ζώνη μεγαλύτερου βάθους από αυτή που καλύπτει το κλισιόμετρο.



Εικόνα 35. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2018/002 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

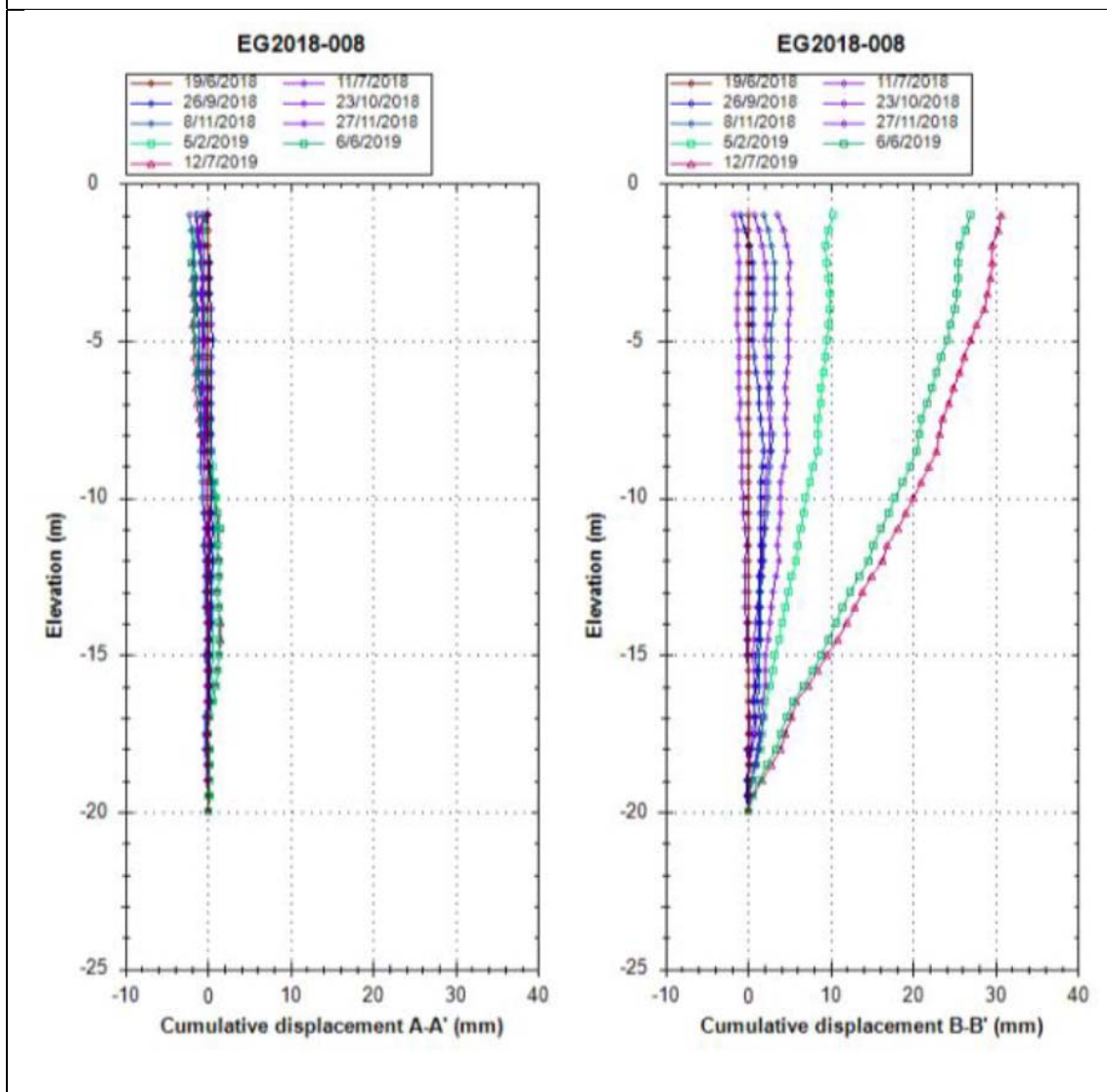
EG2018/008

Χρονική περίοδος λήψης μετρήσεων: Ιούνιος 2018 – Ιούλιος 2019

Βάθος Κλισιομέτρου: 20,0m

Μέγιστο βάθος καταγραφής μετακινήσεων: 20,0m.

Οι μετακινήσεις εκτείνονται σε ζώνη μεγαλύτερου βάθους από αυτή που καλύπτει το κλισιόμετρο.



Εικόνα 36. Διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με το βάθος από το κλισιόμετρο EG2018/008 (Δεδομένα Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης).

4.3.2. Δεδομένα συμβολομετρίας (NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018)

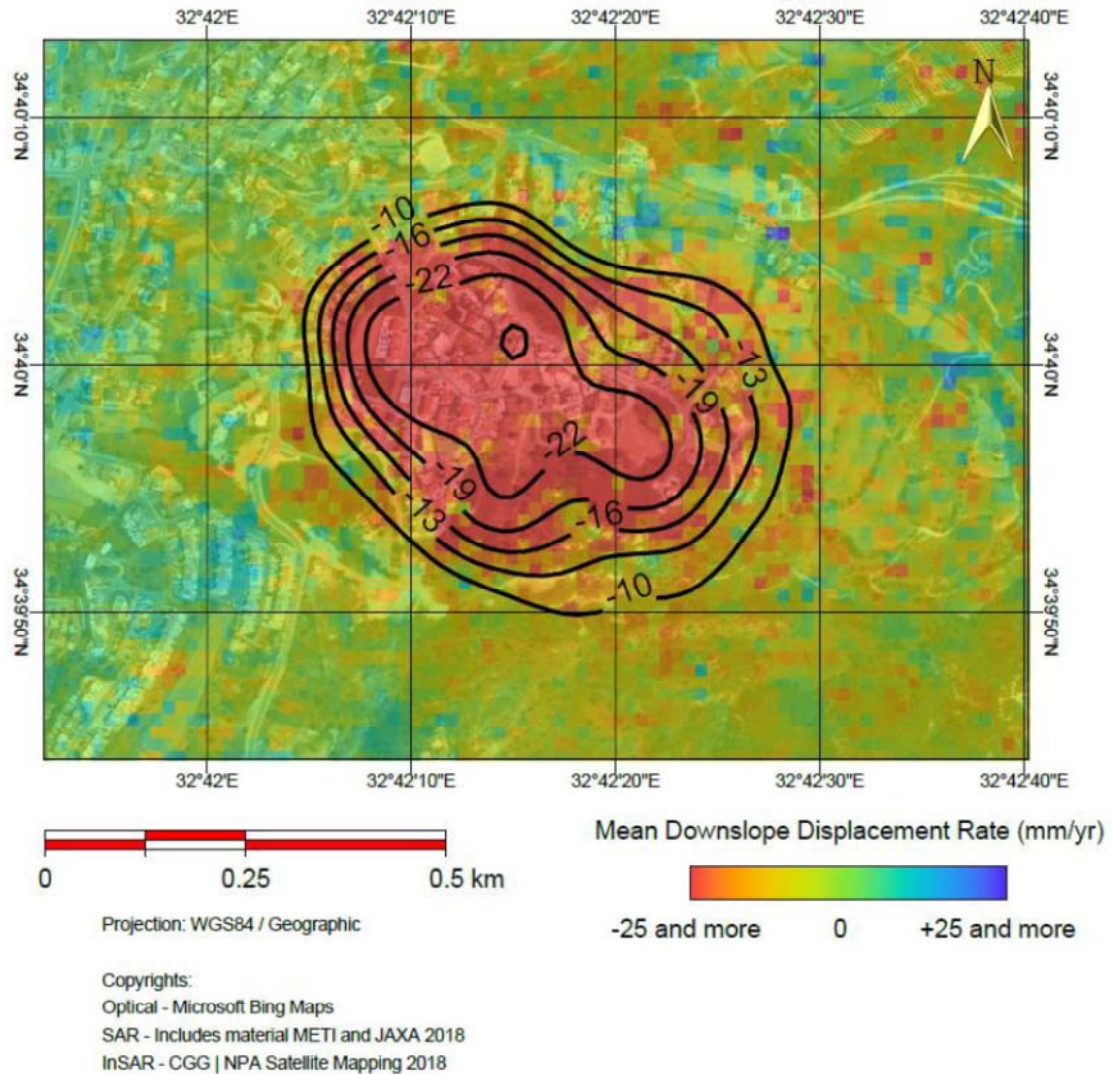
Τα συγκεκριμένα δεδομένα περιέχονται στην έκθεση της NPA Satellite Mapping - CGG GeoConsulting και αναφέρονται σε δύο χρονικές περιόδους. Η πρώτη σειρά δεδομένων αφορά στην περίοδο από 20 Δεκεμβρίου 2006 έως 15 Αυγούστου 2010. Πρόκειται για λήψεις κατερχόμενης τροχιάς των δορυφόρων ALOS (Advanced Land Observing Satellite) της Japan Aerospace and Exploration Agency (JAXA). Τα συγκεκριμένα δεδομένα έχουν ανάλυση 10 έως 20m και οι λήψεις έχουν μια συχνότητα 46 - 184 ημέρες. Η δεύτερη σειρά δεδομένων αφορά στην περίοδο από 16 Οκτωβρίου 2014 έως 30 Δεκεμβρίου 2017. Πρόκειται για λήψεις ανερχόμενης και κατερχόμενης τροχιάς των δορυφόρων Sentinel-1. Τα δεδομένα αυτά έχουν ανάλυση 25m και οι λήψεις έχουν μια συχνότητα 6 - 48 ημέρες.

Τα δεδομένα της περιόδου 2006-2010 παρέχουν πληροφορίες μόνο κατά μήκος της γραμμής θέασης του δορυφόρου και εν προκειμένης παρέχουν πληροφορίες για μετακινήσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεύθυνση κλίσης του πρηνούς των Λιμνών. Από την αξιολόγηση των συγκεκριμένων δεδομένων γίνεται σαφές ότι το κεντρικό τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας, από την οδό Κίμωνος έως το πέρας της οδού Σαλαμίνας, παρουσίαζε από το 2006 μετακινήσεις που έφταναν από τα 10 έως και τα 24mm/yr (Εικόνα 37). **Δηλαδή κατά την έναρξη των παραμορφώσεων αυτές περιορίζονταν μόνο στο κεντρικό τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας.**

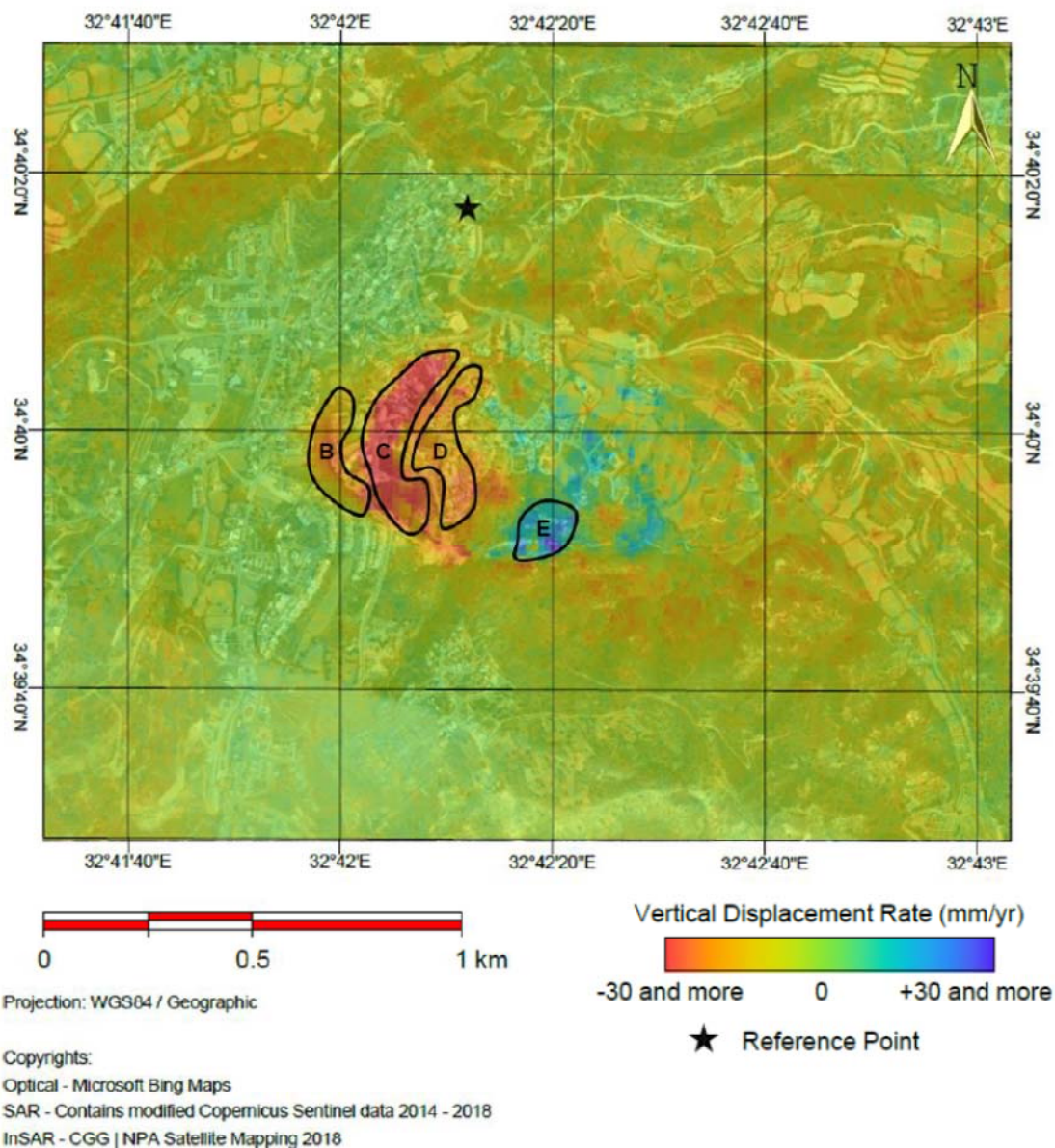
Τα δεδομένα της περιόδου 2014 - 2017 παρέχουν πιο πλούσιες πληροφορίες καθώς η ύπαρξη εικόνων ανερχόμενης αλλά και κατερχόμενης τροχιάς επιτρέπουν τον σαφή διαχωρισμό των οριζόντιων και των κατακόρυφων μετακινήσεων.

Από την κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων στην εικόνα 38 γίνεται σαφές, ότι το ανώτερο τμήμα στη ζώνη απομείωσης της παλαιοκατολίσθησης (τμήμα που επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα, συμπεριλαμβανομένου των C & D) βυθίζεται ενώ το κατώτερο, στη ζώνη συσσώρευσης και το πόδι της κατολισθαίνουσας μάζας (τμήμα που επισημαίνεται με μπλε χρώμα, συμπεριλαμβανομένου του E), διογκώνεται. **Διακρίνεται δηλαδή με σαφήνεια μια ανάντη ζώνη απομείωσης και μια κατάντη ζώνη συσσώρευσης των υλικών. Από τη συγκεκριμένη κατανομή των μετακινήσεων γίνεται προφανές ότι η κατολισθαίνουσα μάζα παρουσιάζει μια ενιαία συμπεριφορά γεγονός το οποίο δημιουργεί σοβαρές υπόνοιες ότι το σύνολο της παλαιοκατολίσθησης έχει ενεργοποιηθεί.**

Στα προαναφερόμενα δεδομένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μετακινήσεις που καταγράφονται στα πρηνή ανάντη της κύριας κατακρήμνισης της παλαιοκατολίσθησης (περιοχή που περικλείεται από το πολύγωνο B). **Από την κατανομή των μετακινήσεων αυτών γίνεται σαφές ότι η στέψη του πρηνούς της κύριας κατακρήμνισης, έως τις παρυφές του οικισμού Cybarco, έχει αρχίσει να υπόκειται σε μετακινήσεις, ωσάν η κατολίσθηση να παρουσιάζει προοδευτική επέκταση προς τα μετόπισθεν.**

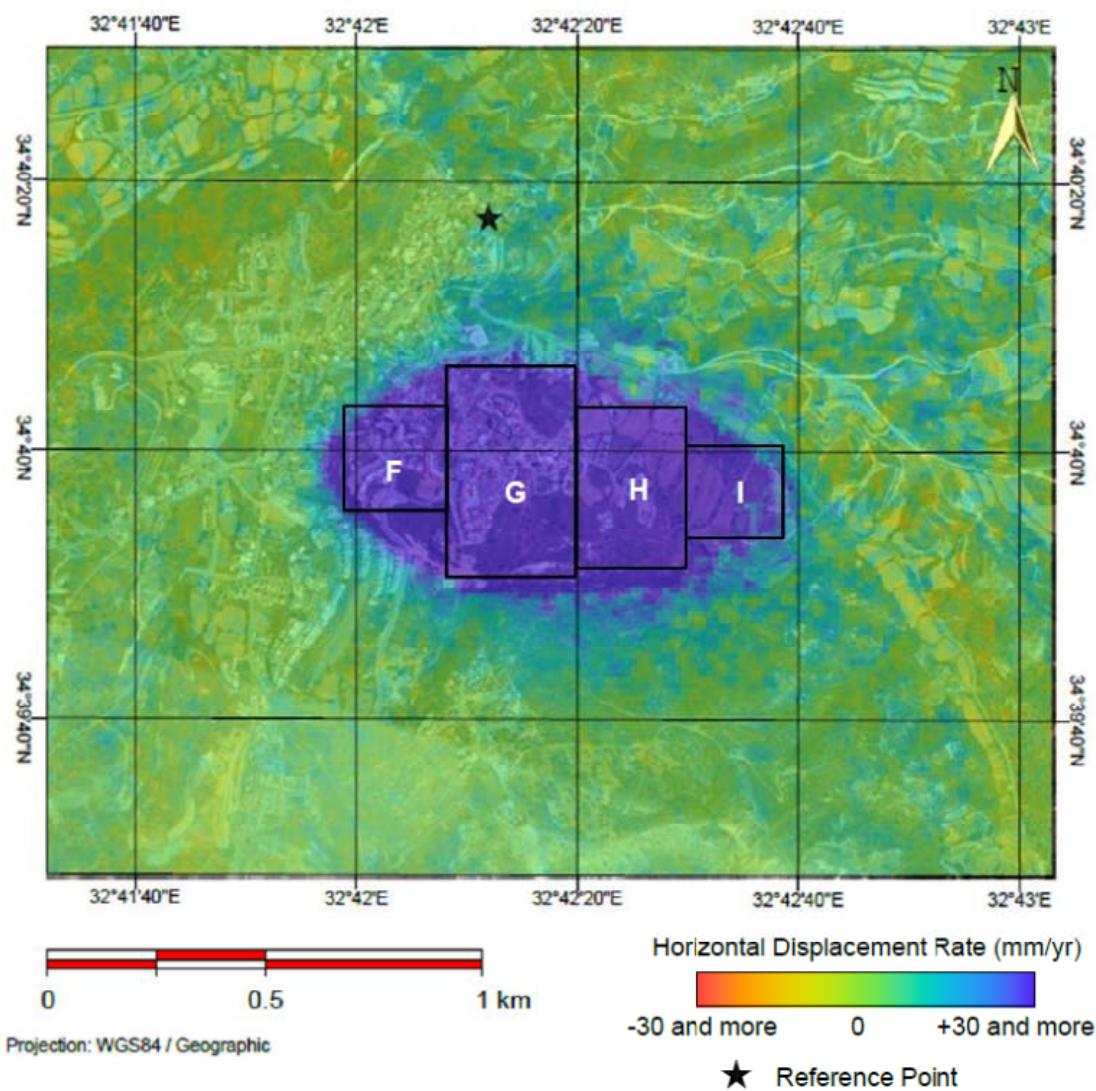


Εικόνα 37. Δεδομένα της περιόδου 2006 - 2010 που αναδεικνύουν τις μετακινήσεις κατά τη φορά κλίσης του πρανούς της περιοχής των Λιμνών. Οι καμπύλες ίσων μετακινήσεων διευκολύνουν την ανάγνωση της χωρικής κατανομής των παραμορφώσεων (NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018).



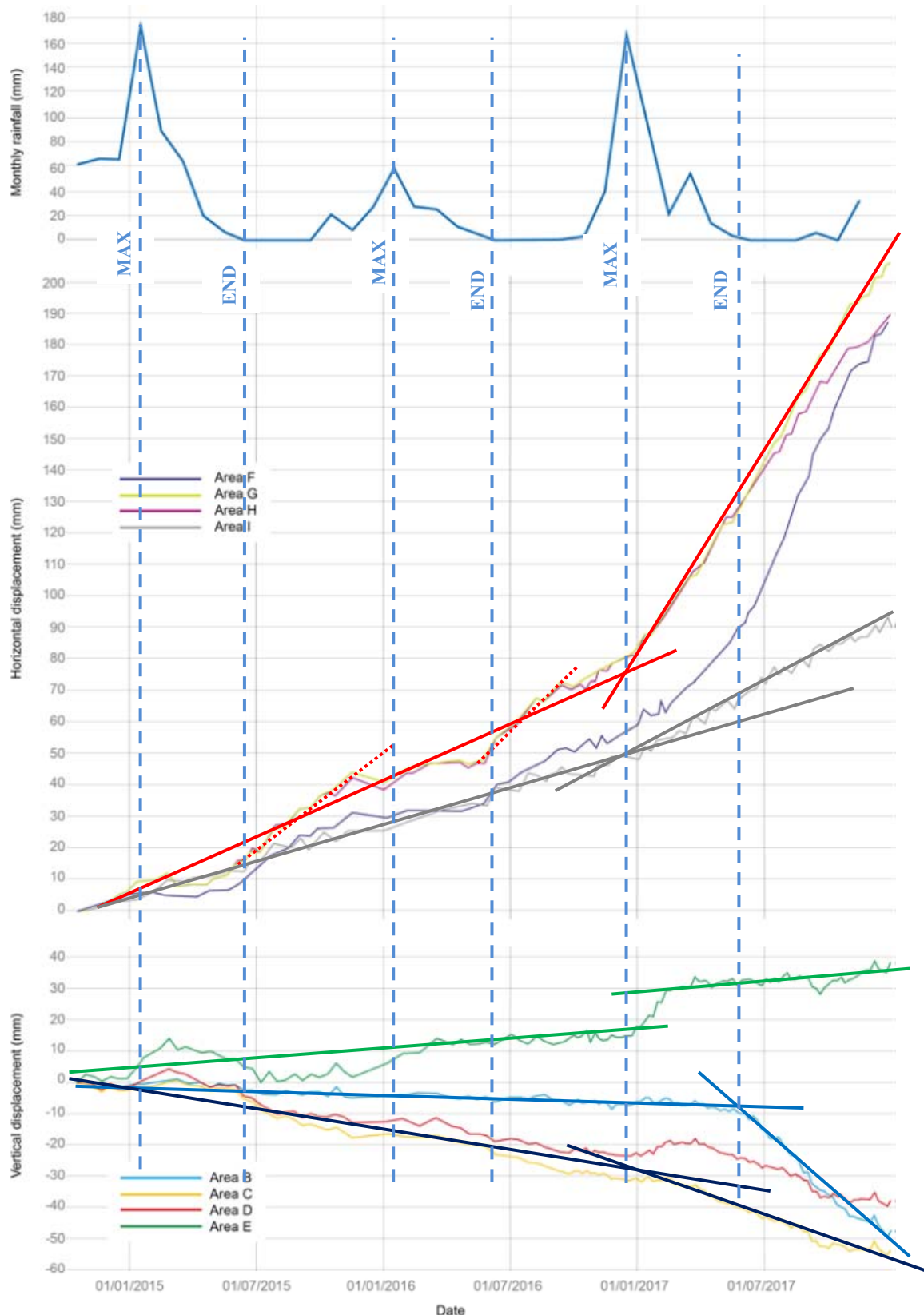
Εικόνα 38. Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων από τα δεδομένα της περιόδου 2014 - 2017 (NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018). Τα πολύγωνα B, C, D και E επισημαίνουν περιοχές ενδιαφέροντος.

Από τη διερεύνηση της κατανομής των οριζόντιων μετακινήσεων (Εικόνα 39) γίνεται επίσης σαφές ότι το σύνολο της παλαιοκατολίσθησης συμπεριλαμβανομένου της στέψης ανάντη της κύριας κατακρήμισης εμφανίζει οριζόντια μετακίνηση προς τα ανατολικά.



Εικόνα 39. Κατανομή οριζόντιων μετακινήσεων από τα δεδομένα της περιόδου 2014 - 2017 (NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018). Τα πολύγωνα F, G, H και I επισημαίνουν περιοχές ενδιαφέροντος.

Για τη διερεύνηση του ρυθμού των οριζόντιων και των κατακόρυφων μετακινήσεων χρησιμοποιήθηκε γραφική παράσταση της εργασίας των Hearn et. al. (2018) (Εικόνα 40) η οποία παραθέτει τις μετακινήσεις σε αντιπαραβολή με το ύψος των κατακρημνισμάτων. Επί της γραφικής παράστασης έχουν σχεδιαστεί κατακόρυφοι άξονες που επισημαίνουν τις ημερομηνίες με το μέγιστο ύψος κατακρημνισμάτων καθώς και τις ημερομηνίες που αντιστοιχούσαν στο πέρας της υγρής περιόδου για το χρονικό διάστημα Οκτώβριος 2014 έως Δεκέμβριος 2017. Επίσης έχουν σχεδιαστεί στοχευμένα γραμμές τάσης επί των γραφικών παραστάσεων με στόχο την ερμηνεία των δεδομένων.



Εικόνα 40. Οι χρονοσειρές των οριζόντιων και των κατακόρυφων μετακινήσεων σε συνάρτηση με την κατανομή των κατακρημνισμάτων για τα πολύγωνα (F,G,H,I και B,C,D,E αντίστοιχα). Γραφική παράσταση από την εργασία των Hearn et. al. (2018) με προσθήκες για την ερμηνεία των δεδομένων.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση είναι τα εξής:

- Από τη χρονοσειρά των οριζόντιων μετακινήσεων για την περιοχή G προκύπτει ότι στο μέσο της κατολισθαίνουσας μάζας (Εικόνα 39) μετά το τέλος των υγρών περιόδων 2015 και 2016 και την έναρξη των θερινών περιόδων, καταγράφονταν αύξηση του ρυθμού εκδήλωσης των οριζόντιων μετακινήσεων οι οποίες αναστέλλονταν μέχρι την έναρξη της επόμενης υγρής περιόδου. Αυτό διακρίνεται από τις κόκκινες διάστικτες γραμμές τάσεις που έχουν σχεδιαστεί επί της συγκεκριμένης χρονοσειράς. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η αύξηση της στάθμης του επικρεμάμενου υδροφόρου κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών προκαλούσε επιτάχυνση των οριζόντιων μετακινήσεων. Η απροσδόκητη αύξηση της στάθμης τους θερινούς μήνες οφείλεται στην αύξηση της κατείσδυσης στους στραγγιστικούς λάκκους και γενικότερα την αύξηση της κατείσδυσης από την κατανάλωση του νερού χρήσης (π.χ. backwash στις πισίνες) κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου. Η αύξηση αυτή συνδυάζεται και με την μειούμενη άντληση των υπόγειων υδάτων για αρδευτικούς σκοπούς καθώς, οι χρήσεις γης έχουν αλλάξει από γεωργικές σε οικιστικές.
- Στη χρονοσειρά των οριζόντιων μετακινήσεων της περιοχής G, από τις κόκκινες γραμμές τάσεις, διακρίνεται ότι τη χειμερινή περίοδο του 2017-18 έλαβε χώρα μια έντονη επιτάχυνση των οριζόντιων μετακινήσεων, η οποία διατηρήθηκε έκτοτε. Προφανώς τα κατακρημνίσματα της συγκεκριμένης χειμερινής περιόδου αποτέλεσαν τον εναυσματικό παράγοντα για την επιτάχυνση των μετακινήσεων.
- Αντίστοιχη αύξηση του ρυθμού των οριζόντιων μετακινήσεων μετά τη χειμερινή περίοδο του 2017-18 παρατηρείται σε όλες τις περιοχές F, G, H και I.
- Συγκρίνοντας τον ρυθμό των οριζόντιων μετακινήσεων μεταξύ των περιοχών F, G, H και I διακρίνεται ότι οι περιοχές G και H εκδηλώνουν τη μεγαλύτερη κινητικότητα. Η περιοχή F αναπτύσσει τον ίδιο ρυθμό μετακινήσεων, με αυτό των G και H, με μια μικρή όμως υστέρηση στα πρώτα στάδιά της. Αντιθέτως η περιοχή I παραμορφώνεται με πολύ ηπιότερους ρυθμούς, καθώς είναι εντός της ζώνης συσσώρευσης της κατολισθαίνουσας μάζας στη ζώνη συσσώρευσης της κατολίσθησης που προωθείται από την προς τα κατάντη κίνηση της κυρίως μάζας της κατολίσθησης.
- Οι κατακόρυφες μετακινήσεις της κατολισθαίνουσας μάζας παρουσιάζουν αντίστοιχη συμπεριφορά σε ότι αφορά στην επιτάχυνσή τους μετά τη χειμερινή περίοδο του 2017-18.
- Αναλυτικότερα το ανώτερο τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας, περιοχή C, όπως φαίνεται από την μαύρη γραμμή τάσης, μετατοπίζεται προς τα κάτω με αυξημένο ρυθμό, όντας η κεφαλή της κατολισθαίνουσας μάζας. Ενώ η περιοχή C, όντας ο

πόδας της κατολισθαίνουσας μάζας κινείται ανοδικά (πράσινη γραμμή τάσης), με αυξημένο ρυθμό.

- Το μεσαίο τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας, περιοχή D, παρουσιάζει μια ιδιαίτερη συμπεριφορά κατά τη διάρκεια του συνόλου της χρονοσειράς. Όπως φαίνεται στη γραφική παράσταση παρουσιάζει συνεχείς ανυψώσεις και ταπεινώσεις, όμως με μια συνολική τάση ταπεινώσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι ενώ το σύνολο της μάζας κινείται προς τα κάτω, όντας τμήμα του κυρίως σώματος της κατολισθαίνουσας μάζας, επί αυτού συμβαίνουν επιφανειακές αστοχίες που προκαλούν τις παροδικές ανυψώσεις που καταγράφουν τα συμβολογράμματα.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η στέψη του πρανούς, ανάντη της κύριας κατακρήμνισης. Όπως φαίνεται από τις μπλε γραμμές τάσης ενώ μέχρι τις αρχές της θερινής περιόδου του 2017 το συγκεκριμένο τμήμα παρουσίαζε ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις (<10mm από τον Οκτώβριο του 2014 έως τον Ιούνιο του 2017, 33 μήνες), το αμέσως επόμενο διάστημα άρχισε να μετακινείται προς τα κάτω με αυξημένο ρυθμό (>40mm από τον Ιούνιο έως το Δεκέμβριο του 2017, 6 μήνες).

Συνοψίζοντας από την αξιολόγηση των συμβολογραφημάτων προκύπτει ότι η κεφαλή της παλαιοκατολίστησης (περιοχές F - C) μετακινείται προς τα εμπρός (ανατολικά) και προς τα κάτω. Το μέσο της κατολισθαίνουσας μάζας (περιοχές G - H - D) κινείται επίσης προς τα ανατολικά και προς τα κάτω, εμφανίζοντας όμως περιστασιακά κάποιες ανυψώσεις εντός της μάζας του οι οποίες εκτιμάται ότι πρέπει να οφείλονται σε επιφανειακές περιστροφικές αστοχίες εντός των ανώτερων στρωμάτων. Τέλος ο πόδας της κατολισθαίνουσας μάζας παρουσιάζει ανοδικές κινήσεις και αργή μετάθεση προς τα ανατολικά. Οι κινήσεις του πόδα συνάδουν με αυτές που θα αναμένονταν στη ζώνη συσσώρευσης της κατολισθαίνουσας μάζας.

Τέλος όπως αναφέρθηκε ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στις μετακινήσεις που εκδηλώνονται στη στέψη του πρανούς και οι οποίες από τον Ιούνιο του 2017 παρουσίασαν μεγάλη αύξηση του ρυθμού τους. Οι συγκεκριμένες μετακινήσεις επηρεάζουν τη στέψη του πρανούς της κύριας κατακρήμνισης, έως τις παρυφές του οικισμού Cυβαρεο. Δηλαδή από τα συμβολογραφήματα φαίνεται ότι η κατολίπηση παρουσιάζει προοδευτική επέκταση προς τα μετόπισθεν.

4.3.3. Καταγραφές επιφανειακών διαρρήξεων και ζημιών σε κτίρια

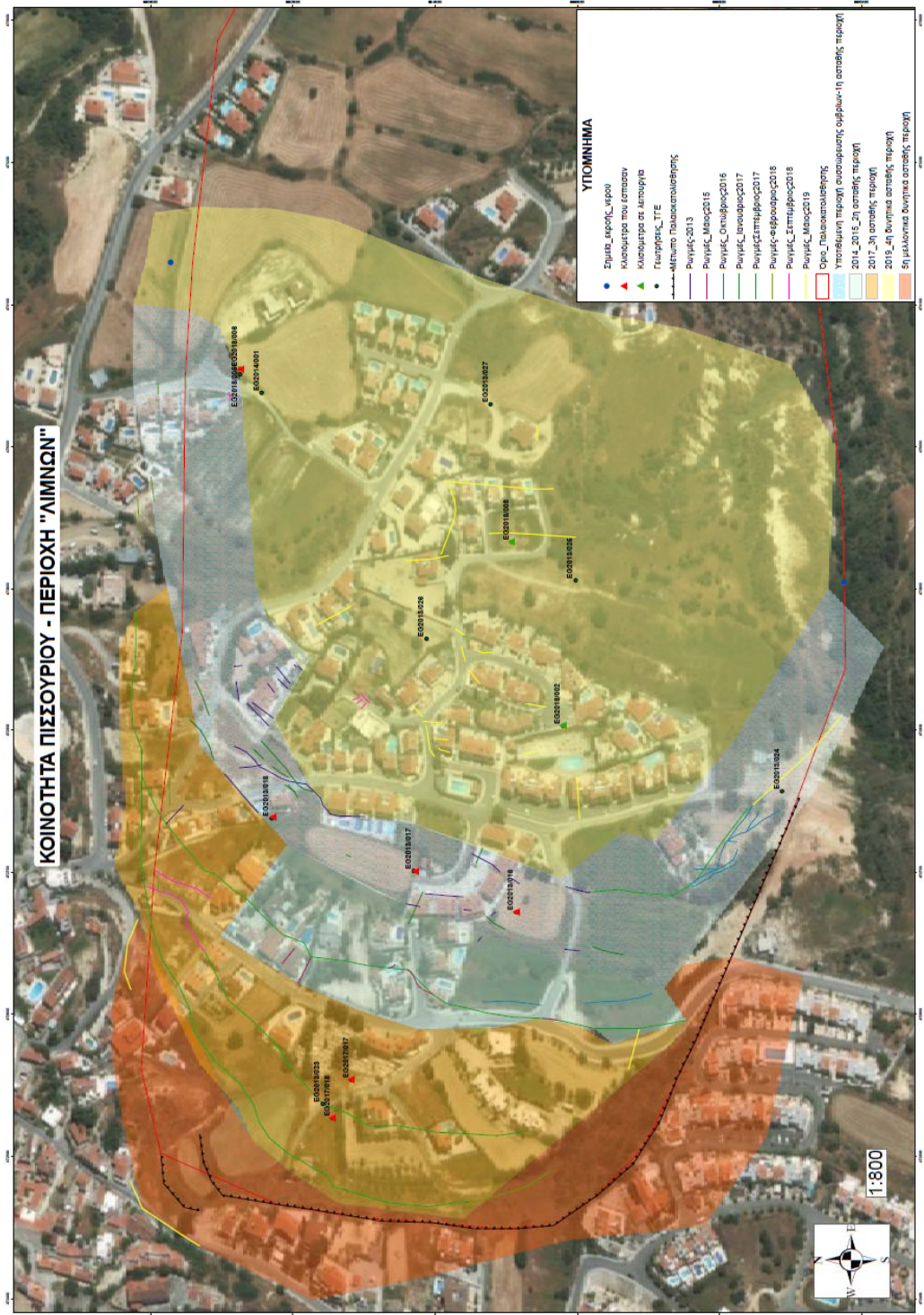
Η καταγραφή των επιφανειακών διαρρήξεων στη στενή περιοχή της παλαιοκατολίστησης και των πέριξ πρανών γίνεται συστηματικά από το 2013, αμέσως μετά την εκδήλωση των πρώτων αστοχιών. Όπως φαίνεται και στο χάρτη κατανομής των εδαφικών διαρρήξεων (Εικόνα 41) οι πρώτες ρωγμές καταγράφηκαν το 2013 εκατέρωθεν της οδού Καρπασίας ενώ στα επόμενα έτη, 2014, 2015 και 2016, επεκτάθηκαν προς τη δύση, έως την οδό Κίμωνος. Δηλαδή κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών καταγραφής των εδαφικών διαρρήξεων αυτές περιορίζονταν στο κεντρικό τμήμα της παλαιοκατολίστησης. Τα έτη 2017 και 2018 οι εδαφικές διαρρήξεις περιχαράκωσαν όλο το ανάντη τμήμα της παλαιοκατολίστησης δίνοντας πλέον καθαρά την αίσθηση της πλήρους επανενεργοποίησής της. Τέλος το 2019 καταγράφηκαν εδαφικές διαρρήξεις ανατολικότερα της οδού Καρπασίας επηρεάζοντας πλέον ολόκληρο το κεντρικό τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας. Στο πλαίσιο της παρούσας αυτοψίας πραγματοποιήθηκε πλήρης καταγραφή των εδαφικών διαρρήξεων που εντοπίστηκαν το Νοέμβριο του 2019 (Εικόνα 42 & Χάρτης 2). Από την καταγραφή αυτή προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- **Το σύνολο της μάζας της παλαιοκατολίστησης που βρίσκεται εντός της ζώνης απομείωσης έχει διαρρηχθεί.** Δηλαδή το τμήμα από την κύρια κατακρήμνιση της παλαιοκατολίστησης μέχρι το ανατολικότερο άκρο του ασφαλτοστρωμένου τμήματος της οδού Σαλαμίνας.
- **Η κύρια κατακρήμνιση της παλαιοκατολίστησης καθώς και τα πλευρικά της όρια έχουν ενεργοποιηθεί πλήρως** και οι διαρρήξεις έχουν πλέον περιχαράκώσει όλη τη ζώνη απομείωσης της παλαιοκατολίστησης.
- Στο ανατολικότερο τμήμα της μάζας της παλαιοκατολίστησης, όπου και εντοπίζεται το πόδι της, δεν καταγράφονται καθόλου εδαφικές διαρρήξεις. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις ανοδικές και προς τα ανατολικά οριζόντιες μετακινήσεις που κατέγραψαν τα συμβολογραφήματα, υποδηλώνει ότι το συγκεκριμένο τμήμα συμπιέζεται και μετατίθεται προς ανατολάς από την προώθηση των υλικών της κυρίως μάζας της κατολίστησης.
- **Όλα τα ανωτέρω ενισχύουν τη θεωρία ότι έχει επαναδραστηριοποιηθεί το σύνολο της παλαιοκατολίστησης. Στοιχείο το οποίο όμως θα πρέπει να διερευνηθεί πριν γίνει αποδεκτό, με την εγκατάσταση κλισιομέτρων μεγάλου βάθους.**
- **Επιπλέον εντός της μάζας της κατολίστησης εντοπίστηκαν παραμορφώσεις δηλωτικές της εκδήλωσης αβαθών περιστροφικών ολισθήσεων.** Οι ολισθήσεις αυτές όπως έχει αναφερθεί έχουν εντοπιστεί και στα συμβολομετρικά δεδομένα της περιόδου 2014-2017, και λαμβάνουν χώρα σε μια μάζα που στο σύνολό της

βυθίζεται, λόγω των προς ανατολάς κινήσεων της ζώνης απομείωσης της κατολίσθησης. Ενδεικτικά, στην εικόνα 43 διακρίνεται ένα συγκρότημα οικείων Α και μια μεμονωμένη οικία Β που οριοθετούν μια από αυτές τις ρηχές περιστροφικές αστοχίες. Συγκεκριμένα, η κύρια κατακρήμνιση της κατολίσθησης διέρχεται μπροστά από την οικία Β, μετακινώντας την πισίνα προς τα κατάντη (Εικόνα 44) ενώ το πόδι της περιστροφικής αστοχίας εκδηλώνεται στη θεμελίωση της οικίας Α ανυψώνοντάς την και εκτρέποντάς την από την κατακόρυφη θέση (Εικόνα 45).

- Εδαφικές διαρρήξεις καταγράφηκαν για πρώτη φορά το 2019 στη στέψη του πρανούς της κύριας κατακρήμνισης (Εικόνα 46). Οι αστοχίες αυτές επιβεβαιώνουν τις μετακινήσεις που έχουν καταγραφεί στα συμβολογραφήματα και σηματοδοτούν την προς τα μετόπισθεν επέκταση της κατολίσθησης. Το γεγονός ότι οι μετακινήσεις που καταγράφονταν στα συμβολογραφήματα το 2017 εκδήλωσαν τελικά διαρρήξεις το 2019 δηλώνει ότι οι παραμορφώσεις της στέψης είναι σε συνεχή εξέλιξη.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι σύμφωνα με τα συμβολογραφήματα οι μετακινήσεις ελάμβαναν χώρα από τη χρονική περίοδο 2006-2010 ενώ οι πρώτες εδαφικές διαρρήξεις εμφανίστηκαν πολύ αργότερα, το 2013.

Ως κατακλείδα επισημαίνεται ότι η κατανομή των εδαφικών διαρρήξεων και οι ρηχές περιστροφικές αστοχίες μπορούν να οδηγήσουν εσφαλμένα στην υποτίμηση του φαινομένου. Για το λόγο αυτό, ελλείψει κλισιομετρήσεων μεγάλου βάθους, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολύ σοβαρά τα συμβολομετρικά δεδομένα τα οποία παρέχουν μια συνολική εικόνα των μετακινήσεων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή ενδιαφέροντος. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά το σύνολο της κατολισθαίνουσας μάζας φαίνεται να έχει ενεργοποιηθεί. Μάλιστα υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις για την προς τα μετόπισθεν επέκταση της κατολίσθησης η οποία και επαπειλεί την ευστάθεια των πρανών της κύριας κατακρήμνισης. Προφανώς πέραν των ανωτέρω υφίστανται και οι ρηχές περιστροφικές αστοχίες εντός της διαταραγμένης μάζας, οι οποίες περιπλέκουν την εικόνα των παραμορφώσεων και των διαρρήξεων εντός της μάζας της κατολίσθησης.



Εικόνα 41. Χάρτης Χωρικής κατανομής των επιφανειακών διαρρήξεων στη στενή περιοχή της παλαιοκαλλιέργειας από το 2013 έως το 2018.



Εικόνα 42. Χωρική κατανομή των επιφανειακών διαρρήξεων τον Νοέμβριο του 2019 από καταγραφή που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας πραγματογνωμοσύνης.



Εικόνα 43. Συγκρότημα οικιών A και μεμονωμένη οικία B που οριοθετούν μια από τις ρηχές περιστροφικές αστοχίες που αναπτύσσονται εντός της μάζας της παλαιοκατολίσθησης.



Εικόνα 44. Άποψη της κύριας κατακρήμνισης της κατολίσθησης που διέρχεται μπροστά από την οικία B και έχει μετατοπίσει την πισίνα.



Εικόνα 45. Η οικία A που έχει εκτραπεί από την κατακόρυφη θέση εξαιτίας της ανάπτυξης του ποδιού της αβαθούς κατολίσθησης κάτω από την επιφάνεια θεμελίωσής της.



Εικόνα 46. Χωρική κατανομή των διαρρήξεων στη στέγη του πρανούς της κύριας κατακρήμνισης.



Εικόνα 47. Αποψη ρωγμών σε δομικά στοιχεία του κτιρίου A της ανωτέρω εικόνας.



Εικόνα 48. Αποψη ρωγμών σε δομικά στοιχεία του κτιρίου B της ανωτέρω εικόνας.

5. ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΙΜΝΩΝ

Για την πρόδρομη ανάλυση των τρεχουσών κατολισθητικών κινήσεων στο χώρο της Παλαιοκατολίστησης των Λιμνών σχεδιάστηκε μια τομή κατά μήκος του άξονα Α-Α' (Εικόνα 49). Η συγκεκριμένη τομή επιλέχθηκε και σχεδιάστηκε έτσι ώστε να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Να τέμνει τα πρανή της κύριας κατακρήμνισης σε θέση όπου αυτά εμφανίζουν το μεγαλύτερο ύψος τους.
- Να διέρχεται κατά το δυνατό από τον άξονα της ολισθαίνουσας μάζας.



Εικόνα 49. Ο άξονας της τομής Α-Α' που σχεδιάστηκε για την αριθμητική προσομοίωση των κατολισθητικών κινήσεων στην περιοχή των Λιμνών.

5.1. Γεωμετρία του προφίλ προσομοίωσης Α-Α'

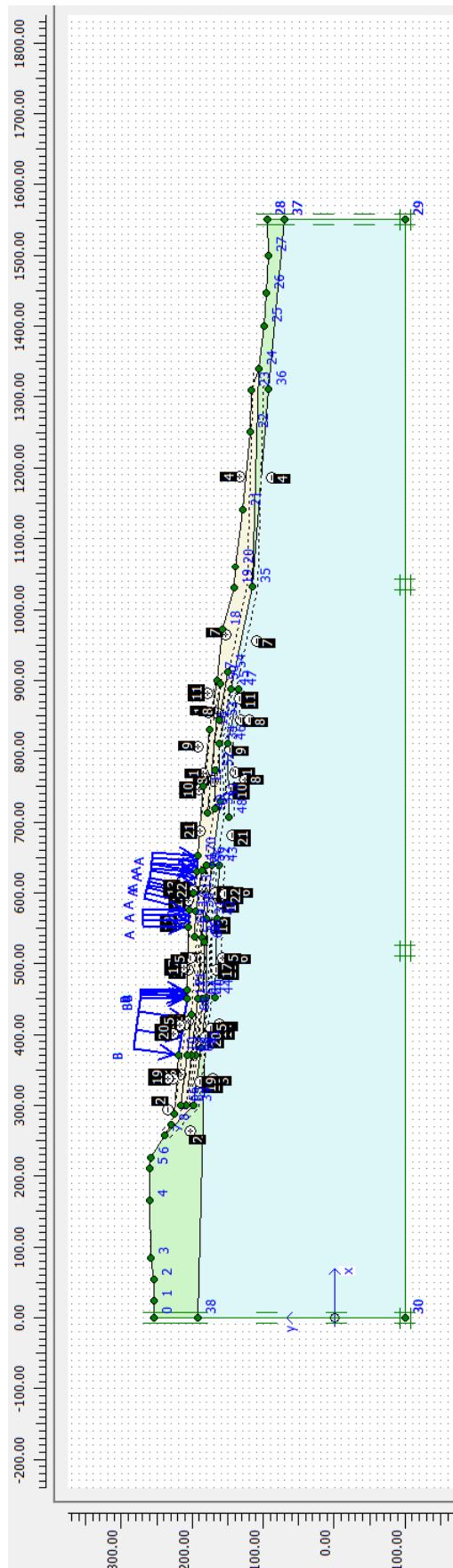
Η γεωμετρία του προφίλ του προσομοιώματος παρουσιάζεται στην εικόνα 50 και σε μεγέθυνση στην εικόνα 51. Το προφίλ σχεδιάστηκε έτσι ώστε να πληρεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Να αποτυπώνει με μεγάλη ακρίβεια και πιστότητα τη γεωμετρία της τομής.
- Σχεδιάστηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει μεγάλο τμήμα του ανάντη εκτιμώμενου τμήματος της ράχης, προκειμένου να μην περιοριστεί η δυνατότητα ανίχνευσης ενδεχόμενων αστοχιών προς τα μετόπισθεν.
- Σχεδιάστηκε έτσι ώστε να εκτείνεται σε μεγάλο βάθος προκειμένου να μην περιοριστεί η δυνατότητα ανίχνευσης βαθιών αστοχιών.

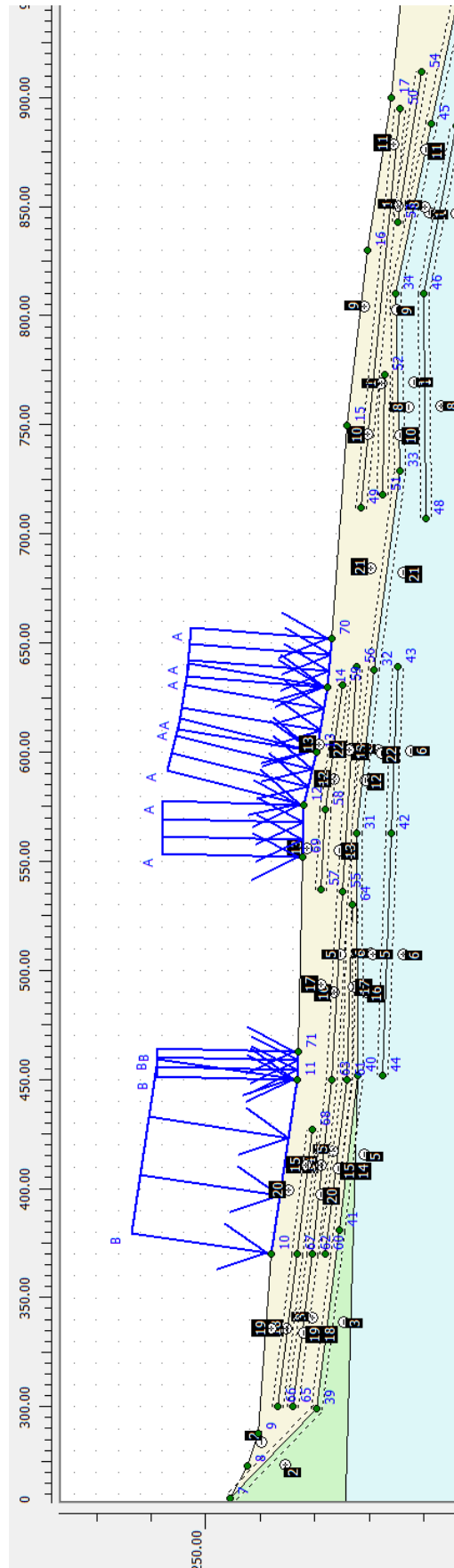
- Τα όρια μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών σχεδιάστηκαν κατόπιν αξιολόγησης των δεδομένων των προφίλ των γεωτεχνικών γεωτρήσεων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης. Προφανώς κατά τη σχεδίαση της τομής δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στα δεδομένα που προέρχονται από τις γεωτεχνικές γεωτρήσεις που βρίσκονται πλησίον του άξονα της τομής.
- Από τα δεδομένα που περιέχονται στα προφίλ των γεωτεχνικών γεωτρήσεων εισήχθησαν στο προσομοίωμα επιφάνειες διάτμησης. Μάλιστα η συμβολή των συγκεκριμένων επιφανειών, η οποία όπως προκύπτει από τις υφιστάμενες κλισιομετρήσεις πρέπει να είναι καθοριστική για την εξέλιξη των κατολισθητικών κινήσεων, ενισχύθηκε με την εισαγωγή ``διεπιφανειών (interfaces)`` που παρέχουν τη δυνατότητα υποβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών κατά μήκος τους. Η θέση των interfaces απεικονίζονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια στην εικόνα 51 με διάστικτες γραμμές κατά μήκος των επιφανειών διάτμησης.

Οι κύριες παραδοχές που έγιναν και οφείλονται στην έλλειψη των σχετικών δεδομένων είναι οι εξής:

- Ελλείπει γεωτρητικών δεδομένων θεωρήθηκε ότι οι μάργες Πισσουρίου εκτείνονται σε όλο το ύψος του πρανούς ανάντη της κύριας κατακρήμνισης. Η παραδοχή αυτή είναι ασφαλής καθώς συμφωνεί με τη γεωλογική χαρτογράφηση και τα δεδομένα της αυτοψίας.
- Δεν εισήχθη επιφάνεια ρήγματος στην τομή του προσομοιώματος. Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο της γεωλογίας, το ρήγμα θεωρείται ότι πιθανά διέρχεται από την περιοχή της κατακρήμνισης χωρίς να είναι σαφής παρουσία, η θέση ή η κλίση της επιφάνειάς του. Άλλωστε, η παρουσία ρήγματος παράλληλα στην κύρια κατακρήμνιση και πίσω από τη μάζα της κατολίσθησης δεν θα επηρεάσει τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης.
- Θεωρήθηκε ότι τα interfaces που σχεδιάστηκαν στην τομή έχουν αυθαίρετα μήκος αρκετών μέτρων, το οποίο προφανώς δεν επιβεβαιώνεται από τα γεωτρητικά προφίλ που παρέχουν σημειακή πληροφορία. Η παραδοχή αυτή είναι επίσης προς τη μεριά της ασφάλειας καθώς δυσχεραίνει τις συνθήκες ευστάθειας της κατολισθαίνουσας μάζας.
- Στο πρανές ανάντη της κύριας κατακρήμνισης δεν έχουν σχεδιαστεί καθόλου επιφάνειες διάτμησης, ελλείπει γεωτρητικών δεδομένων.
- Θεωρήθηκε ότι το φορτίο των κατασκευών φτάνει τα 10 kN/m^2 . Το φορτίο αυτό είναι μεγαλύτερο αυτού που λογικά επιβάλλεται από τις συνήθεις διώροφες κατοικίες που υπάρχουν στην περιοχή. Η παραδοχή αυτή είναι επίσης προς τη μεριά της ασφάλειας.



Εικόνα 50. Άποψη της γεωμετρίας της τομής A-A'.



Εικόνα 51. Μεγένθυση επί του προφίλ του προσομοιώματος. Διακρίνονται οι επιφάνειες διάτμησης.

5.2. Παραδοχές επί των συνδυασμών των γεωτεχνικών παραμέτρων

Από την αξιολόγηση των μηχανικών παραμέτρων που περιέχονται στη βιβλιογραφία και παρουσιάστηκαν εκτενώς στην παράγραφο 4.1, προκύπτει ότι το πληρέστερο σύνολο φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για την περιοχή ενδιαφέροντος παρέχεται από την εργασία των Hearn et al. (2018). Τα συγκεκριμένα δεδομένα βασίζονται σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο συγκρότημα Vines 5, το 2012. Δυστυχώς δεν διατίθενται στοιχεία για την περαιτέρω αξιολόγησή τους, πλην του σχετικού πίνακα στη δημοσίευση.

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.1, ακόμα και τα δεδομένα των Hearn et al. (2018) παρουσιάζουν έλλειψη σε τιμές παραμενοσών αντοχών. Για την παράκαμψη του προβλήματος αυτού θεωρήθηκε ότι οι διεπιφάνειες έχουν το 30% της αντοχής των υλικών εντός των οποίων αναπτύσσονται.

Συμπερασματικά οι ακραίες τιμές των τιμών των μηχανικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις επιλύσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

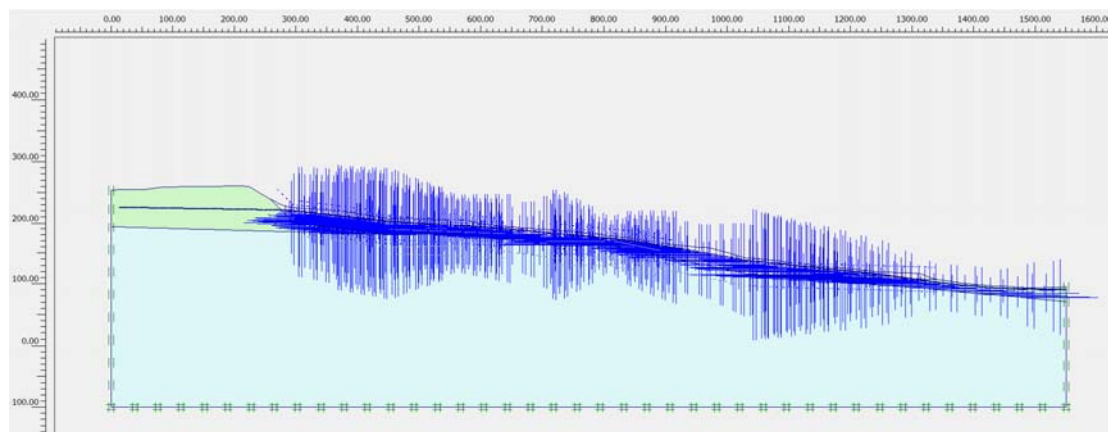
Πίνακας 6. Παραδοχές συνδυασμών γεωτεχνικών παραμέτρων για τη διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας.

Γεωλογικοί Σχηματισμοί	γ (kN/m ³)	Συνδυασμός MIN			Συνδυασμός MAX		
		c' (kPa)	ϕ' (°)	E (MPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E (MPa)
Διαταραγμένη Μάργα Πισσουρίου	17,6	51	26	60	76	28	15
Μάργα Πισσουρίου	19,1	151	29	150	151	29	30
Μάργα Καλαβασού	18,1	234	31	250	234	31	100

5.3. Παραδοχές επί των υδραυλικών συνθηκών

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 4.2, στην περιοχή των Λιμνών έχει αναπτυχθεί επικρεμάμενος υδροφόρος ορίζοντας εντός των υλικών της κατολίσθησης. Για τη διερεύνηση της επίδρασης της συγκεκριμένης υδροφορίας στον μηχανισμό εκδήλωσης της κατολίσθησης, στις επιλύσεις προστέθηκε υπολογιστική φάση κατά την οποία ενεργοποιείται υδροφορία που φτάνει σε μικρά βάθη από την επιφάνεια (Εικόνα 52), καθώς και αντίστοιχη υπολογιστική φάση υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας. Το σενάριο αυτό δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα καθώς σε αρκετές περιόδους έχουν καταγραφεί στάθμες που φτάνουν έως και τα 3 m από την επιφάνεια του εδάφους, σε αρκετές θέσεις εντός της κατολισθαίνουσας μάζας.

Όπως έχει αναφερθεί υπάρχουν υπόνοιες για τον κατακερματισμό της υδροφορίας σε επιμέρους υδροφορίες. Το σενάριο αυτό δεν μπορεί να εισαχθεί στο προσομοίωμα λόγω έλλειψης δεδομένων. Σε κάθε περίπτωση όμως η θεώρηση ενός ενιαίου υδροφόρου με υψηλή στάθμη αποτελεί το δυσμενέστερο σενάριο και σαφέστατα είναι προς τη μεριά της ασφάλειας.



Εικόνα 52. Η κατανομή των υδροστατικών πιέσεων όπως διαμορφώνονται από την παρουσία ενιαίου υδροφόρου ορίζοντα.

5.4. Αποτελέσματα αναλύσεων ευστάθειας

Οι αναλύσεις ευστάθειας πραγματοποιήθηκαν για τους δύο ακραίους συνδυασμούς μηχανικών παραμέτρων, όπως αυτοί παραθέτονται στον πίνακα 6. Η προσομοίωση περιλαμβάνει τρεις βασικές υπολογιστικές φάσεις παραμορφώσεων και τρεις αντίστοιχες φάσεις υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει μια υπολογιστική φάση για την αφόρτιση από κατασκευές μάζα της κατολίσθησης, μια στην οποία ενεργοποιούνται τα φορτία των οικιών επί της κατολισθαίνουσας μάζας και μια τρίτη κατά την οποία ενεργοποιείται ο επικρεμάμενος υδροφόρος ορίζοντας. Τέλος για κάθε μια από τις προαναφερόμενες φάσεις υπολογίζεται και ο συντελεστής ασφαλείας της κατολισθαίνουσας μάζας, με την εισαγωγή στο προσομοίωμα αντίστοιχων υπολογιστικών φάσεων.

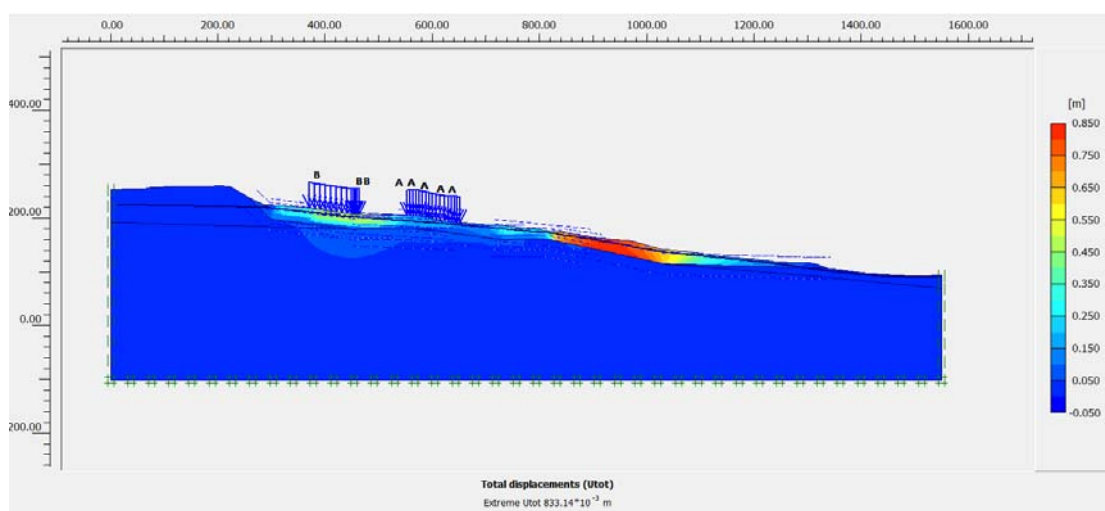
Οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από τους προαναφερόμενους υπολογισμούς παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7. Οι συντελεστές ασφαλείας των επιλύσεων επί της τομής A-A'.

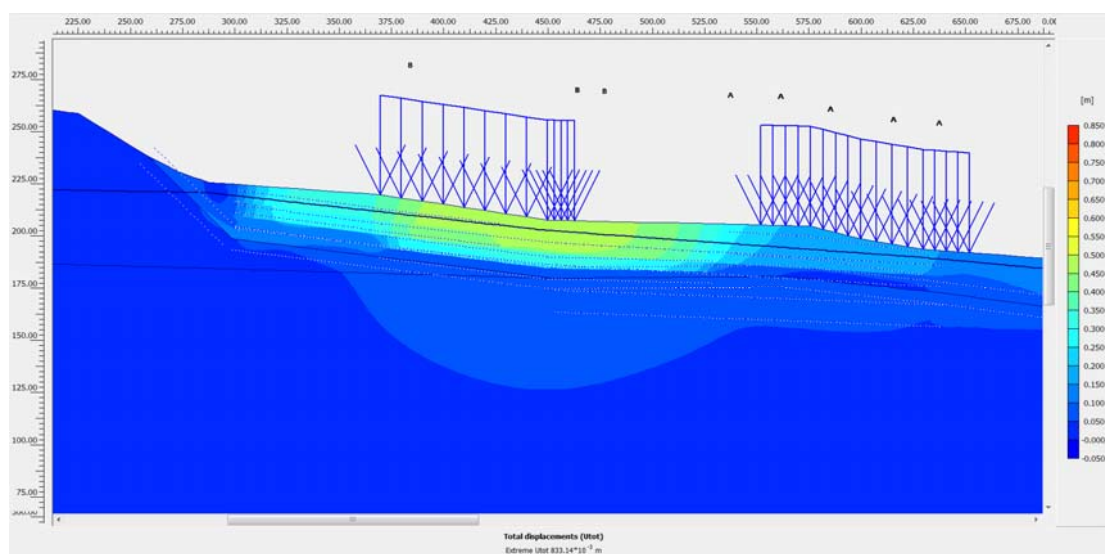
Γεωμετρικό Προσομοίωμα	Υδραυλικές Συνθήκες	Φορτία Κατασκευών	Συνδυασμός Γεωτεχνικών Παραμέτρων	
			MAX	MIN
Pissouri AA	OFF	OFF	1.781	1.494
Pissouri AA	OFF	ON	1.776	1.493
Pissouri AA	ON	ON	1.268	1.031

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

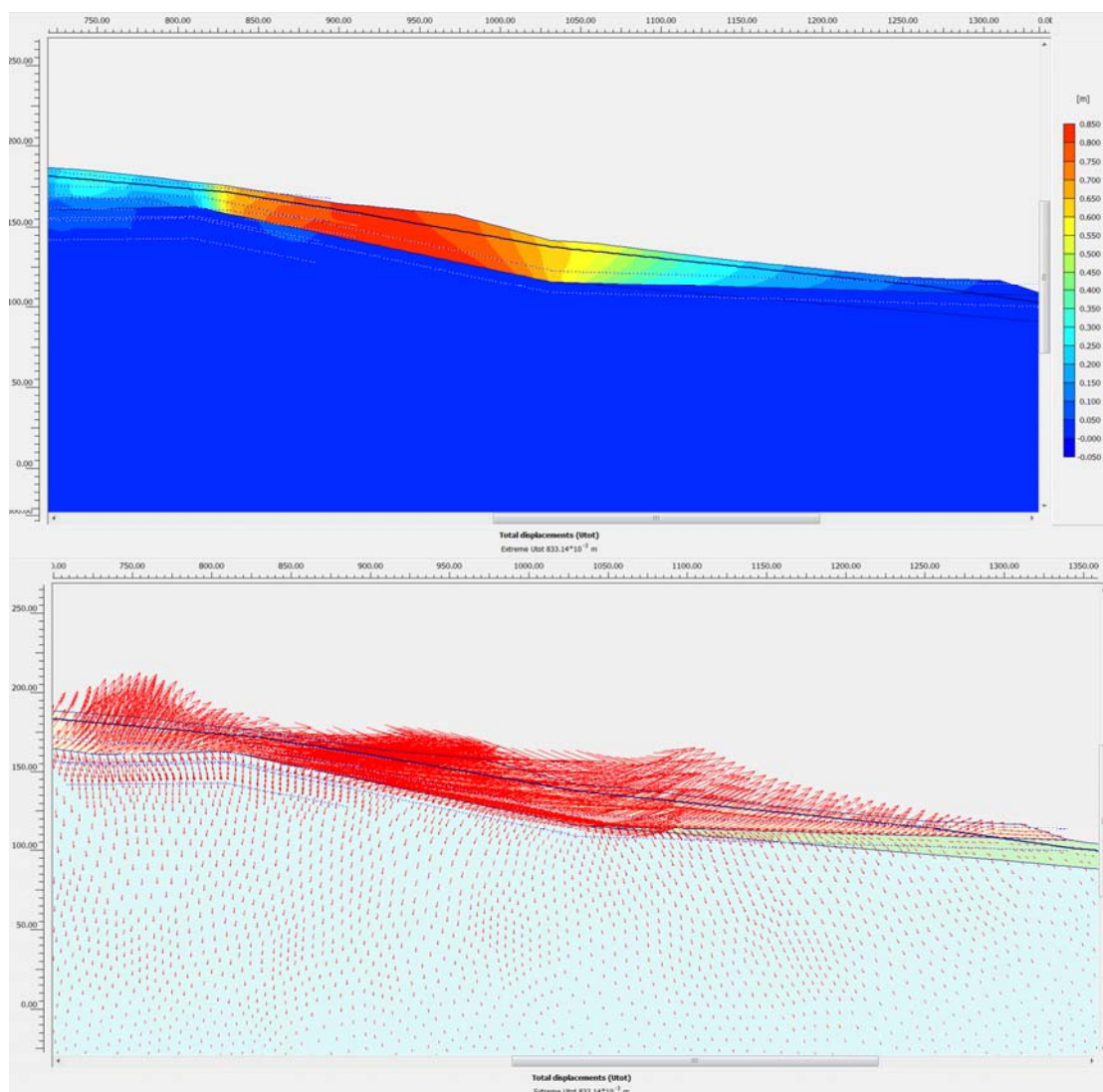
- **Η άνοδος της στάθμης είναι ικανή να ενεργοποιήσει το σύνολο της μάζας της παλαιοκατολίστησης (Εικόνα 53). Μάλιστα στην προσομοίωση διακρίνονται και οι επιμέρους περιστροφικές αστοχίες που εκδηλώνονται εντός της μάζας της κατολίστησης προς τα εμπρός (ανατολικά) και προς τα άνω (Εικόνα 55). Υπάρχει δηλαδή ικανοποιητική ταύτιση με τα δεδομένα των συμβολογραφημάτων.**



Εικόνα 53. Η κατανομή των παραμορφώσεων στο σύνολο της παλαιοκατολίστησης ως συνέπεια της ανόδου της στάθμης του υδροφόρου.



Εικόνα 54. Μεγέθυνση επί της κατανομής των παραμορφώσεων στη θέση κατάντη της κύριας κατακρήμνισης. Διακρίνεται η περιστροφική αστοχία κάτω από τη θεμελίωση των κτιρίων.



Εικόνα 55. Μεγέθυνση επί της κατανομής των παραμορφώσεων στο πόδι της παλαιοκατολίσθησης. Είναι σαφές ότι η μάζα εξωθείται προς τα εμπρός (ανατολικά) και προς τα άνω.

- Η επιβολή φορτίων από τις κατασκευές ουσιαστικά δεν είναι ικανή να αποτελέσει το έναυσμα ενεργοποίησης της παλαιοκατολίσθησης της περιοχής των Λιμνών. Αντιθέτως μπορούν να συμβάλουν στην ενεργοποίηση αβαθών περιστροφικών αστοχιών εντός της μάζας της κατολίσθησης, όταν η στάθμη του υδροφόρου ανέρθει σε υψηλά επίπεδα (Εικόνα 54).
- **Τα φορτία των κατασκευών προκαλούν ανεπαίσθητη έως μηδενική μείωση του συντελεστή ασφαλείας της κατολισθαίνουσας μάζας της παλαιοκατολίσθησης (Πίνακας 7).** Το αποτέλεσμα αυτό είναι απόλυτα λογικό γιατί τα φορτία αυτά σε σχέση με τον όγκο της κατολίσθησης είναι αμελητέα.



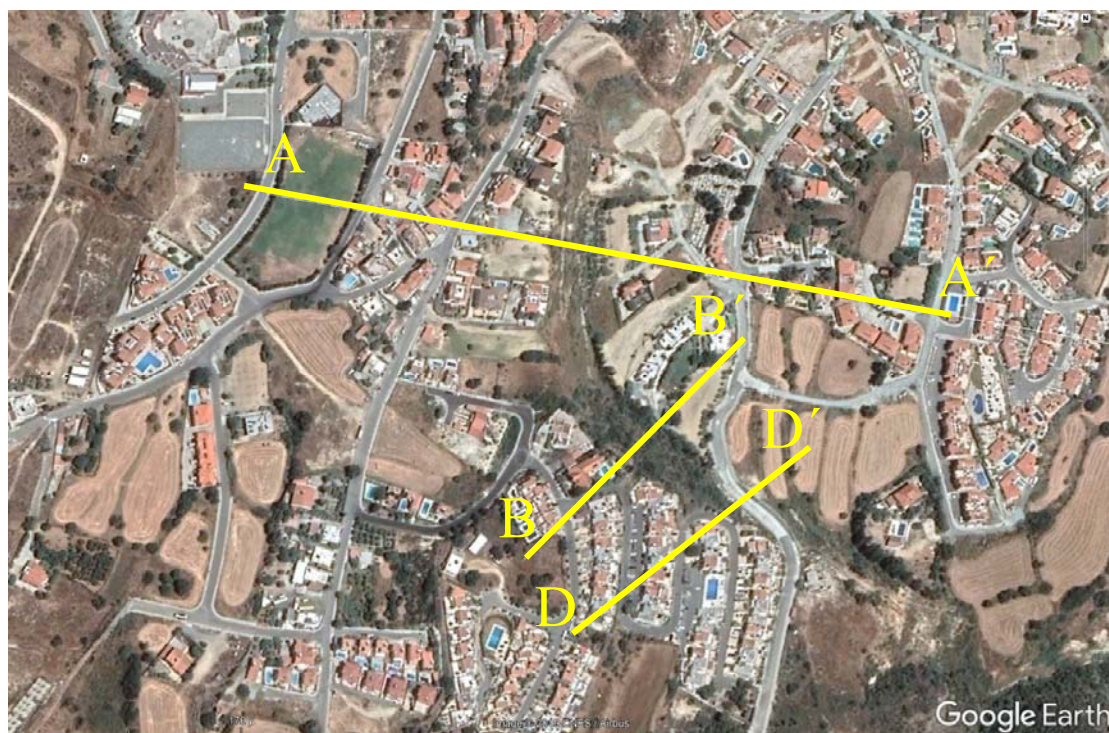
- **Η ανάπτυξη του επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην υποβάθμιση του συντελεστή ασφαλείας της κατολισθαίνουσας μάζας.** Όπως φαίνεται στον πίνακα 7, για τον συνδυασμό των γεωτεχνικών παραμέτρων με τις μέγιστες τιμές, η ανάπτυξη του υδροφόρου προκαλεί μείωση του συντελεστή ασφαλείας από το 1,776 στο 1,268, ενώ για τις ελάχιστες τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων από το 1,493 στο 1,031. Φτάνει δηλαδή σε συνθήκες οριακής ισορροπίας.
- **Από την διαπίστωση αυτή προφανώς προκύπτει και το αντίστροφο συμπέρασμα. Δηλαδή αρκεί η αποστράγγιση της κατολισθαίνουσας μάζας για την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας της. Η ενέργεια αυτή πιθανότατα να οδηγήσει ακόμα και στην αδρανοποίησή της. Σίγουρα όμως θα επιβραδύνει καθοριστικά τις όποιες μετακινήσεις.**

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ουσιαστικά επιβεβαιώνονται από τα δεδομένα των παραμορφώσεων που έχουν προκύψει από την περιοχή μελέτης, όπως τα συμβολογραφήματα και την κατανομή των εδαφικών διαρρήξεων.

Στο παράρτημα της παρούσας παραθέτονται επιπλέον δεδομένα από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που αναλύθηκαν στην παρούσα παράγραφο.

6. ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΝΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (ΟΙΚΙΣΜΟΣ CYBARCO)

Για τη θεώρηση των συνθηκών ευστάθειας των πρανών της κύριας κατακρίμνησης συμπεριλαμβανομένου και αυτών που βρίσκονται κατάντη του οικισμού CYBARCO σχεδιάστηκαν τρεις τομές κατά μήκος των αξόνων A-A', B-B' και D-D' (Εικόνα 56). Από τις τομές αυτές η A-A' διατάσσεται στη συνέχεια του άξονα της παλαιοκατολίσθησης ενώ οι B-B' και D-D' στα πρανή του οικισμού CYBARCO.



Εικόνα 56. Οι άξονες των τομών A-A', B-B' και D-D' που σχεδιάστηκαν για τη διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των πρανών της κύριας κατακρίμνησης της παλαιοκατολίσθησης.

6.1. Γεωμετρία του προφίλ προσομοίωσης A-A'

Η γεωμετρία των προφίλ των προσομοιωμάτων παρουσιάζεται στις Εικόνες 57, 58 & 59. Τα προφίλ σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Να αποτυπώνουν με μεγάλη ακρίβεια και πιστότητα τη γεωμετρία της τομής.
- Σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να περιλαμβάνουν μεγάλο τμήμα του ανάντη εκτιμώμενου τμήματος της ράχης, προκειμένου να μην περιοριστεί η δυνατότητα ανίχνευσης ενδεχόμενων αστοχιών προς τα μετόπισθεν.
- Σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να εκτείνονται σε μεγάλο βάθος προκειμένου να μην περιοριστεί η δυνατότητα ανίχνευσης βαθιών αστοχιών.

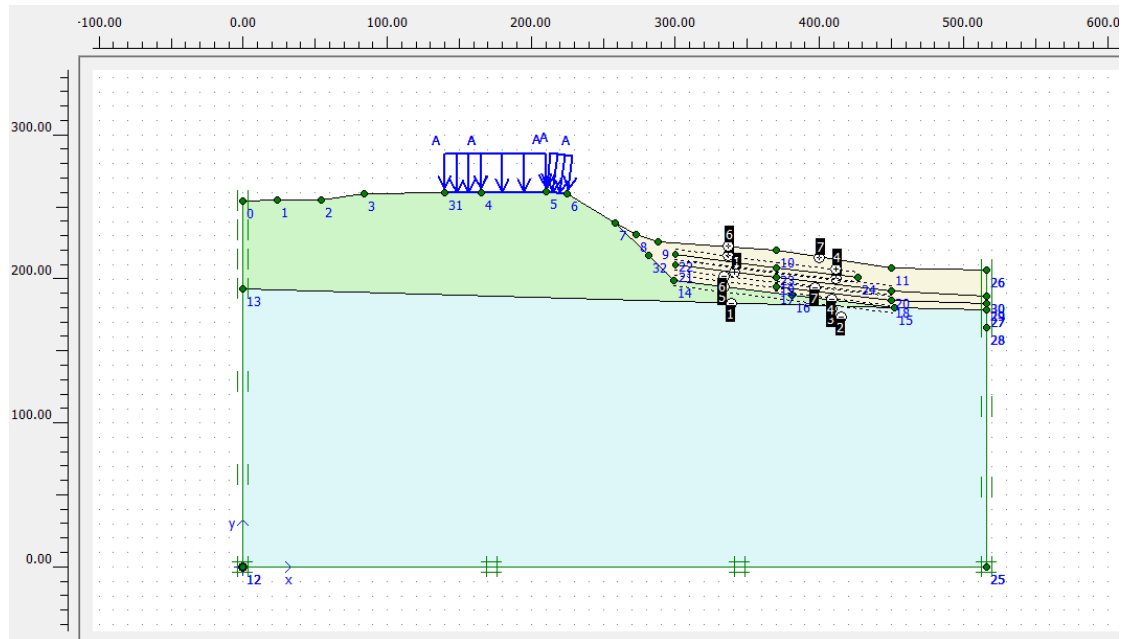
Οι κύριες παραδοχές που έγιναν και οφείλονται στην έλλειψη των σχετικών δεδομένων είναι οι εξής:

- Τα όρια μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών σχεδιάστηκαν αυθαίρετα καθώς δεν διατίθενται γεωτρητικά προφίλ στις θέσεις των πρανών. Σχετικά δεδομένα υπάρχουν μόνο για την περιοχή της παλαιοκατολίσθησης κατάντη των πρανών, τα οποία και προφανώς αξιοποιήθηκαν.
- Ελλείψει γεωτρητικών δεδομένων θεωρήθηκε ότι οι μάργες Πισσουρίου εκτείνονται σε όλο το ύψος των πρανών ανάντη της κύριας κατακρήμνισης. Η παραδοχή αυτή συμφωνεί με τη γεωλογική χαρτογράφηση και τα δεδομένα της αυτοψίας και είναι ασφαλής κατά μήκος των τομών. Οι ψαμμίτες Πισσουρίου που εντοπίστηκαν κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση σε τμήματα της στέψης του πρανούς που φέρει τον οικισμό CYBARCO έμειναν εσκεμμένα εκτός των αξόνων των τομών B-B' και D-D', καθώς για τους συγκεκριμένους σχηματισμούς δεν υπάρχουν καθόλου γεωτεχνικά δεδομένα.
- Στο πρανές ανάντη της κύριας κατακρήμνισης δεν έχουν σχεδιαστεί επιφάνειες διάτμησης καθώς για τη συγκεκριμένη περιοχή δεν υπάρχουν γεωτρητικά δεδομένα και δεν πιστοποιείται η παρουσία τους. Η παραδοχή πλήττει την αξιοπιστία των επιλύσεων καθώς η ενδεχόμενη παρουσία των συγκεκριμένων επιφανειών θα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις συνθήκες ευστάθειας των πρανών.
- Δεν κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθούν επιλύσεις με την παρουσία ρηγμάτων σε καμία από τις τομές. Όπως έχει προαναφερθεί, σύμφωνα με την χαρτογράφηση των Stow et al, 1995, μπορεί να υπάρχει ρήγμα το οποίο πιθανά διέρχεται από την περιοχή της κατακρήμνισης χωρίς να είναι σαφής η παρουσία, η θέση ή η κλίση της επιφάνειάς του. Αν το ρήγμα αυτό είναι όντως υπαρκτό θα τέμνει τις τομές σε κάποια θέση. Η διεπιφάνεια του ρήγματος δεν μπορεί να σχεδιαστεί χωρίς σχετικά δεδομένα.
- Θεωρήθηκε ότι το φορτίο των κατασκευών φτάνει τα 10 kN/m^2 . Το φορτίο αυτό είναι μεγαλύτερο αυτού που λογικά επιβάλλεται από τις συνήθεις διώροφες κατοικίες που υπάρχουν στην περιοχή. Η παραδοχή αυτή είναι προς τη μεριά της ασφάλειας.

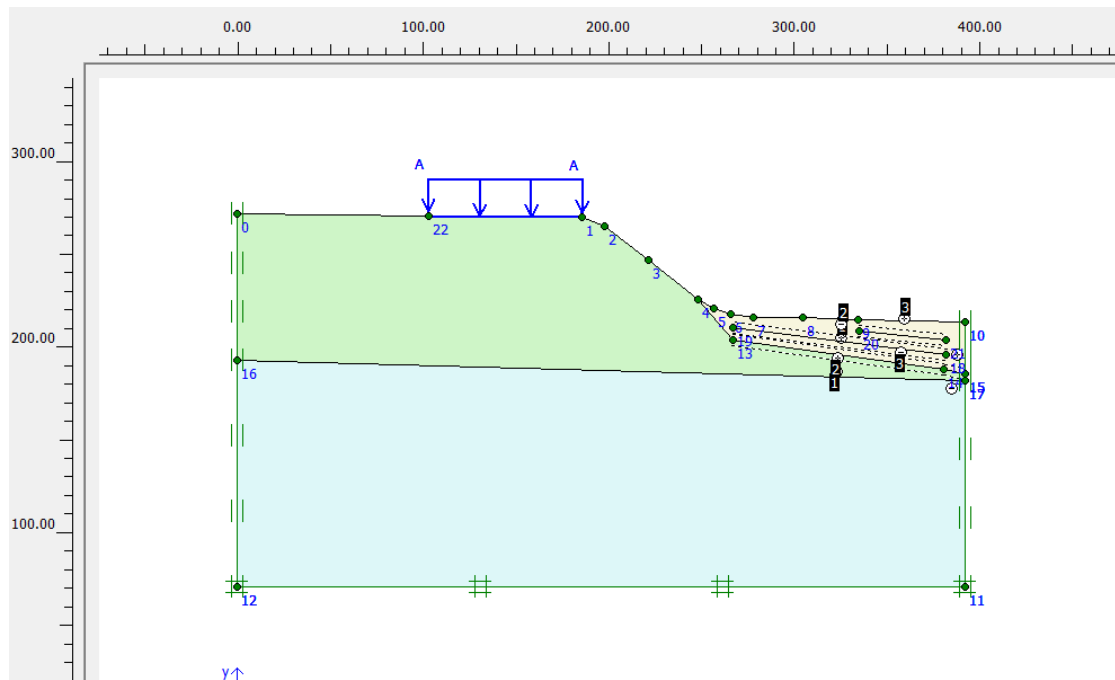
6.2. Παραδοχές επί των συνδυασμών των γεωτεχνικών παραμέτρων

Σε ότι αφορά στις μηχανικές παραμέτρους χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες τιμές με αυτές της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για την παλαιοκατολίσθηση της περιοχής των Λιμνών. Τα συγκεκριμένα δεδομένα, όπως έχει αναφερθεί, βασίζονται σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο συγκρότημα Vines 5, το 2012, και παρέχονται από την

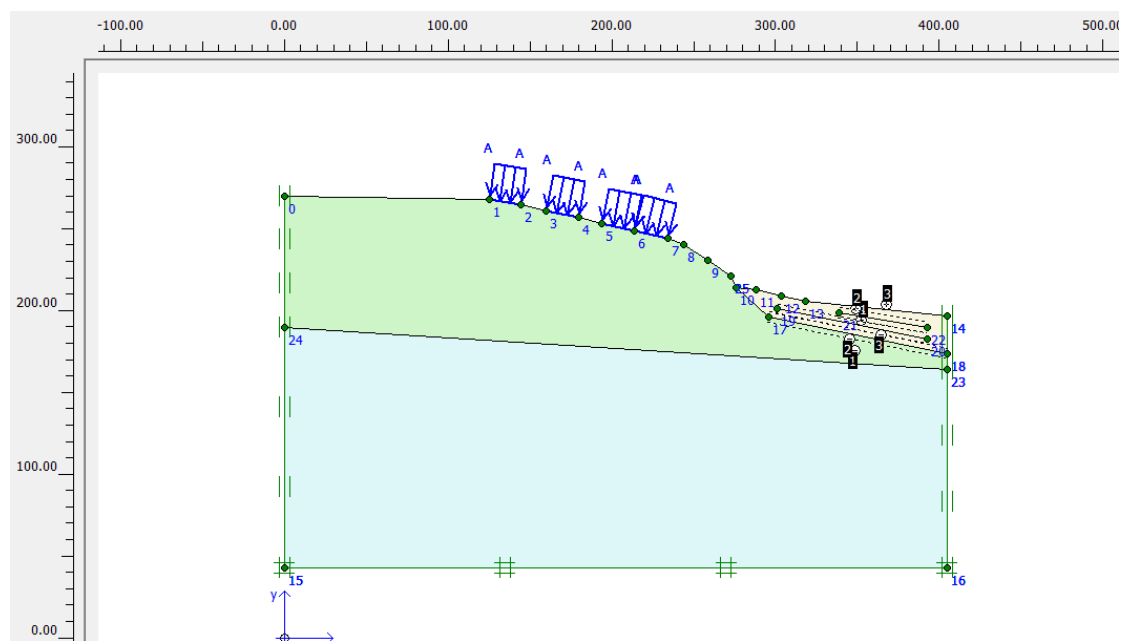
εργασία των Hearn et al. (2018). Οι ακραίες τιμές των τιμών των μηχανικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στις επιλύσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 3.



Εικόνα 57. Άποψη της γεωμετρίας της τομής A-A'. Πρόκειται για απόσπασμα της τομής A-A' που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των συνθηκών ευστάθειας της παλαιοκατολίσθησης.



Εικόνα 58. Άποψη της γεωμετρίας της τομής B-B'.



Εικόνα 59. Άποψη της γεωμετρίας της τομής D-D'.

6.3. Παραδοχές επί των υδραυλικών συνθηκών

Και στην περίπτωση των υδραυλικών συνθηκών η έλλειψη δεδομένων κατέστησε αδύνατη την εισαγωγή υδροφορίας στα συγκεκριμένα μοντέλα.

Αν και είναι δεδομένο ότι υπάρχουν στραγγιστικοί λάκκοι που εμποτίζουν τα υλικά των πρανών, αυτού του είδους οι πηγές παροχής νερού δεν μπορούν να εισαχθούν στα προσομοίωμα χωρίς να υπάρχει γνώση για τη γεωμετρία και τη χωροθέτησή τους. Επίσης η απουσία γεωτρητικών δεδομένων για την ποιότητα της μάργας και για το ενδεχόμενο ύπαρξης κάποιου μανδύα αποσάθρωσης κατέστησε αδύνατη τη θεώρηση ύπαρξης κάποιου επικρεμάμενου υδροφόρου επί του συγκεκριμένου πρανούς.

Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι η απουσία των συγκεκριμένων δεδομένων δεν είναι προς όφελος της ασφάλειας των επιλύσεων καθώς η ύπαρξη κάποιας μορφής υδροφορίας θα υποβάθμιζε τις συνθήκες ευστάθειας των πρανών.

6.4. Αποτελέσματα αναλύσεων ευστάθειας

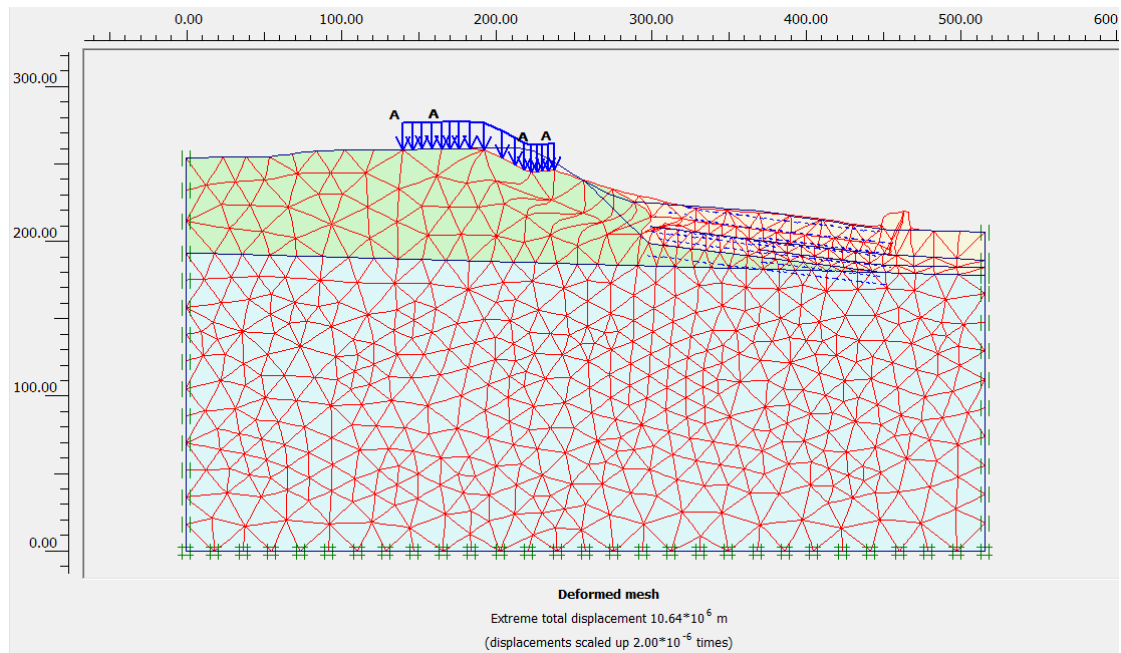
Οι αναλύσεις ευστάθειας πραγματοποιήθηκαν για τους δύο ακραίους συνδυασμούς μηχανικών παραμέτρων, όπως αυτοί παραθέτονται στον πίνακα 6. Οι προσομοιώσεις περιλαμβάνουν δυο βασικές υπολογιστικές φάσεις παραμορφώσεων και μια φάση υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας του εκάστοτε πρανούς. Οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από τους προαναφερόμενους υπολογισμούς παρουσιάζονται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8. Οι συντελεστές ασφαλείας των επιλύσεων επί των τομών A-A', B-B' και D-D'.

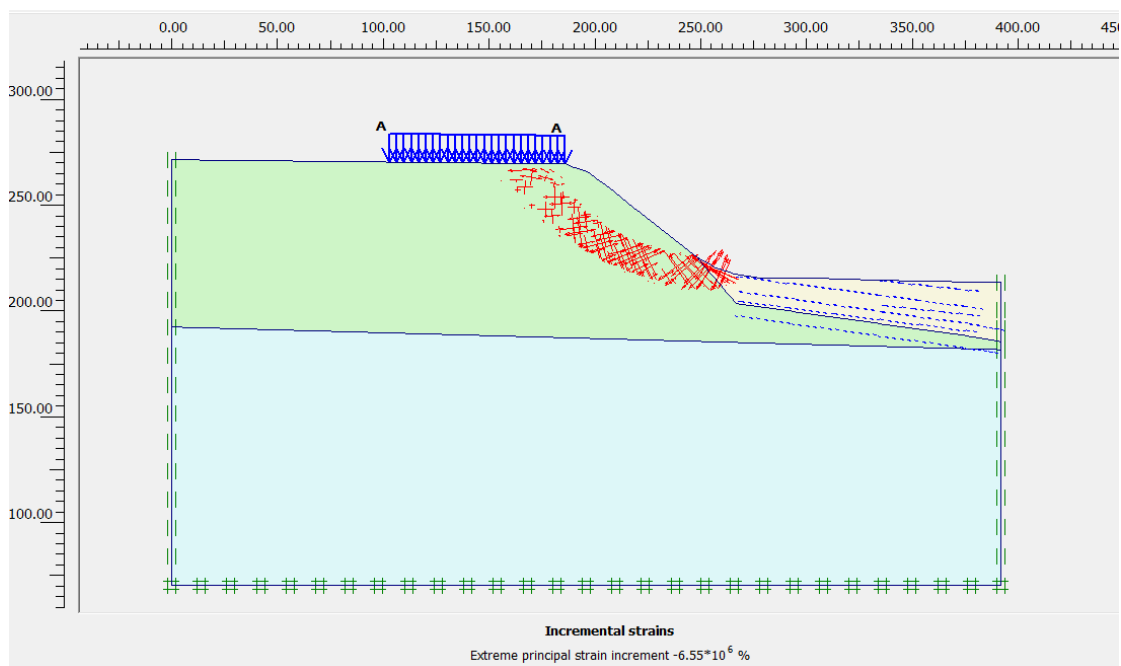
Γεωμετρικό Προσομοίωμα	Υδραυλικές Συνθήκες	Φορτία Κατασκευών	Συνδυασμός Γεωτεχνικών Παραμέτρων	
			MAX	MIN
Pissouri AA Hill	OFF	ON	3.230	2.424
Pissouri BB Hill	OFF	ON	-	1.692
Pissouri DD Hill	OFF	ON	-	2.156

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

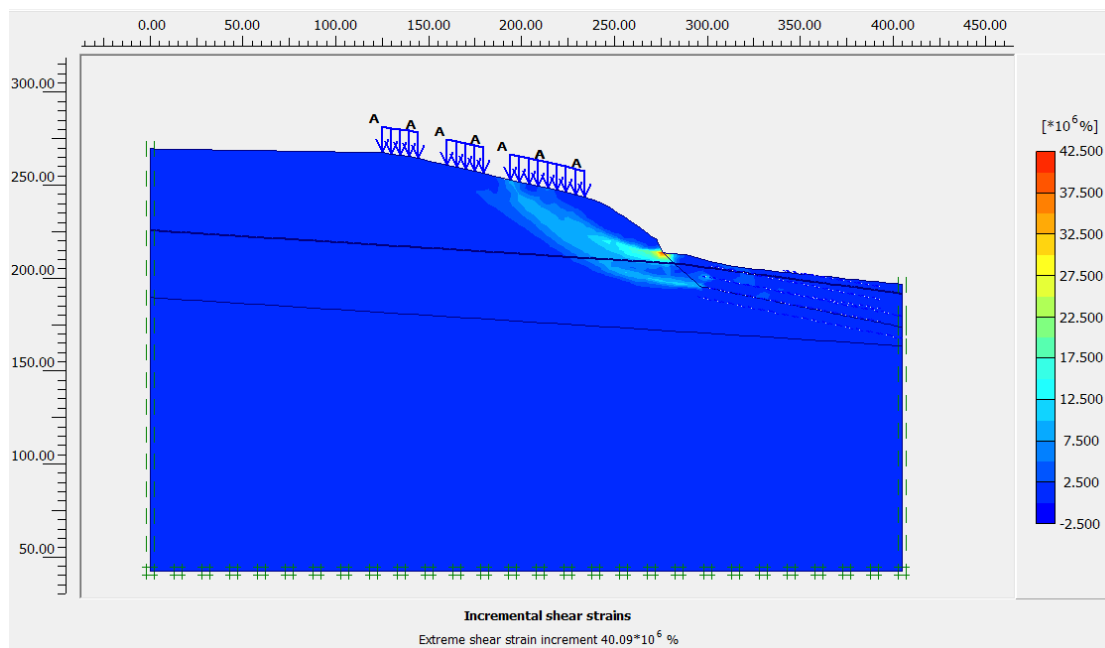
- **Ο μηχανισμός αστοχίας των πρανών προδιαγράφει την εκδήλωση αστοχίας βάσης, η οποία εκτείνεται από τη βάση της κύριας κατακρήμνισης έως τα θεμέλια των κατοικιών.** Ο συγκεκριμένος μηχανισμός είναι διακριτός και στα τρία πρανή που προσομοιώθηκαν (Εικόνες 60, 61 & 62).
- Στον μηχανισμό αστοχίας των πρανών συμβάλει και η παραμόρφωση της κατολισθαίνουσας μάζας της παλαιοκατολίστησης των Λιμνών. Δηλαδή πρακτικά η ολίσθηση της παλαιοκατολίστησης και η απομάκρυνσή της από το πρανές της κύριας κατακρήμνισης, όπου και λειτουργεί ως αντίβαρο, διευκολύνει την αστοχία του ανάντη πρανούς. Η λειτουργία αυτή διακρίνεται καθαρά στις εικόνες 60 & 62.
- Οι συντελεστές ασφαλείας που προκύπτουν από το σύνολο των επιλύσεων είναι απροσδόκητα μεγάλοι, με αποτέλεσμα να δημιουργούν ένα αίσθημα ασφαλείας. Όπως όμως έχει προαναφερθεί **οι παραδοχές που έχουν γίνει στις συγκεκριμένες επιλύσεις αποκλείουν τη δράση σημαντικών παραγόντων αποσταθεροποίησης των πρανών (επιφάνειες διάτμησης και υδροφορίες).** Πέραν αυτών, **αν συνεκτιμηθούν τα δεδομένα συμβολομετρίας και οι καταγραφές των εφελκυστικών ρωγμών στη στέψη του πρανούς, τότε γίνεται σαφές ότι είναι παρακινδυνευμένο να γίνουν αποδεκτές οι συγκεκριμένες υψηλές τιμές των συντελεστών ασφαλείας.**



Εικόνα 60. Ο παραμορφωμένος κάναβος που αναδεικνύει τον μηχανισμό αστοχίας του πρανούς της τομής A-A'.



Εικόνα 61. Η κατανομή των διατμητικών τάσεων κατά την αστοχία του πρανούς της τομής B-B'.



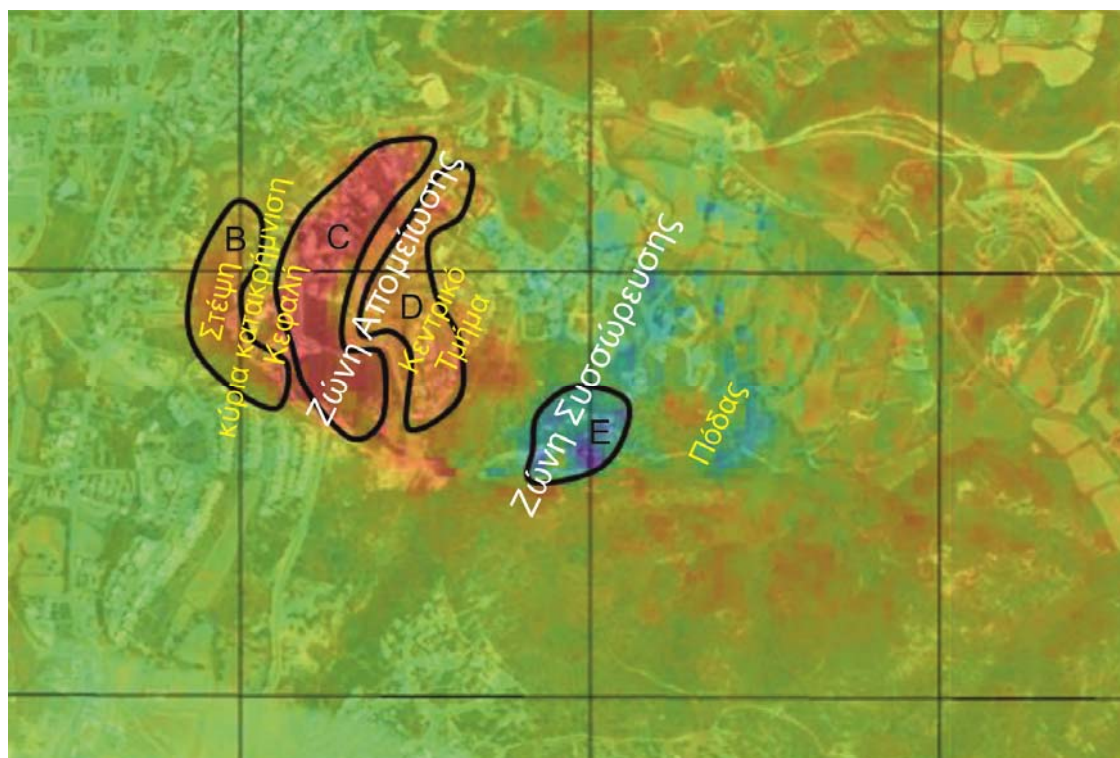
Εικόνα 62. Η κατανομή των διατμητικών τάσεων κατά την αστοχία του πρανούς της τομής D-D'.

Συνοψίζοντας, τα ανωτέρω αποτελέσματα των προσομοιώσεων μπορούν να γίνουν αποδεκτά ως προς το σκέλος της διερεύνησης του μηχανισμού αστοχίας των πρανών. Ο οποίος μάλιστα παρουσιάζεται σε συμφωνία με τα δεδομένα συμβολομετρίας και τις καταγραφές των εδαφικών διαρρήξεων. Οι συντελεστές ασφαλείας όμως πρέπει να αναθεωρηθούν όταν προκύψουν ασφαλή δεδομένα από γεωτεχνικές γεωτρήσεις.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την αξιολόγηση του συνόλου των δεδομένων που διατίθενται αλλά και των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, προέκυψε μια σαφής εικόνα για το μηχανισμό εκδήλωσης των μετακινήσεων της παλαιοκατολίστησης των Λιμνών αλλά και για τις συνθήκες ευστάθειας των πρηνών της κύριας κατακρήμνισης.

Συγκεκριμένα, η μάζα της παλαιοκατολίστησης φαίνεται να εμφανίζει σαφείς ενδείξεις για την σε βάθος ενεργοποίησής της. Το σύνολο της ζώνης απομείωσης της, συμπεριλαμβανομένου της κεφαλής και του κεντρικού τμήματος της μάζας της κατολίστησης (C & D), κινείται βυθιζόμενο προς τα ανατολικά (Εικόνες 63 & 64). Ενώ η ζώνη συσσώρευσης (E), συμπεριλαμβανομένου του πόδα της κατολίστησης, ανυψώνεται μετατιθέμενη προς τα ανατολικά, εξωθούμενη από τις προαναφερόμενες κινήσεις της ζώνης απομείωσης. Πέραν των ανωτέρω κινήσεων υφίστανται και ρηχές περιστροφικές αστοχίες εντός της διαταραγμένης μάζας, οι οποίες περιπλέκουν την μακροσκοπική εικόνα των παραμορφώσεων και των διαρρήξεων.



Εικόνα 63. Απόσπασμα της χωρικής κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων των δεδομένων συμβολομετρίας στην οποία επισημαίνονται οι θέσεις των μορφολογικών χαρακτηριστικών της κατολίστησης. Ως ζώνη απομείωσης επισημαίνονται οι περιοχές με τα κόκκινα χρώματα, πρόκειται για τις περιοχές από τις οποίες απομακρύνεται το υλικό, και ως ζώνη συσσώρευσης οι περιοχές με τα μπλε, πρόκειται για τις περιοχές στις οποίες συγκεντρώνεται υλικό.



Εικόνα 64. Οι θέσεις των μορφολογικών χαρακτηριστικών της κατοίησης.

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός επιβεβαιώνεται από τα δεδομένα συμβολομετρίας. Μάλιστα, από τα ίδια δεδομένα διαφαίνεται ότι οι παρατεταμένες βροχοπτώσεις της χειμερινής περιόδου 2016-17 επιτάχυναν κατά πολύ το ρυθμό των μετακινήσεων που καταγράφονταν συμβολομετρικά από το 2006. Εκτός από τα δεδομένα συμβολομετρίας η ενεργοποίηση του συνόλου της παλαιοκατολίσθησης επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι η ζώνη απομείωσης έχει πλέον, από το 2018-19, περιχαρακωθεί πλήρως από τις επιφανειακές διαρρήξεις.

Σε ότι αφορά στο βάθος μέχρι το οποίο λαμβάνουν χώρα οι συγκεκριμένες κινήσεις η εικόνα είναι συγκεχυμένη, καθώς τα δεδομένα των κλισιομέτρων δεν παρέχουν ολοκληρωμένη πληροφόρηση. Συγκεκριμένα αν και στα περιθώρια της κατολισθαίνουσας μάζας μετακινήσεις καταγράφονται από τα 6m έως και τα 19m (Κλισιόμετρο: EG2017/017), στο κεντρικό τμήμα της φαίνεται οι μετακινήσεις να φτάνουν σε βάθος τα 23m (Κλισιόμετρο: EG2013/017) ή και να συνεχίζονται σε βάθη μεγαλύτερα των 29m (Κλισιόμετρα: EG2018/002 και EG2018/008). Παράλληλα στα προφίλ των γεωτεχνικών γεωτρήσεων διακρίνονται σαφή ίχνη επιφανειών διάτμησης εντός χαλαρών μαργαϊκών υλικών έως και βάθη που φτάνουν και τα 39m. Οι τελευταίες επιφάνειες δεν είναι σαφές αν είναι συνιζηματογενείς.

Σε ότι αφορά στις ρηχές περιστροφικές αστοχίες, πέραν των συμβολομετρικών δεδομένων, επιβεβαιώνονται και από την κατανομή των παραμορφώσεων που πλήττουν τις κατασκευές εντός της μάζας της κατολίσθησης καθώς και από την κατανομή των διαρρήξεων.

Όλα τα ανωτέρω σε ότι αφορά στο μηχανισμό εκδήλωσης των παραμορφώσεων στη μάζα της παλαιοκατολίσθησης των Λιμνών φαίνεται να επιβεβαιώνονται επαρκώς και από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν με τα διαθέσιμα γεωτεχνικά δεδομένα. **Επιπλέον οι προσομοιώσεις αποδεικνύουν ότι η στράγγιση της μάζας της κατολίσθησης από τον επικρεμάμενο υδροφόρο θα συμβάλει καθοριστικά στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας της.**

Σε ότι αφορά στα πρηνή της κύριας κατακρήμνισης (B, Εικόνα 63) φαίνεται ότι τμήματά τους εκδηλώνουν κινήσεις προς τα ανατολικά. Οι κινήσεις αυτές σηματοδοτούν ότι η κατολίσθηση παρουσιάζει προοδευτική επέκταση προς τα μετόπισθεν επαπειλώντας την ευστάθεια των πρηνών.

Τα ανωτέρω σχετικά με τις οριζόντιες μετακινήσεις της στέψης του πρηνούς επιβεβαιώνονται από τα συμβολομετρικά δεδομένα καθώς και από την εμφάνιση εδαφικών διαρρήξεων στη στέψη του πρηνούς. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένες μετακινήσεις παρουσίασαν μεγάλη αύξηση του ρυθμού τους μετά το πέρας της υγρής περιόδου του 2017. Οι μετακινήσεις αυτές επηρεάζουν τη στέψη του πρηνούς της κύριας κατακρήμνισης, έως τις παρυφές του οικισμού Cybarco.

Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε όλη την έκταση των πρηνών της κύριας κατακρήμνισης αναδεικνύουν επαρκώς το δυνητικό μηχανισμό αστοχίας των συγκεκριμένων πρηνών αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να γίνουν αποδεκτές οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας που παρέχουν. Όπως έχει αναφερθεί η έλλειψη δεδομένων και οι παραδοχές που έχουν γίνει για τις συγκεκριμένες επιλύσεις πλήττουν την αξιοπιστία τους ως προς τις τιμές των συντελεστών.

Από την αξιολόγηση του συνόλου των διαθέσιμων δεδομένων αναδείχθηκαν και οι ελλείψεις που υπάρχουν σε αυτά. Συγκεκριμένα σε επόμενες εργασίες επί της περιοχής ενδιαφέροντος πρέπει να δρομολογηθούν οι ακόλουθες εργασίες - ενοργανώσεις:

- Πρέπει να γίνει λεπτομερής χαρτογραφική και γεωτρητική διερεύνηση των θέσεων των ρηγμάτων που διέρχονται από την περιοχή ενδιαφέροντος.
- Πρέπει να γίνει λεπτομερής διερεύνηση με εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών. Τόσο αυτών που βρίσκονται εντός της περιοχής Λιμνών όσο και αυτών που εντοπίζονται στην περιοχή της στέψης της παλαιοκατολίστησης. Πρέπει να δοθεί έμφαση στον υπολογισμό των ενεργών παραμέτρων διατμητικής αντοχής καθώς και στις τιμές των παραμενουσών αντοχών.
- Πρέπει να πραγματοποιηθούν υδρογεωτρήσεις σε όλη τη μάζα της κατολίστησης και να διεξαχθούν δοκιμαστικές αντλήσεις με κύριο στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων αποστράγγισης του επικρεμάμενου υδροφόρου. **Η άντληση των υπόγειων υδάτων φαίνεται να είναι το μόνο μέτρο που μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα για την επιβράδυνση των μετακινήσεων.**
- Πρέπει να κατασκευαστούν κλισιόμετρα μεγάλου βάθους εντός της περιοχής Λιμνών. Τα κλισιόμετρα αυτά θα αποκαλύψουν το πραγματικό βάθος της επιφάνειας ολίσθησης. Επισημαίνεται ότι το στοιχείο αυτό είναι καθοριστικής σημασίας για το σχεδιασμό των όποιων έργων ανάσχεσης των μετακινήσεων. Προφανώς τα όργανα αυτά θα πλήττονται άμεσα από τις κινήσεις που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή και θα πρέπει να ανακατασκευάζονται προκειμένου να ανακτώνται τα απαραίτητα δεδομένα.
- Η εγκαθίδρυση επιφανειακών τοπογραφικών σημείων παρακολούθησης της μάζας της παλαιοκατολίστησης θα προσφέρει σημαντικές πληροφορίες, αλλά όπως προαναφέρθηκε η παράλληλη εκδήλωση ρηγών περιστροφικών αστοχιών εντός της μάζας της παλαιοκατολίστησης θα περιπλέκει τα δεδομένα τους. Ως εκ τούτου

θα πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή των σταθερών σημείων αναφοράς βάσει των οποίων θα γίνονται οι όποιες μετρήσεις.

- Σαφής εικόνα για το σύνολο των κινήσεων στην περιοχή μπορούν να παράσχουν τα συμβολομετρικά δεδομένα. Προτείνεται επομένως η συνέχιση της συμβολομετρικής παρακολούθησης των παραμορφώσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος.
- **Υψίστης σημασίας κρίνεται η ενόργανη παρακολούθηση των πρηνών της κύριας κατακρήμνισης.** Στα συγκεκριμένα πρηνή πρέπει να εγκατασταθούν άμεσα κλισιόμετρα και να εγκαθιδρυθούν τοπογραφικά σημεία. Όπως αναφέρθηκε από τον Ιούνιο του 2017 οι καταγεγραμμένες παραμορφώσεις έχουν αρχίσει να παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση στο ρυθμό εκδήλωσής τους. Τα όργανα που θα εγκατασταθούν προτείνεται να συνδυάζονται με συστήματα συνεχούς καταγραφής των μετακινήσεων (π.χ. σταθερά κλισιόμετρα) και μάλιστα και με συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, σε περίπτωση επιτάχυνσης των παραμορφώσεων.

Σε ότι αφορά στα μέτρα που προτείνεται να εφαρμοστούν για την προστασία της περιοχής ενδιαφέροντος, αυτά είναι τα εξής:

Για την περιοχή Λιμνών

- **Το πρώτο μέτρο που θα πρέπει να δρομολογηθεί άμεσα** είναι η αποστράγγιση της περιοχής Λιμνών με υδρογεωτρήσεις. Δυστυχώς τα έργα αυτά, μέχρι να μετριαστούν οι μετακινήσεις, θα πλήττονται έντονα από αυτές και θα απαιτείται η συνεχής αντικατάστασή τους.
- Οι εργασίες πλήρωσης των ρωγμών που έχουν δρομολογηθεί την παρούσα περίοδο είναι προς τη σωστή κατεύθυνση καθώς μετριάζουν την κατεισδυση των επιφανειακών υδάτων.
- Για την μείωση των κατεισδύσεων θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα και σε ότι αφορά τη συνεχή εκκένωση των στραγγιστικών λάκκων. Η αντικατάσταση των λάκκων από στεγανές δεξαμενές είναι επίσης προς τη σωστή κατεύθυνση.
- Σε επόμενη φάση, και αφού πρώτα μετριαστούν οι μετακινήσεις, θα πρέπει να κατασκευαστεί αποχετευτικό δίκτυο για όσες οικίες και περιοχές μπορούν να διασωθούν.

- Από την έως τώρα εικόνα της σφοδρότητας των μετακινήσεων και της έκτασης της πληττόμενης περιοχής εκτιμάται ότι υπό τις υπάρχουσες συνθήκες είναι πολύ πρόωμο να κατασκευαστεί κάποια δύσκαμπτη κατασκευή, εν είδει διατμητικού κλειδιού, εντός της μάζας της κατολίσθησης, για να ανακόψει τις μετακινήσεις.

- **Θεώρηση του προτεινόμενου δύσκαμπτου πασσαλότοιχου βάθους 30 m κατά μήκος της οδού Κίμωνος.**

Ο συγκεκριμένος πασσαλότοιχος θα αποκόψει το κορυφαίο τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας δημιουργώντας στα κατάντη του μια εφελκυστική ρωγμή. Το κατάντη ευρισκόμενο τμήμα της κατολισθαίνουσας μάζας θα συνεχίσει να κινείται ανεμπόδιστα, προς τα ανατολικά. Η μόνη προσφορά του τοίχου είναι ότι θα επιχειρήσει να αποτρέψει την κίνηση του ανώτερου τμήματος της κατολισθαίνουσας μάζας για να προστατέψει το πρηνές της κύριας κατακρήμνισης από τις συνέπειες που θα έχει η αποφόρτιση της βάσης του. Η σωστή εκτίμηση του βάθους του εκτιμάται ότι θα απαιτήσει εκ νέου κλισιομετρήσεις, προκειμένου να επιβεβαιωθεί ότι δεν λαμβάνουν χώρα μετακινήσεις σε μεγαλύτερα βάθη. Το μεγάλο μήκος του τοίχου σε συνδυασμό με τα μεγάλα φορτία που θα ασκεί επί αυτού η κατολισθαίνουσα μάζα συνθέτουν ένα πολύ δαπανηρό τεχνικό έργο με περιορισμένα οφέλη. Εκτιμάται ότι η επιβράδυνση του συνόλου της κατολισθαίνουσας μάζας με την αποστράγγιση του υδροφόρου θα έχει θετικότερα και πιο γενικευμένα αποτελέσματα, με σαφώς μικρότερο κόστος.

- Εφόσον αποδειχτεί ότι οι αποστραγγιστικές γεωτρήσεις επιτυγχάνουν τη βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας της περιοχής, ως τελικό έργο για τη ριζική αποστράγγιση της κατολισθαίνουσας μάζας και την αποκατάσταση της περιοχής θα είναι η κατασκευή σηράγγων αποστράγγισης κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης. Το έργο αυτό όμως θα πρέπει να αξιολογηθεί με γεωτεχνικές αλλά και οικονομοτεχνικές μελέτες.

Για την περιοχή ανάντη της κύριας κατακρήμνισης

- Στη συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να δρομολογηθεί άμεσα η διευθέτηση των υδάτων που εμποτίζουν τους μαργαϊκούς σχηματισμούς από τους στραγγιστικούς λάκκους. Από όσο μας έγινε γνωστό στις οικίες που βρίσκονται μεταξύ του οικισμού CYBARCO και του παραδοσιακού οικισμού Πισσουρίου λειτουργούν μεμονωμένοι στραγγιστικοί λάκκοι. **Αυτοί καλό θα ήταν να αντικατασταθούν άμεσα από στεγανές δεξαμενές** και να απομακρυνθούν κατά το δυνατό από τη στέψη του πρηνούς. Η μελλοντική κατασκευή αποχετευτικού δικτύου θα εξαλείψει τελείως το πρόβλημα.

Στον οικισμό CYBARCO από όσο γνωρίζουμε υπάρχουν ομαδικοί στραγγιστικοί λάκκοι στις παρυφές του. Το πρώιμο αυτό αποχετευτικό προτείνεται να αναβαθμιστεί σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο αποχέτευσης που να απομακρύνει εξολοκλήρου τα λύματα από τα πρανή.

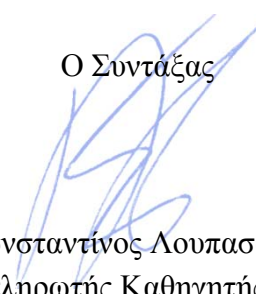
- Με δεδομένες τις παραμορφώσεις των πρανών της κύριας κατακρήμισης θα πρέπει να εγκατασταθούν σε αυτά συστήματα αντιστήριξης. Ενδεικτικά, και λαμβάνοντας υπόψιν τη μορφολογία των πρανών, σε αυτά θα μπορούσαν να εγκατασταθούν αγκύρια με συρματόσχοινα μεγάλου μήκους επί δύσκαμπτων δοκών ή πλακών από σκυρόδεμα. Η διαστασιολόγηση των συγκεκριμένων ή παρόμοιων έργων θα πρέπει να γίνει μετά από ειδικές γεωτεχνικές μελέτες.

Για τον οικισμό Πισσουρίου

- Όπως αποτυπώνεται στο χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας (Χάρτης 1) ο παραδοσιακός οικισμός Πισσουρίου περιβάλλεται από πρανή επιδεκτικά στην εκδήλωση αστοχιών. Ο συνδυασμός της παρουσίας απότομων πρανών δομημένων από σχηματισμούς της μάργας Πισσουρίου δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες αστοχίας, κυρίως στις θέσεις που υπάρχει και προσφορά επιφανειακών ή και υπόγειων υδάτων. Για τη διαχρονική προστασία του οικισμού κρίνεται επιβεβλημένη η κατασκευή αποχετευτικού δικτύου. Αν η κατασκευή του δικτύου καθυστερήσει τότε θα πρέπει να εξεταστεί σοβαρά η αντικατάσταση των στραγγιστικών λάκκων από στεγανές δεξαμενές. Κυρίως στις οικίες που βρίσκονται κοντά σε πρανή.

Πέραν των ανωτέρω στην παρούσα έκθεση περιέχεται χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας του συνόλου της κοινότητας Πισσουρίου. Ο χάρτης αυτός αναδεικνύει περιοχές επιρρεπείς στην εκδήλωση κατολισθήσεων και μπορεί να αποτελέσει στο μέλλον ένα αξιόπιστο επιτελικό εργαλείο για τον περαιτέρω σχεδιασμό έργων υποδομής αλλά και την ένταξη νέων περιοχών στο σχέδιο πόλεων.

Ο Συντάξας


Κωνσταντίνος Λουπασάκης
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ
PhD, MSc Γεωλόγος – Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexakis, D.D., Agapiou, A., Tzouvaras, M., Themistocleous, K., Neocleous, K., Michaelides, S., Hadjimitsis, D.G., 2014. Integrated use of GIS and remote sensing for monitoring landslides in transportation pavements: the case study of Paphos area in Cyprus. *Nat Hazards*, 72:119–141.
- Alleoti, P., Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull Eng Geol Environ* 58:21–44.
- Atalar, C. & Das, B.M., 2009, Geotechnical properties of Nicosia soils, Cyprus. In: 2nd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 28–30 May 2009, Near East University, Nicosia, North Cyprus, 360–367.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides* 1:73–81. doi:10.1007/s10346-003-0006-9.
- ESRI (2011) ArcGIS Desktop: release 10 Environmental Systems Research Institute, Redlands
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Eng. Geol.*, 102, 99-111.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31,181-216.
- Hearn J.G., 2017, Ground behaviour problems affecting the residential area of Pissouri Limnes, Cyprus. Report on a reconnaissance visit.
- Hearn, G.J., Hart, A.B., 2019. Landslide susceptibility mapping: a practitioner's view. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01506-1>
- Hervas J., Bobrowsky P., 2009. Mapping: Inventories, Susceptibility, Hazards and Risk. In: Sassa K., Canuti P., (Eds.), *Landslides – Disaster Risk Reduction*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009, 321-349.
- Koukis, G., Sabatakakis, N., Nikolaou, N., Loupasakis, C., 2005. Landslides Hazard Zonation in Greece. *Proc of Open Symp. on Landslides Risk Analysis and Sustainable*

Disaster Management by International Consortium on Landslides, Washington USA, Chapter 37, 291-296.

Kouli, M., Loupasakis, K., Soupios, P., Rozos, D., Vallianatos, F., 2013. Comparing multi-criteria methods for landslide susceptibility mapping in Chania Prefecture, Crete Island. *Greece Nat Hazards and Earth Syst Sci Discuss* 1:73–109.

Kouli, M., Loupasakis, K., Soupios, P., Vallianatos, F., 2010. Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece, *Nat Hazards* 52:599–621. doi:10.1007/s11069-009-9403-2

Maharaj, R., 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies. *Eng Geol* 34:53–79.

NPA Satellite Mapping -CGG GeoConsulting, 2018, Satellite InSAR mapping of Pissouri, Cyprus. Τεχνική Έκθεση.

Pachauri, A.K., Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes, *Engineering Geology*, vol. 32, pp. 81–100.

Rozos, D., Pyrgiotis, L., Skias, S., Tsangaratos, P., 2008. An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County. *Landslides*, Vol. 5 no3, pp. 261-270.

Soeters, R., van Westen, C.J., 1996. Slope instability, recognition, analysis and zonation. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides: investigation and mitigation*, transport research board special report 247. National Academy of Sciences, Washington DC, pp 129–177.

Stow A.V. Dorrik, Braakenburg E. Neil, Xenophontos Costas, 1995, The Pissouri Basin fan-delta complex, southwestern Cyprus, *Sedimentary Geology*, Volume 98, Issues 1–4, Pages 245-262, [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00035-7](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00035-7)

Stow, A.V., Dorrik, Braakenburg, E. Neil, Xenophontos, Costas, 1995, The Pissouri Basin fan-delta complex, southwestern Cyprus, *Sedimentary Geology*, Volume 98, Issues 1–4, Pages 245-262, [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00035-7](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00035-7)

Tsangaratos, P., Iliá, I., 2016. Comparison of a logistic regression and Naïve Bayes classifier in landslide susceptibility assessments: The influence of models complexity and training dataset size. *CATENA*, 145, 164-179.

Tsangaratos, P., Loupasakis, C., Nikolakopoulos, K., Angelitsa, V., Iliá, I., 2018. Developing a landslide susceptibility map based on remote sensing, fuzzy logic and

expert knowledge of the Island of Lefkada, Greece. *Environ Earth Sci* (2018) 77: 363. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7548-6>

Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes, in Schuster RL and Krizek RJ, eds., *Landslide Analysis and Control*: Washington, D.C., National Academy Press, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report 176. pp 12–33.

Wu, S., Shi, L., Wang, R., Tan, C., Hu, D., Mei, Y., Xu, R., 2001. Zonation of the landslide hazard in the forereservoir region of the Three Gorges Project on the Yangtze River. *Engineering Geology*, 59, pp. 51– 58.

Αλεξανδρής, Α., Κατσίπη-Γρίβα, Ε., Αμπαριώτη, Μ., Παπαδόπουλος, Π., 2014. Η Κατολίσθηση Πισσουρίου (Λεμεσός – Κύπρος). Αίτια Αποσταθεροποίησης και Μέτρα Αποκατάστασης. 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής.

Κυριακίδης Κ., 2015, Μελέτη γεωλογικών προβλημάτων της περιοχής Λίμνες στη κοινότητα Πισσουρίου της επαρχίας Λεμεσού - Προκαταρκτική Τελική Μελέτη. Τεχνική Έκθεση. Τεχνικές Υπηρεσίες του Υπουργείου Εσωτερικών της Κυπριακής Δημοκρατίας.

Νικολαΐδης Π. και συνεργάτες, 2010, Μελέτη σκοπιμότητας και μελέτη επιπτώσεων στο περιβάλλον για τα αποχετευτικά συστήματα Πισσουρίου, Αυδήμου και πραστέιου Αυδήμου - Τελική μελέτη εκτίμησης επιπτώσεων στο περιβάλλον. Τεχνική Έκθεση. Αναθέτουσα Αρχή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Χατζηχαραλάμπος Κλ., Κουλέρμου Ν., 2017 - 2018, Εκθέσεις κλισιομετρήσεων στο Πισσούρι – Λίμνες. Ερευνητικές Γεωτρήσεις EG2013/16,17 &18, EG2017/17&18, EG2018/002,006&008. Τεχνικές Εκθέσεις, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης.

Χριστοφή Χρ., Ζήσιμος Αν., 2016, Εδαφικά προβλήματα στη περιοχή «Λίμνες» στο Πισσούρι. Παρακολούθηση υπόγειου νερού Υδρογεωλογική και Γεωχημική αξιολόγηση. Τεχνική Έκθεση. Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ



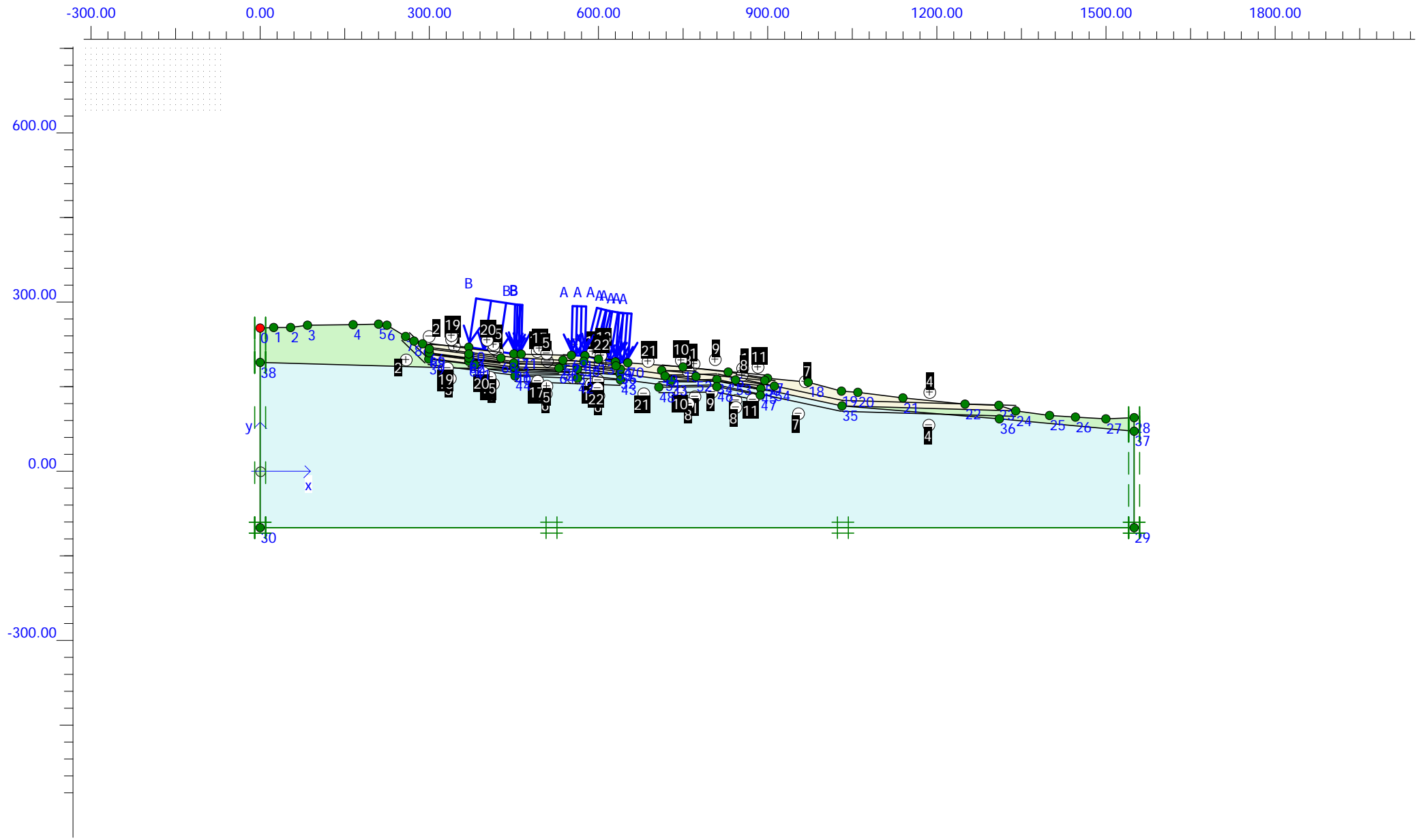
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA RM 15MAX

ΤΟΜΗ: AA'

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ: MAX

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ:

- Γεωμετρία τομής
- Πίνακας συντεταγμένων των κόμβων της τομής
- Πίνακας γεωτεχνικών παραμέτρων
- Παραμορφωμένος κάναβος - Παραμορφώσεις με τα φορτία των κατασκευών
- Κατανομή παραμορφώσεων - Παραμορφώσεις με τα φορτία των κατασκευών
- Παραμορφωμένος κάναβος - Παραμορφώσεις με τα φορτία των κατασκευών και την προσθήκη υδροφόρου (διακρίνονται οι περιστροφικές μετακινήσεις εντός της μάζας της παλαιοκατολίσθησης)
- Κατανομή παραμορφώσεων - Παραμορφώσεις με τα φορτία των κατασκευών και την προσθήκη υδροφόρου
- Κατανομή παραμορφώσεων - Μεγέθυνση στο πόδι της κατολίσθησης. Διακρίνονται οι ανυψωτικές κινήσεις προς τα ανατολικά
- Κατανομή υδροστατικών πιέσεων
- Παραμορφωμένος κάναβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στη μάζα της παλαιοκατολίσθησης χωρίς φορτία από κατασκευές και υδροφόρο
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας
- Παραμορφωμένος κάναβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στη μάζα της παλαιοκατολίσθησης με φορτία από κατασκευές, χωρίς υδροφόρο
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας
- Παραμορφωμένος κάναβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στη μάζα της παλαιοκατολίσθησης με φορτία από κατασκευές και υδροφόρο
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

<i>Project description</i>			Pissouri AA		
<i>Project name</i>		<i>Date</i>		<i>User name</i>	
Pissouri AA RM 5M...		26/12/2019		National Technical University of Athens	

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
User name : National Technical University of Athens
Project name : Pissouri AA RM 5MIN.PLX
Output : Coordinate table

Date : 26/12/2019

Page : 1

Point	X [m]	Y [m]
0	0.000	254.000
1	24.000	255.000
2	54.000	255.000
3	84.000	259.000
4	165.000	260.000
5	210.000	261.000
6	225.000	259.000
7	258.000	239.000
8	273.000	231.000
9	288.000	226.000
10	370.000	220.000
11	450.000	208.000
12	576.000	205.000
13	600.000	199.000
14	630.000	194.000
15	750.000	185.000
16	830.000	176.000
17	900.000	165.000
18	972.000	158.000
19	1031.000	142.000
20	1060.000	140.000
21	1140.000	130.000
22	1250.000	119.000
23	1310.000	117.000
24	1340.000	107.000
25	1400.000	99.000
26	1446.000	96.000
27	1500.000	93.000
28	1550.000	95.000
29	1550.000	-100.000
30	0.000	-100.000
31	563.000	181.000
32	638.000	173.000
33	729.000	161.000
34	810.000	163.000

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
User name : National Technical University of Athens
Project name : Pissouri AA RM 5MIN.PLX
Output : Coordinate table

Date : 26/12/2019

Page : 2

Point	X [m]	Y [m]
35	1032.000	116.000
36	1311.000	93.000
37	1550.000	71.000
38	0.000	193.000
39	299.000	199.000
40	451.976	180.155
41	380.988	188.900
42	563.000	165.000
43	639.000	162.000
44	452.000	169.000
45	887.896	146.509
46	810.000	150.000
47	887.000	135.000
48	707.000	149.000
49	712.000	179.000
50	895.000	161.000
51	718.000	169.000
52	773.000	168.000
53	843.000	162.000
54	912.000	151.000
55	536.000	187.000
56	639.000	181.000
57	537.000	197.000
58	574.000	195.000
59	631.000	187.000
60	370.000	195.000
61	450.000	185.000
62	370.000	201.000
63	450.000	192.000
64	530.000	183.000
65	300.000	210.000
66	300.000	217.000
67	370.000	208.000
68	427.000	201.000
69	551.990	205.572

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
User name : National Technical University of Athens
Project name : Pissouri AA RM 5MIN.PLX
Output : Coordinate table

Date : 26/12/2019

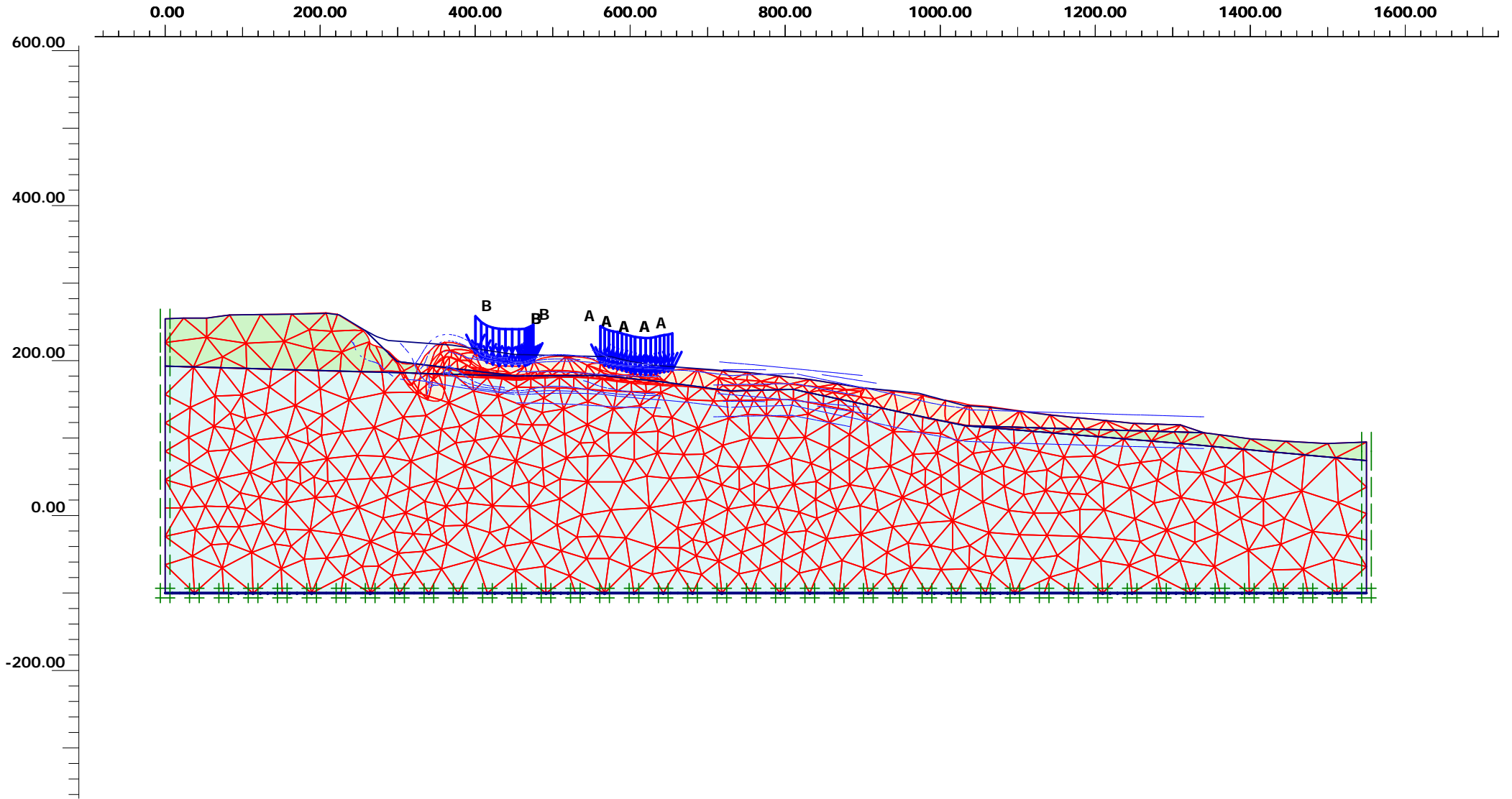
Page : 3

Point	X [m]	Y [m]
70	652.026	192.348
71	462.993	207.691

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description	: Pissouri AA	Plaxis 2D
User name	: National Technical University of Athens	
Project name	: Pissouri AA RM 15MAX	Date : 26/12/2019
Output	: Soil and Interfaces Info - Mohr-Coulomb	Step : 5 Page : 1

ID	Name	Type	γ _{unsat} [kN/m ³]	γ _{sat} [kN/m ³]	k _x [m/day]	k _y [m/day]	ν [-]	E _{ref} [kN/m ²]	c _{ref} [kN/m ²]	φ [°]
1	Reworked Marl	Drained	17.6	19.0	2.0000E-0004	2.0000E-0004	0.30	15000.0	76.0	28.0
2	Pissouri Marl	Drained	19.1	20.0	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	30000.0	151.0	29.0
3	Kalavasos Formation	Drained	18.1	19.5	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	1E5	234.0	31.0



Deformed mesh

Extreme total displacement $167.99 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 500.00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

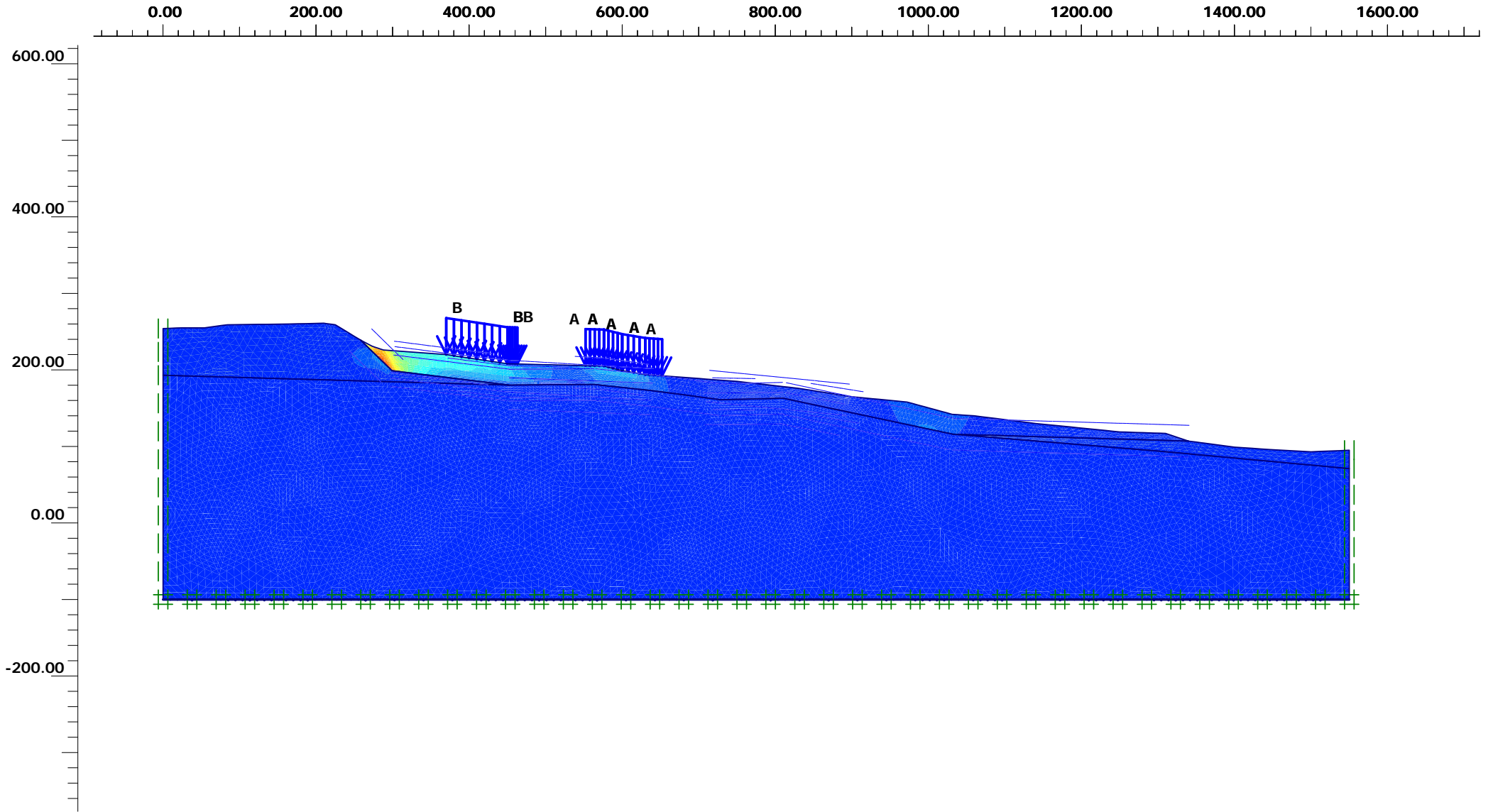
5

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Total displacements (Utot)

Extreme Utot $167.99 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

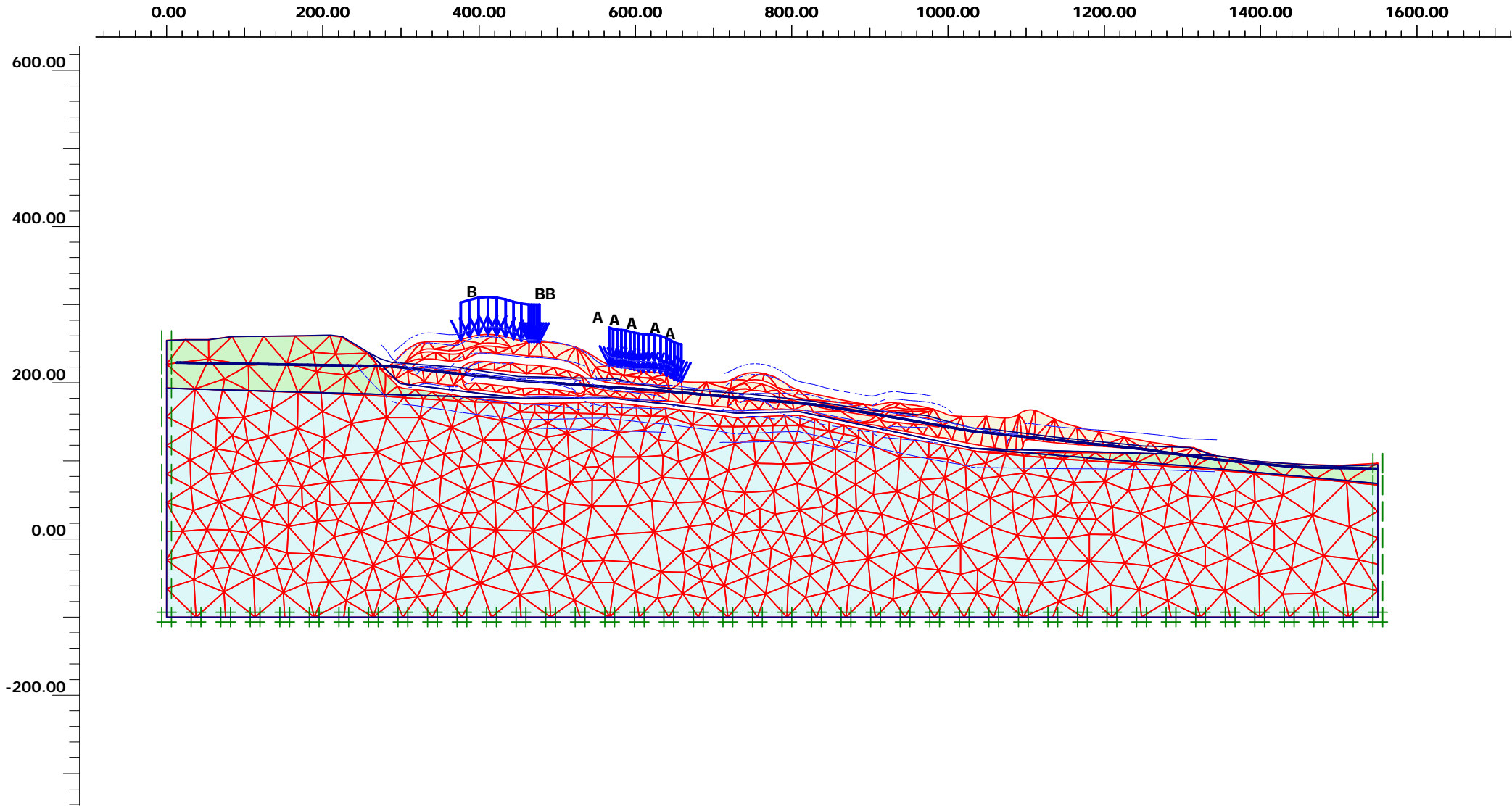
5

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Deformed mesh

Extreme total displacement $833.14 \cdot 10^{-3}$ m
 (displacements scaled up 100.00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

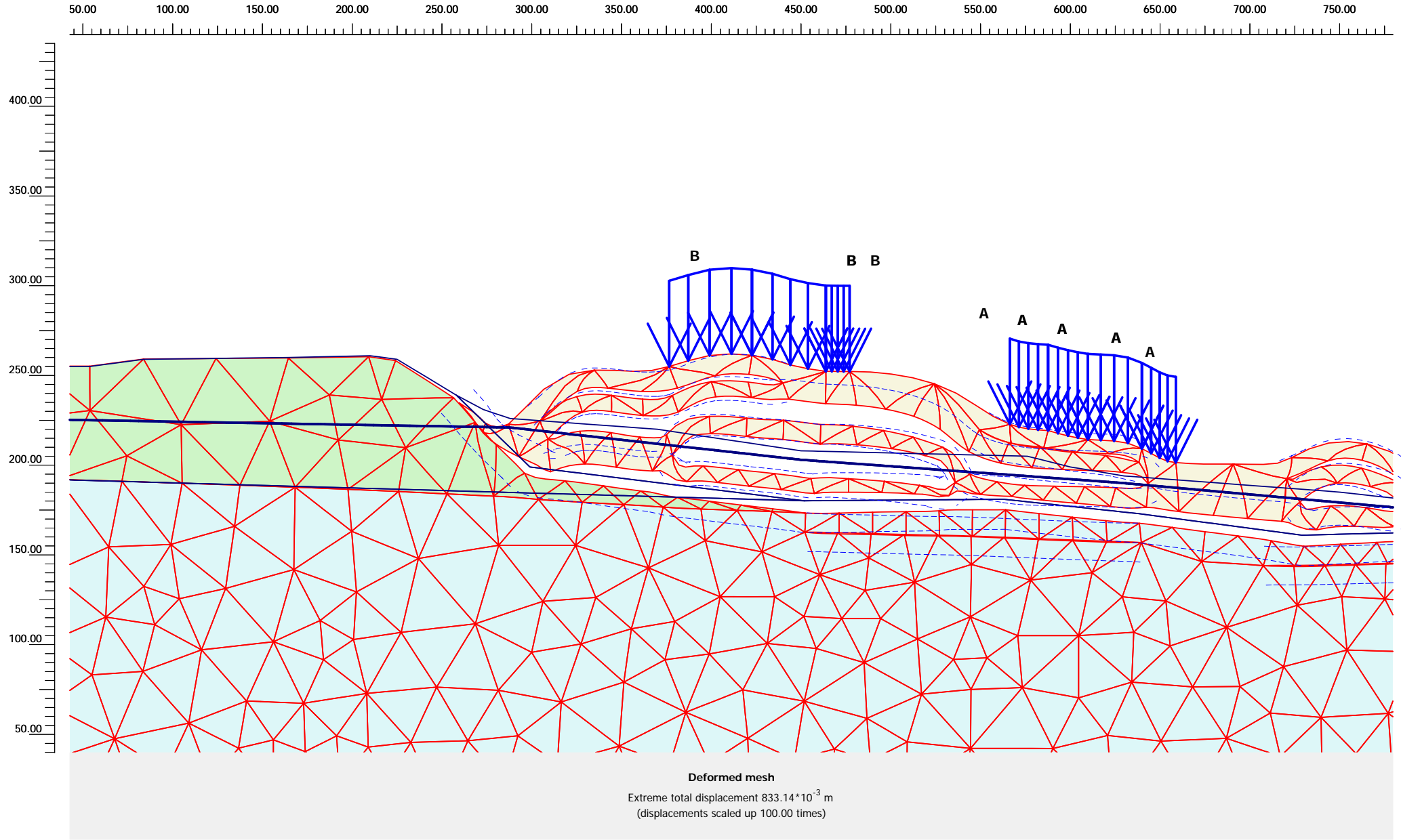
14

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

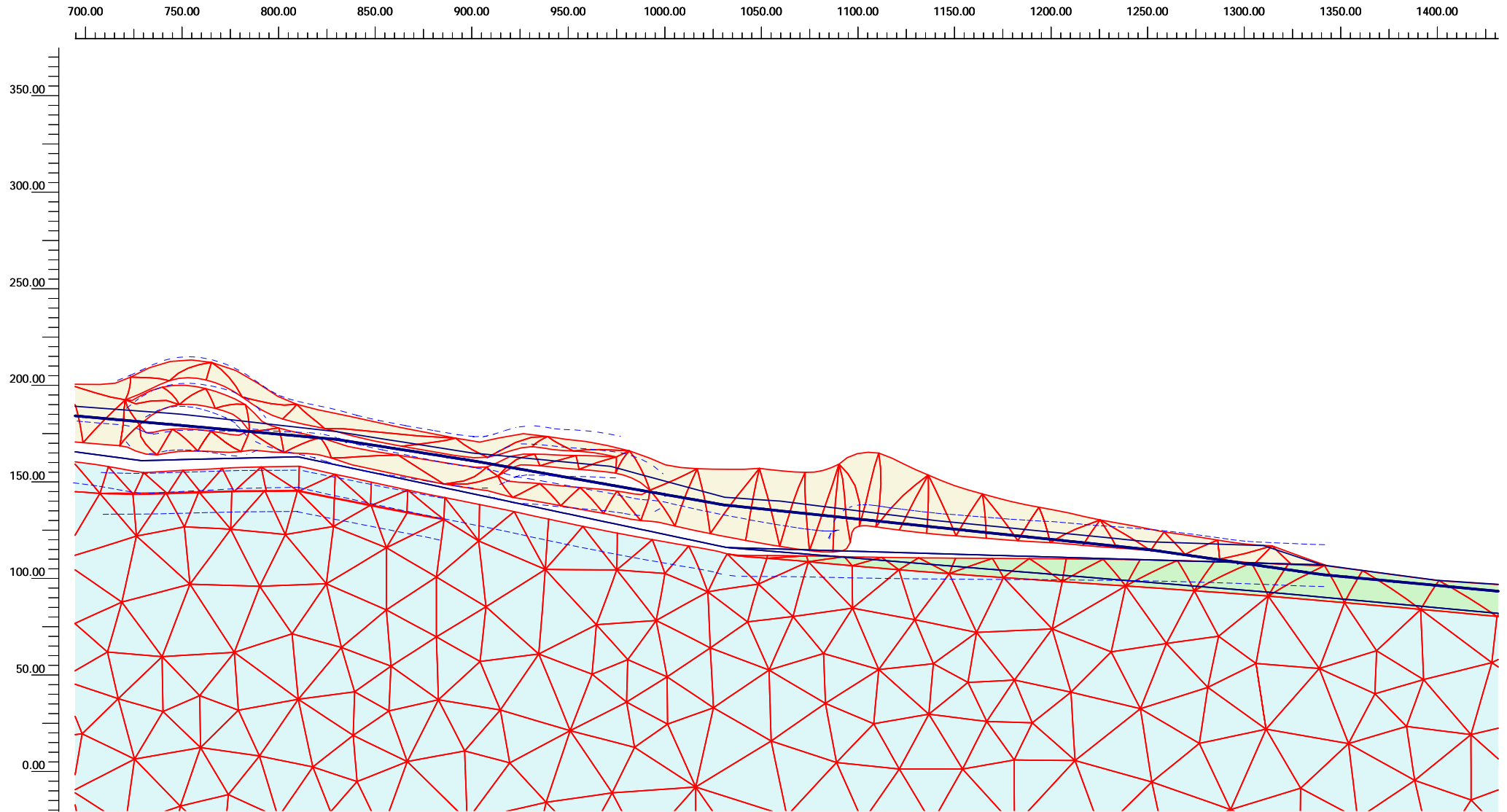
14

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Deformed mesh

Extreme total displacement 833.14×10^{-3} m
(displacements scaled up 100.00 times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

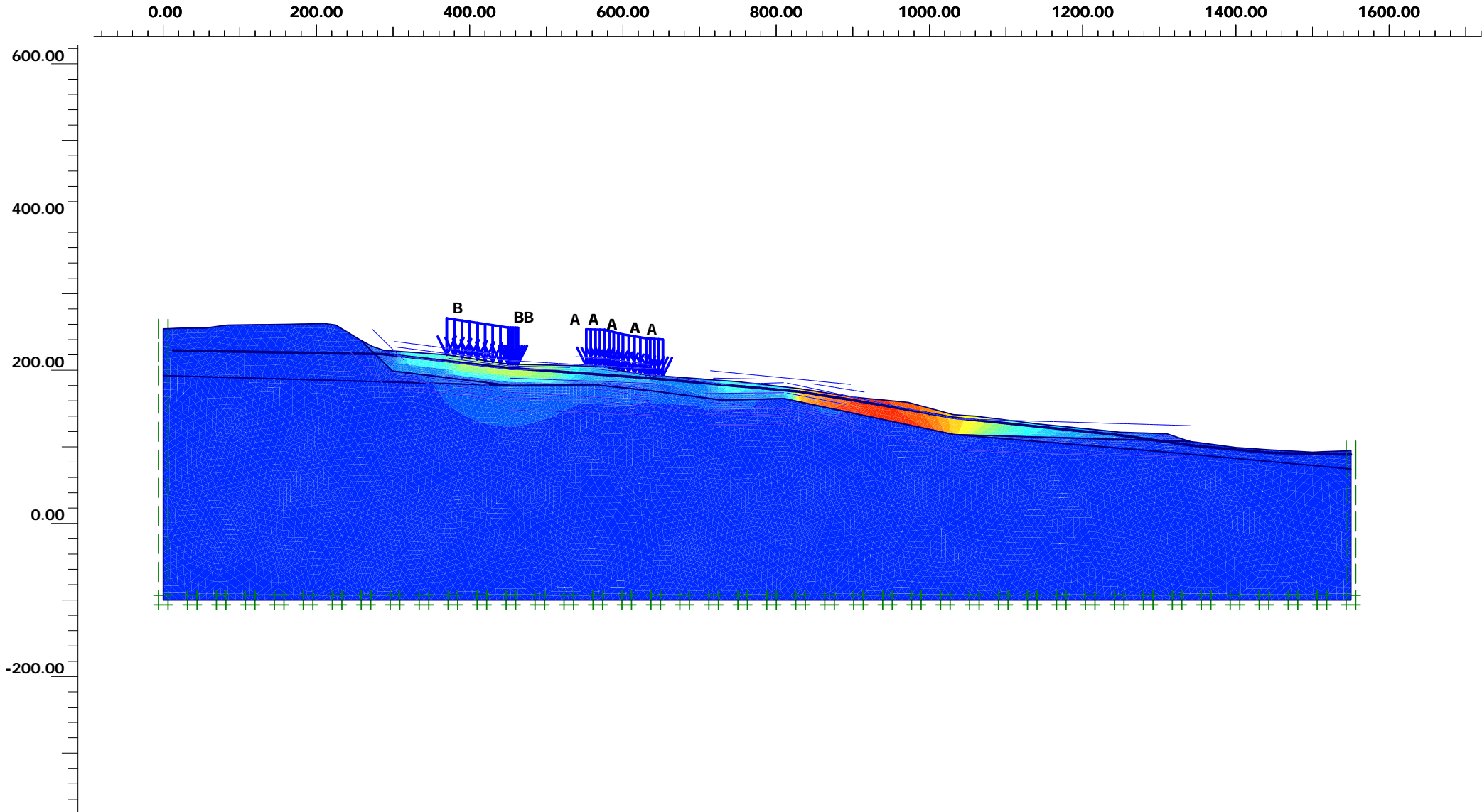
14

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Total displacements (Utot)

Extreme Utot $833.14 \cdot 10^{-3}$ m



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

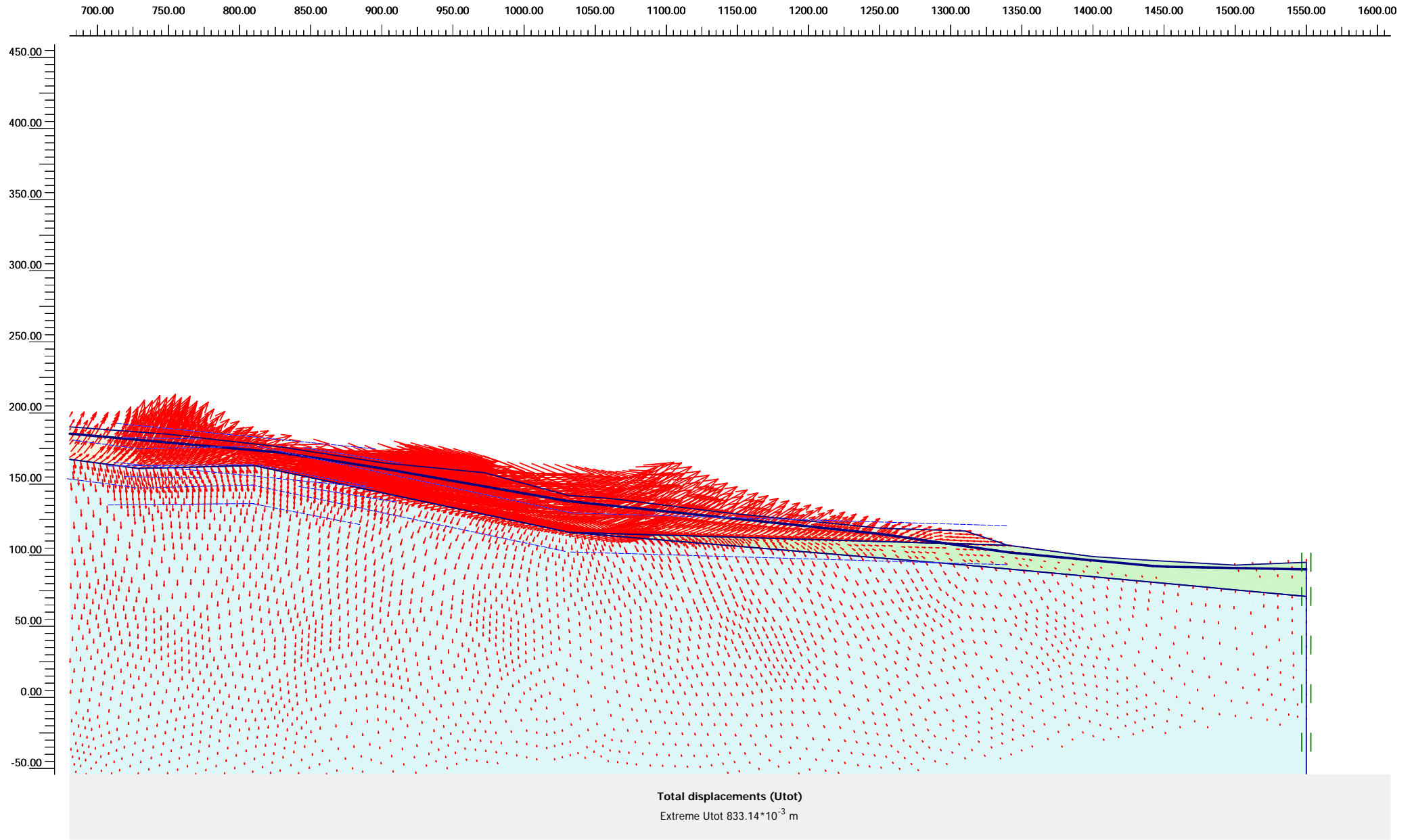
14

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

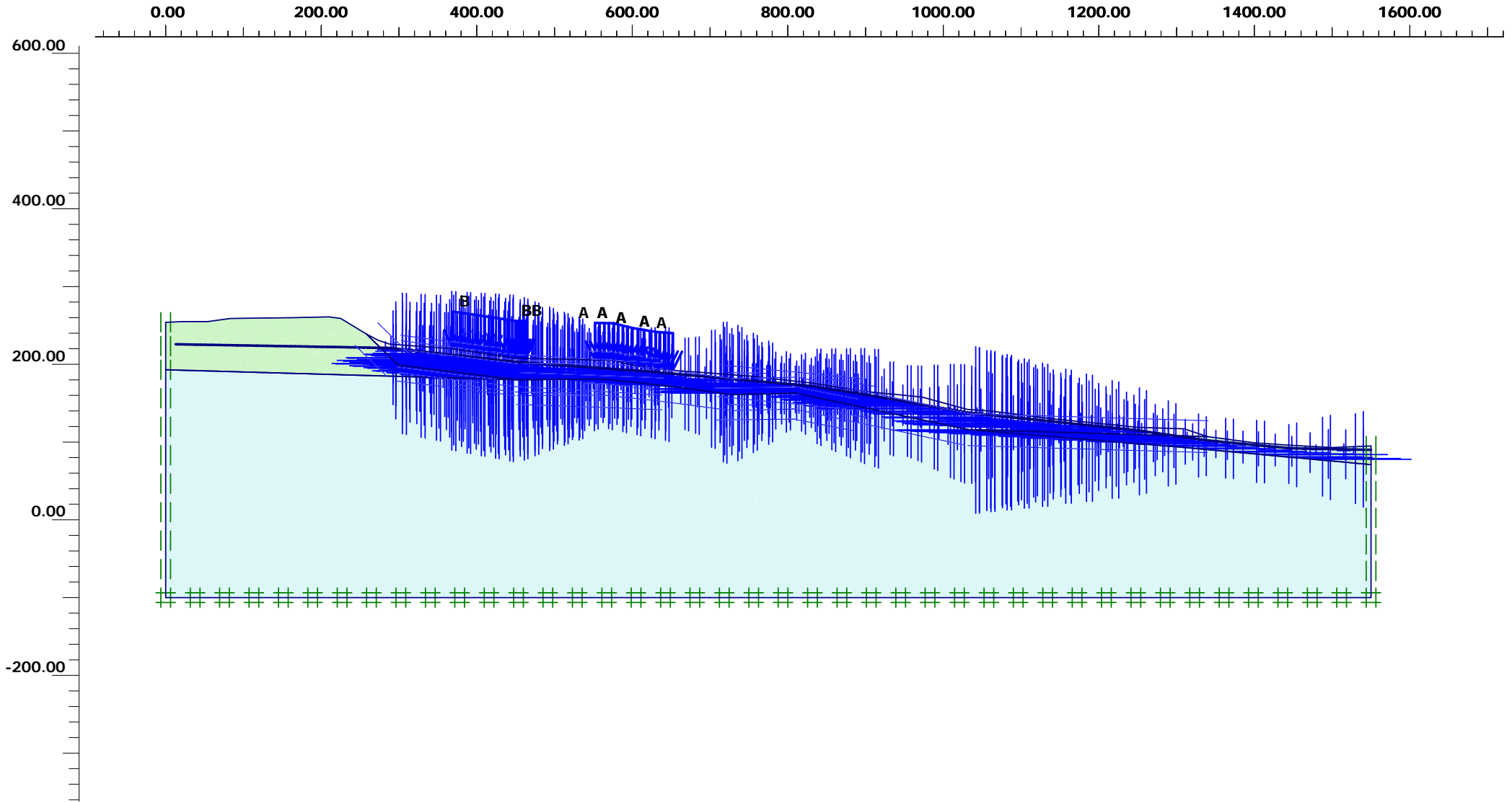
14

Date

27/12/19

User name

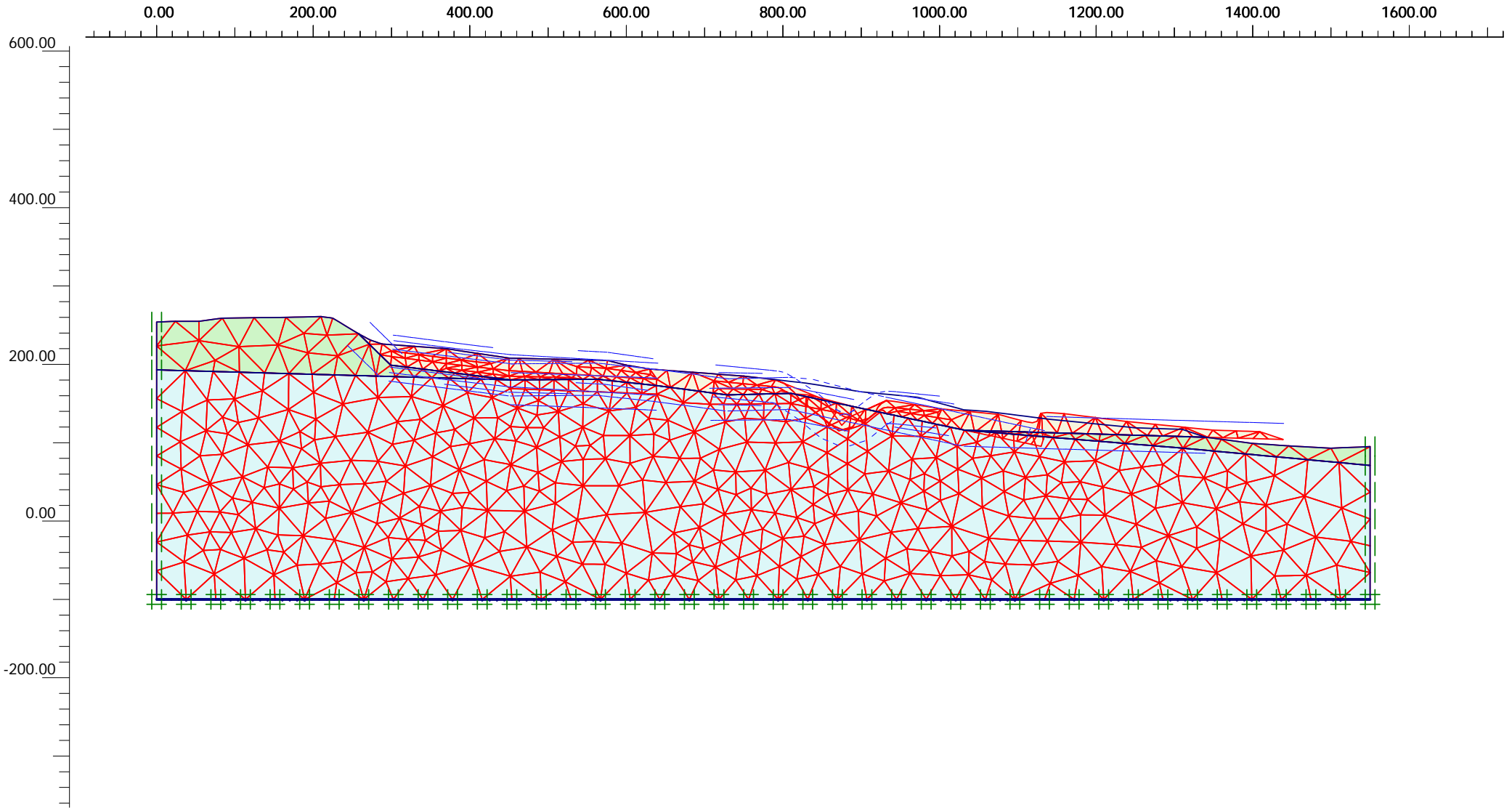
National Technical University of Athens



Active pore pressures
 Extreme active pore pressure -223.48 kN/m²
 (pressure = negative)



<i>Project description</i>				Pissouri AA	
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>		
Pissouri AA RM 1...	14	26/12/19	National Technical University of Athens		



Deformed mesh
 Extreme total displacement $2.11 \cdot 10^6$ m
 (displacements scaled up $50.00 \cdot 10^{-6}$ times)



<i>Project description</i>				Pissouri AA	
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>		
Pissouri AA RM 1...	114	26/12/19	National Technical University of Athens		

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA RM 15MAX
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 26/12/2019
 Step : 114 Page : 1

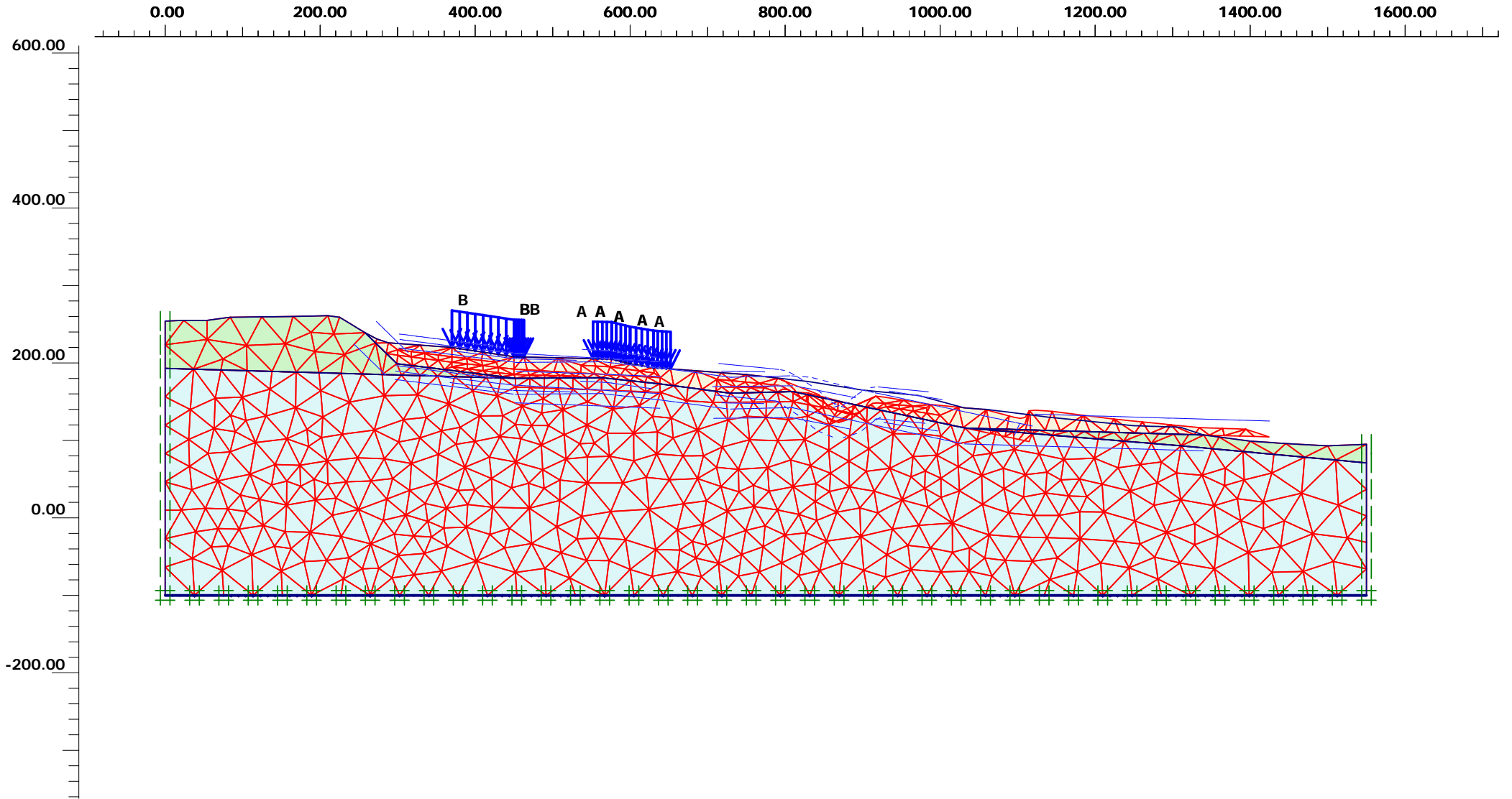
Step Info

Step 114 of 414	Incremental multipliers	2.000
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.001	Σ-Msf:	1.781
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



Deformed mesh

Extreme total displacement $89.76 \cdot 10^6$ m
 (displacements scaled up $1.00 \cdot 10^{-6}$ times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

314

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA RM 15MAX
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 26/12/2019
 Step : 314 Page : 1

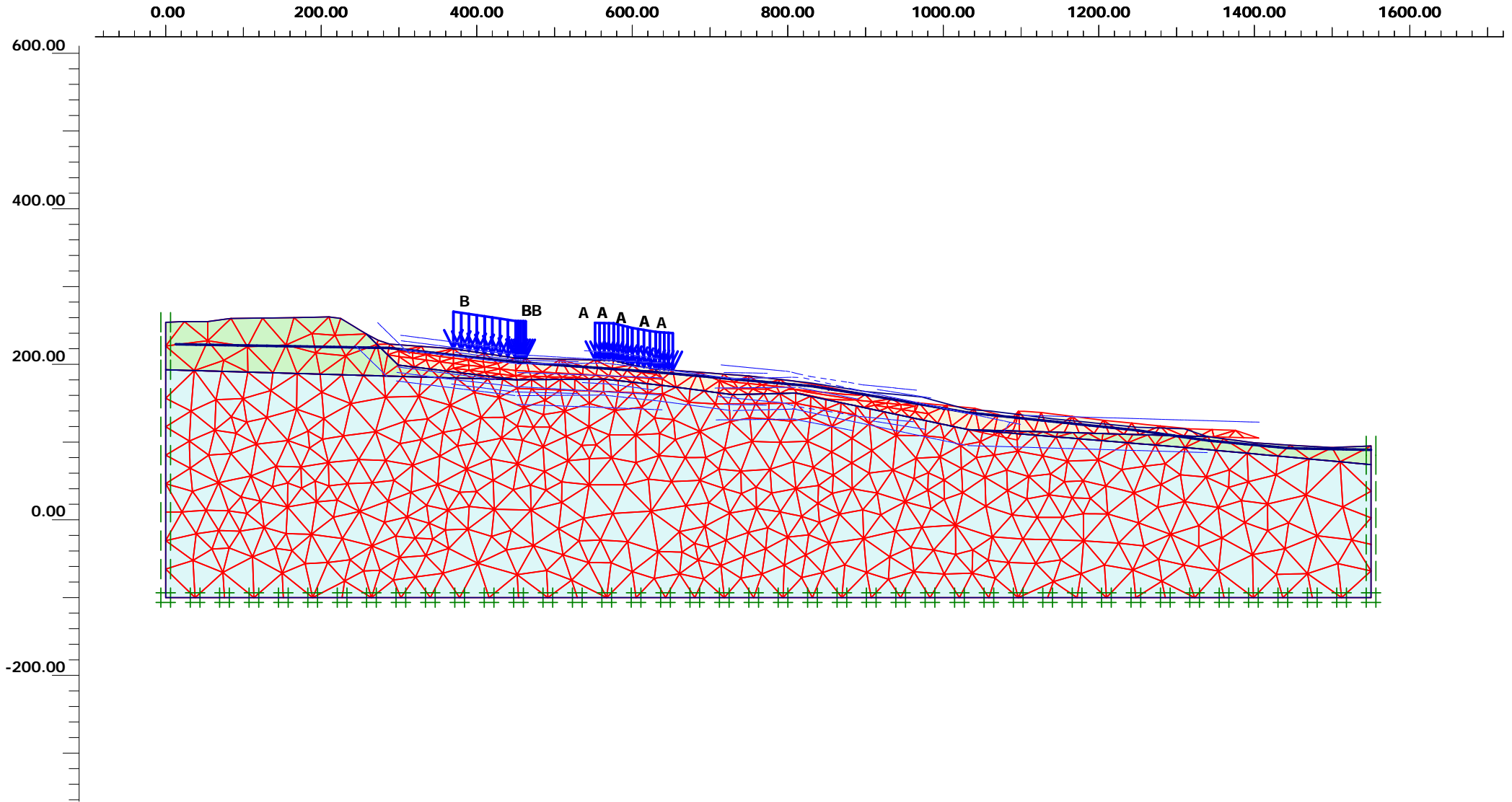
Step Info

Step 314 of 414	Incremental multipliers	0.500
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.001	Σ-Msf:	1.776
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



Deformed mesh

Extreme total displacement $70.23 \cdot 10^3$ m
 (displacements scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 1...

Step

414

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA RM 15MAX
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 26/12/2019
 Step : 414 Page : 1

Step Info

Step 414 of 414	Incremental multipliers	0.500
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.002	Σ-Msf:	1.268
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA RM 5MIN

ΤΟΜΗ: AA'

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ: MIN

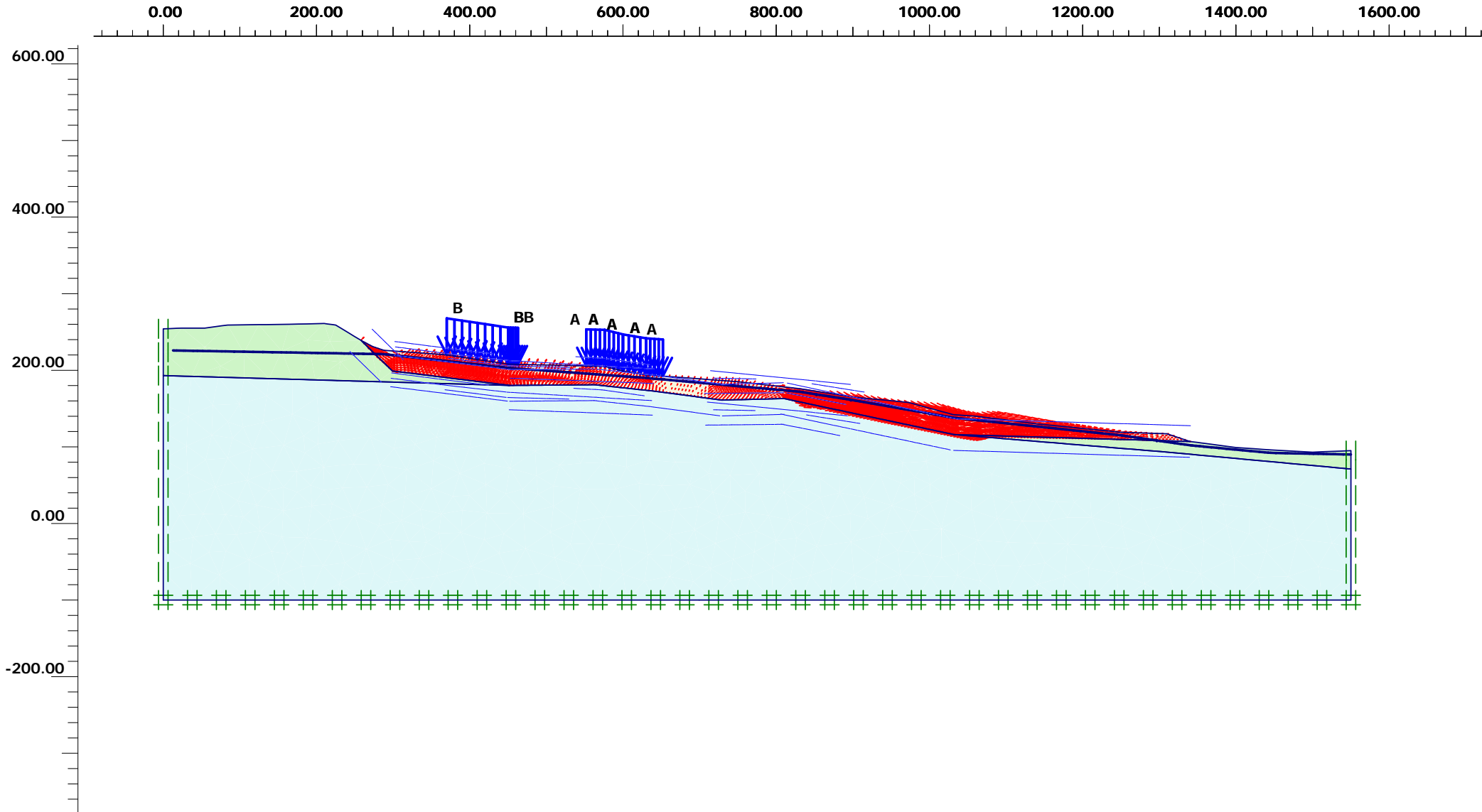
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ:

- Πίνακας γεωτεχνικών παραμέτρων
- Κατανομή παραμορφώσεων - Παραμορφώσεις με τα φορτία των κατασκευών και την προσθήκη υδροφόρου
- Κατανομή παραμορφώσεων - Μεγέθυνση στη κεφαλή της κατολίσθησης. Διακρίνονται οι αβαθείς περιστροφικές μετακινήσεις
- Κατανομή παραμορφώσεων - Μεγέθυνση στο πόδι της κατολίσθησης. Διακρίνονται οι ανυψωτικές κινήσεις προς τα ανατολικά
- Παραμορφωμένος κánaβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στη μάζα της παλαιοκατολίσθησης χωρίς φορτία από κατασκευές και υδροφόρο
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας
- Παραμορφωμένος κánaβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στη μάζα της παλαιοκατολίσθησης με φορτία από κατασκευές, χωρίς υδροφόρο
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας
- Παραμορφωμένος κánaβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στη μάζα της παλαιοκατολίσθησης με φορτία από κατασκευές και υδροφόρο
- Κατανομή υδροστατικών πιέσεων
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description	: Pissouri AA	Plaxis 2D
User name	: National Technical University of Athens	
Project name	: Pissouri AA RM 5MIN	Date : 26/12/2019
Output	: Soil and Interfaces Info - Mohr-Coulomb	Step : 532 Page : 1

ID	Name	Type	γ _{unsat} [kN/m ³]	γ _{sat} [kN/m ³]	k _x [m/day]	k _y [m/day]	ν	E _{ref} [kN/m ²]	c _{ref} [kN/m ²]	φ [°]
1	Reworked Marl	Drained	17.6	19.0	2.0000E-0004	2.0000E-0004	0.30	5000.0	51.0	26.0
2	Pissouri Marl	Drained	19.1	20.0	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	30000.0	151.0	29.0
3	Kalavasos Formation	Drained	18.1	19.5	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	1E5	234.0	31.0



Total displacements (Utot)
Extreme Utot 11.29 m



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

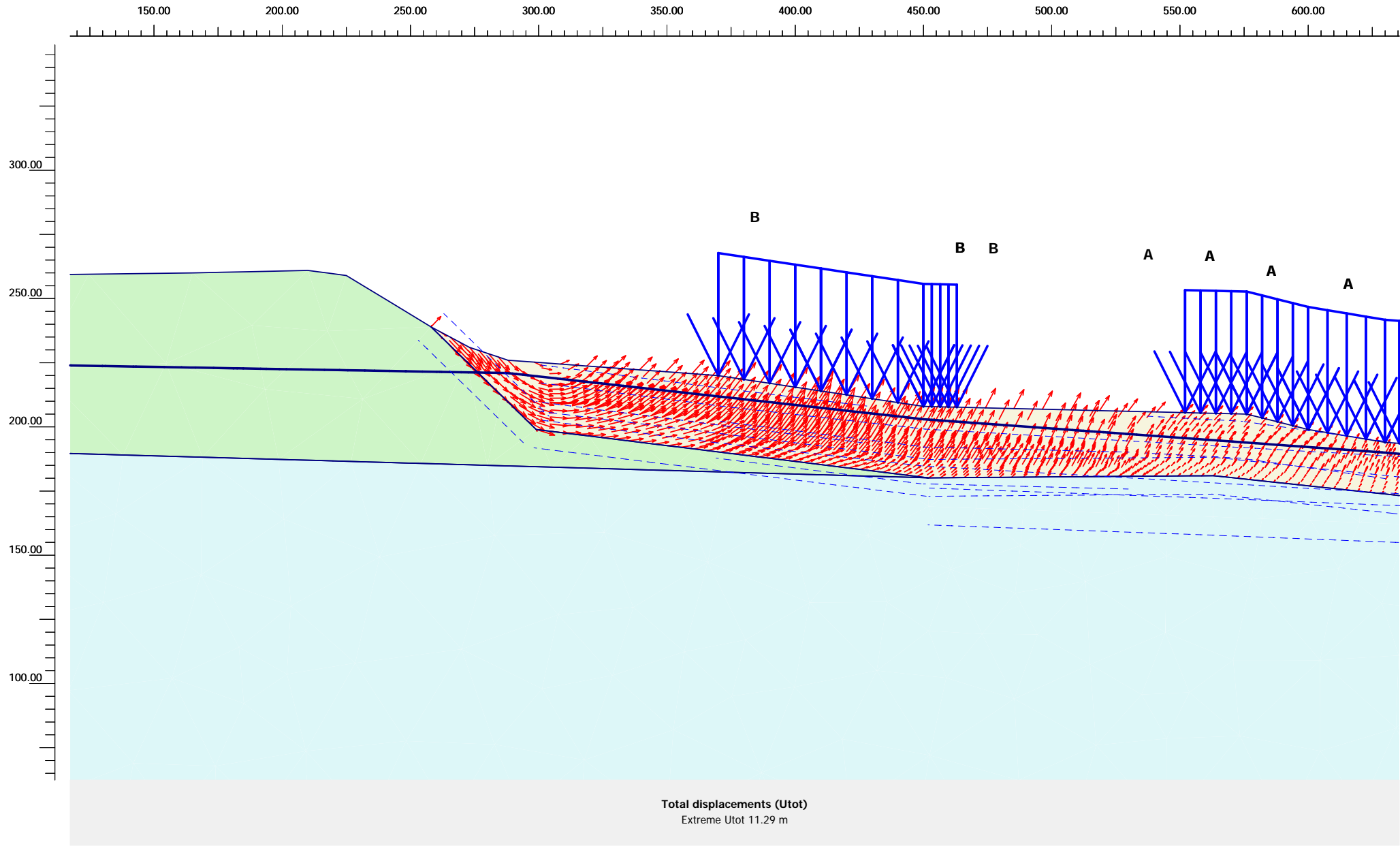
32

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

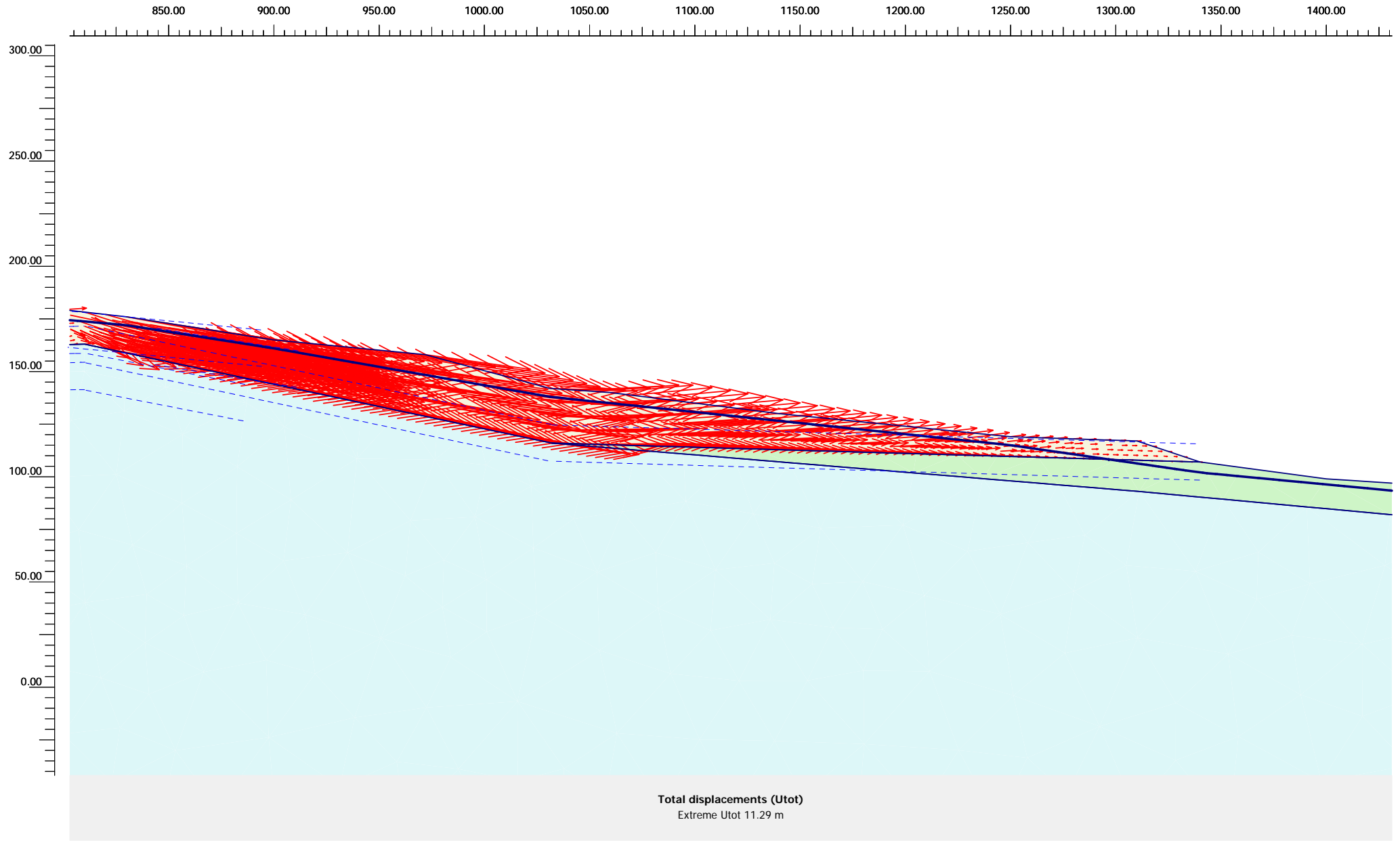
32

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

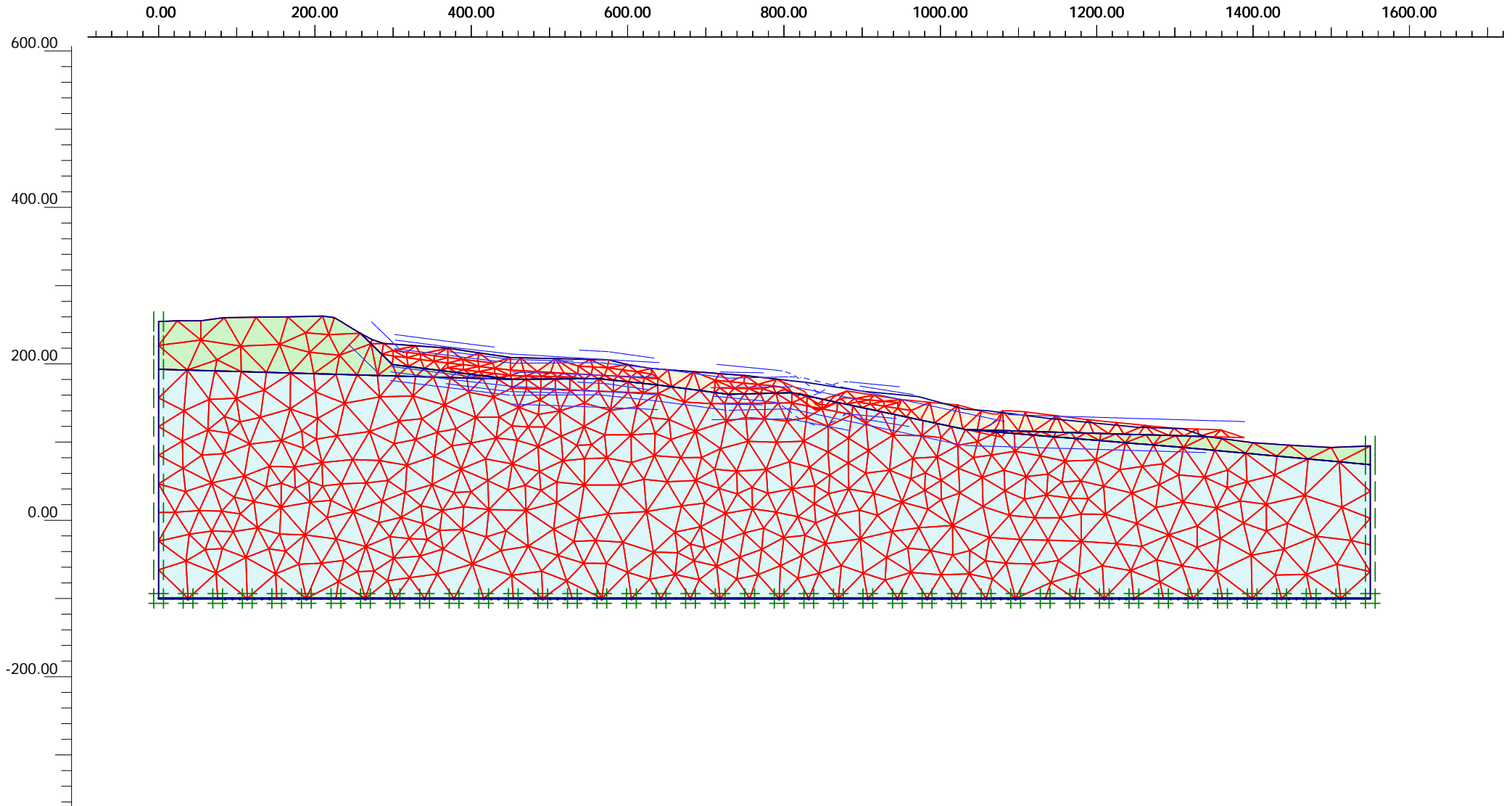
32

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Deformed mesh
 Extreme total displacement $2.59 \cdot 10^6$ m
 (displacements scaled up $20.00 \cdot 10^{-6}$ times)



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

132

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA RM 5MIN
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 26/12/2019
 Step : 132 Page : 1

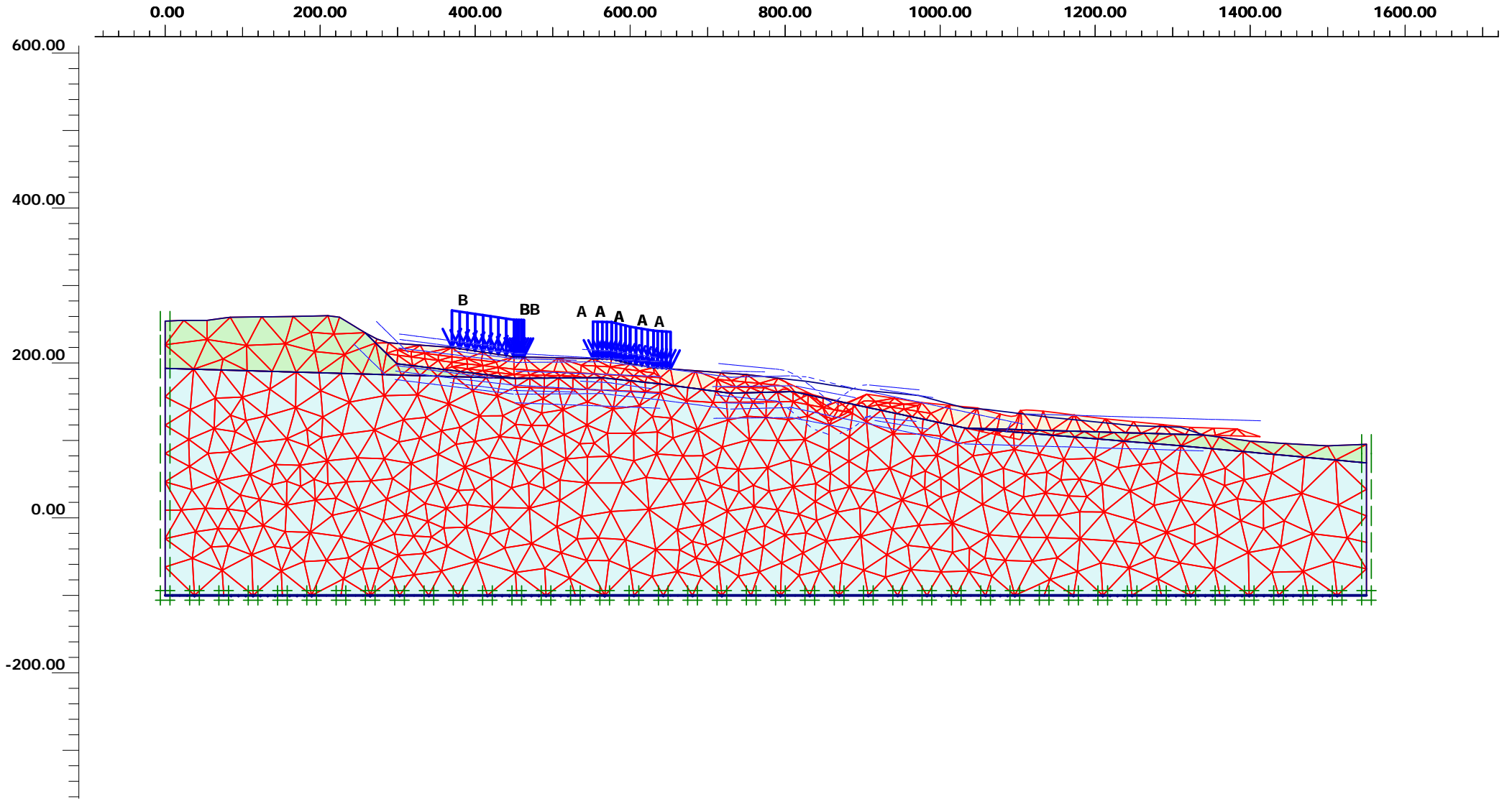
Step Info

Step 132 of 832	Incremental multipliers	1.000
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	1.494
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



Deformed mesh

Extreme total displacement $77.65 \cdot 10^9$ m
 (displacements scaled up $1.00 \cdot 10^{-9}$ times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

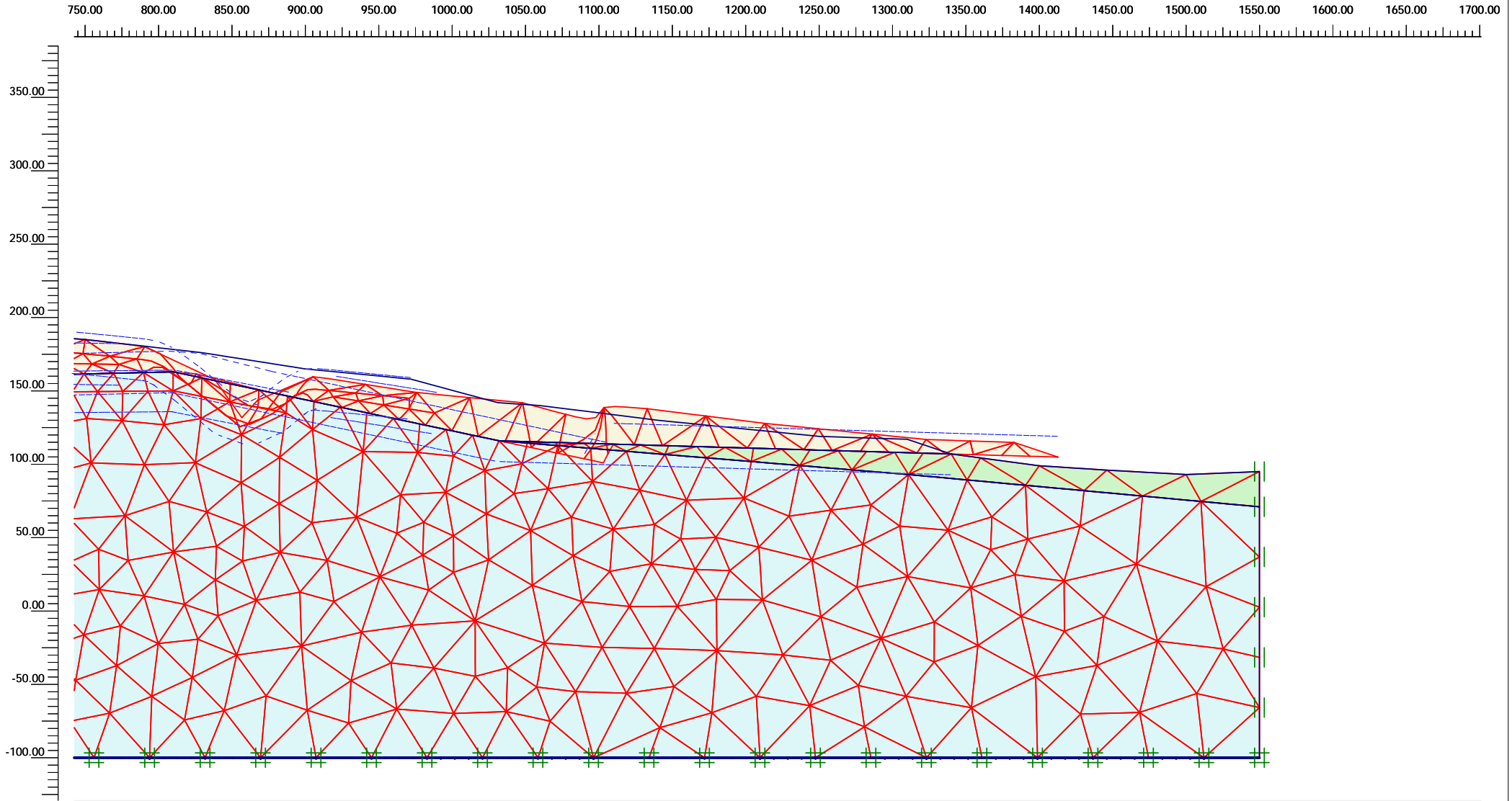
832

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens



Deformed mesh

Extreme total displacement 77.65×10^9 m
 (displacements scaled up 1.00×10^{-9} times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

832

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA RM 5MIN
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 26/12/2019
 Step : 832 Page : 1

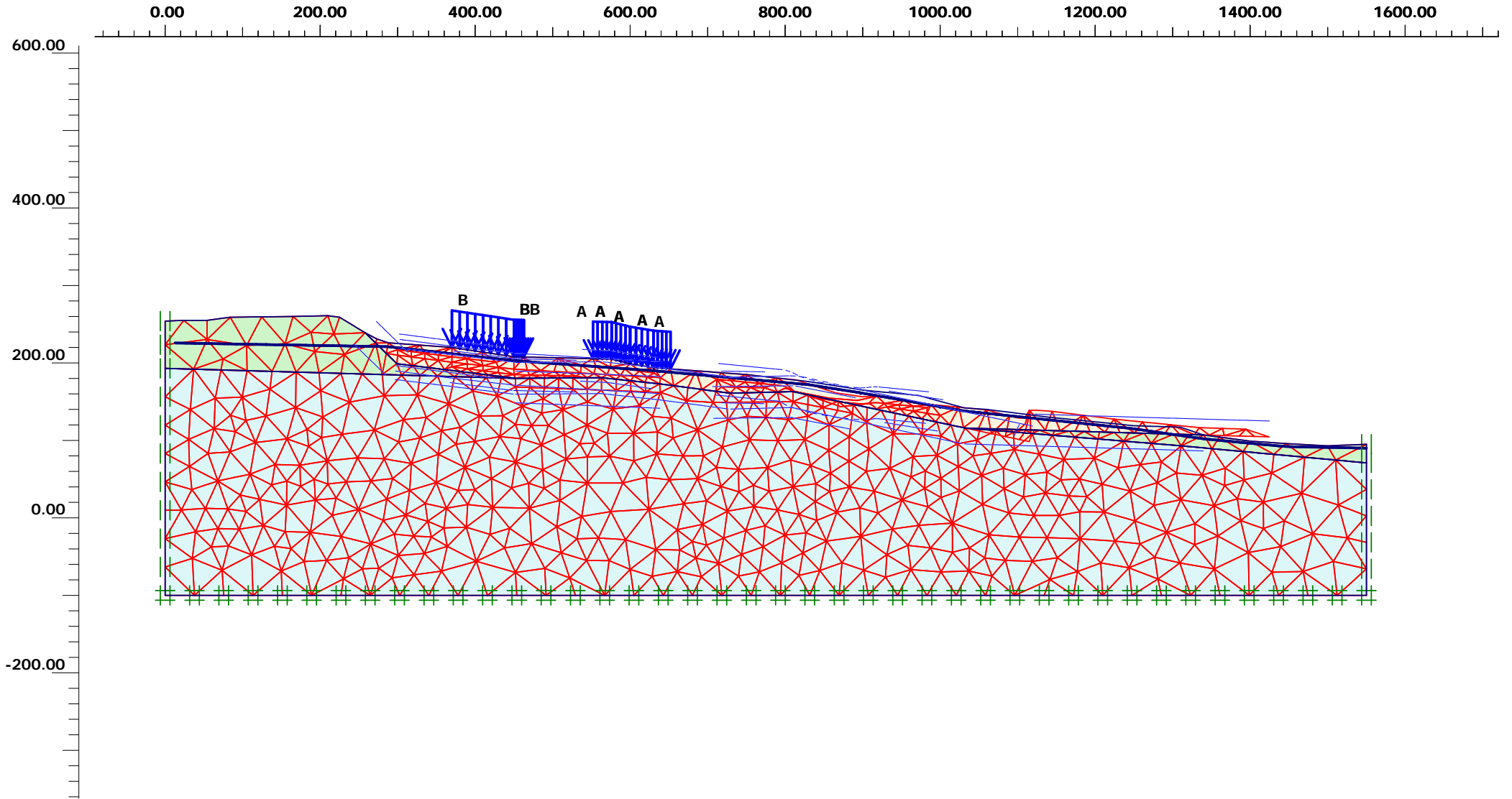
Step Info

Step 832 of 832	Incremental multipliers	2.000
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	1.493
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



Deformed mesh

Extreme total displacement $450.87 \cdot 10^6$ m
 (displacements scaled up $200.00 \cdot 10^{-9}$ times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

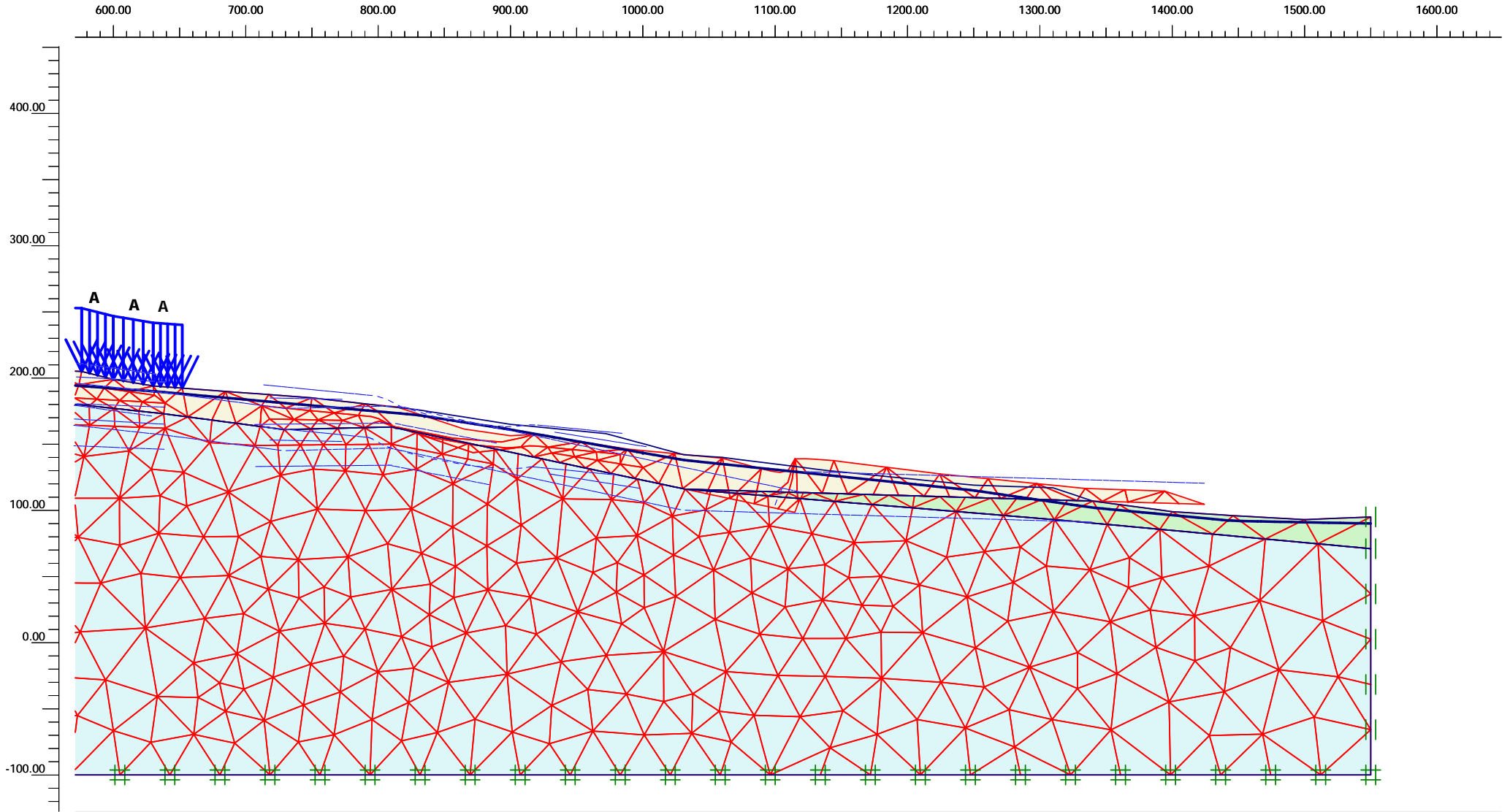
532

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens

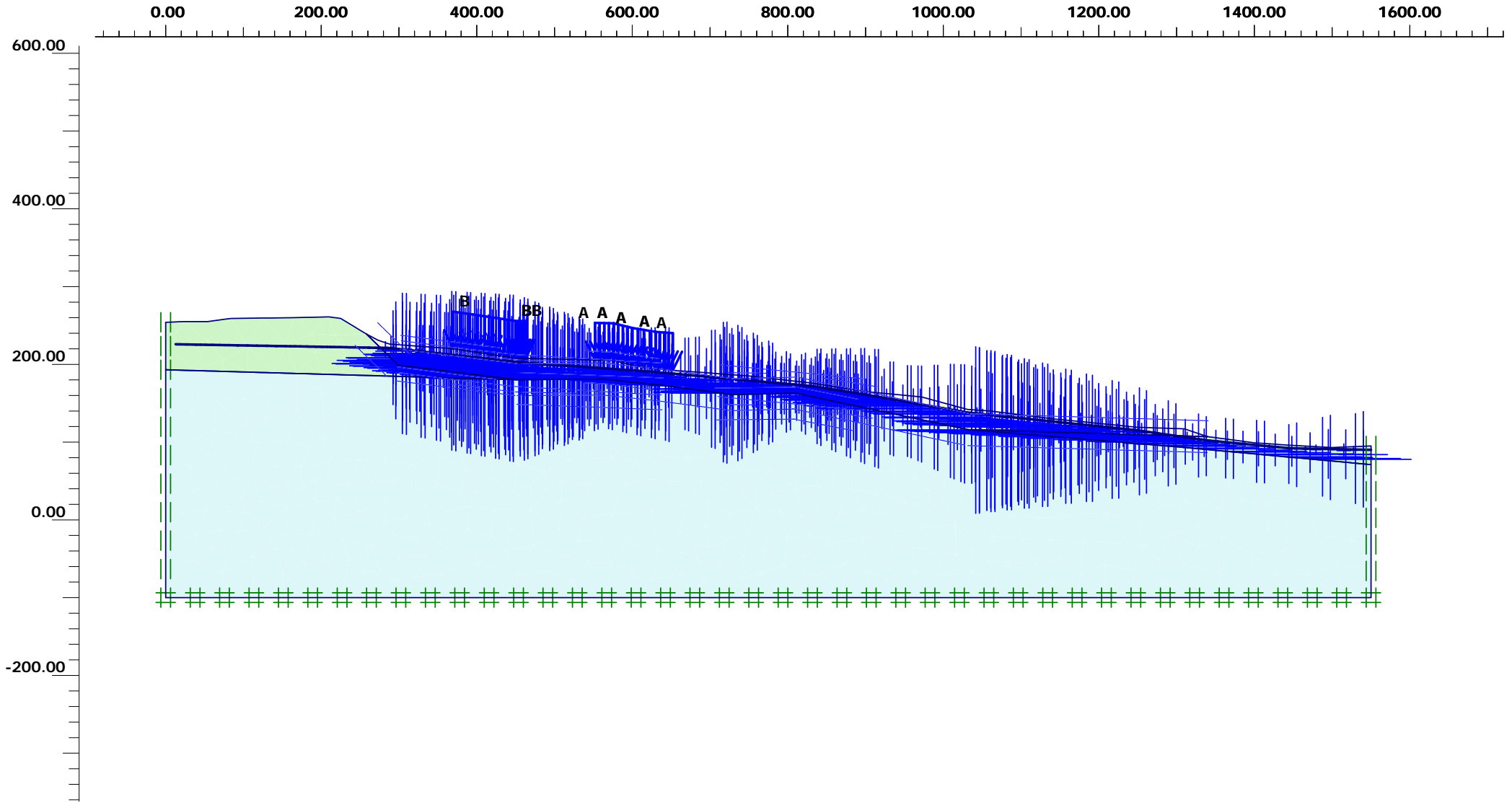


Deformed mesh
 Extreme total displacement $450.87 \cdot 10^{-6}$ m
 (displacements scaled up $200.00 \cdot 10^{-9}$ times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

<i>Project description</i>				Pissouri AA	
<i>Project name</i>	<i>Step</i>	<i>Date</i>	<i>User name</i>		
Pissouri AA RM 5...	532	26/12/19	National Technical University of Athens		



Active pore pressures
 Extreme active pore pressure -223.48 kN/m²
 (pressure = negative)



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA RM 5...

Step

532

Date

26/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA RM 5MIN
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 26/12/2019
 Step : 532 Page : 1

Step Info

Step 532 of 832	Incremental multipliers	2.000
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	1.031
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



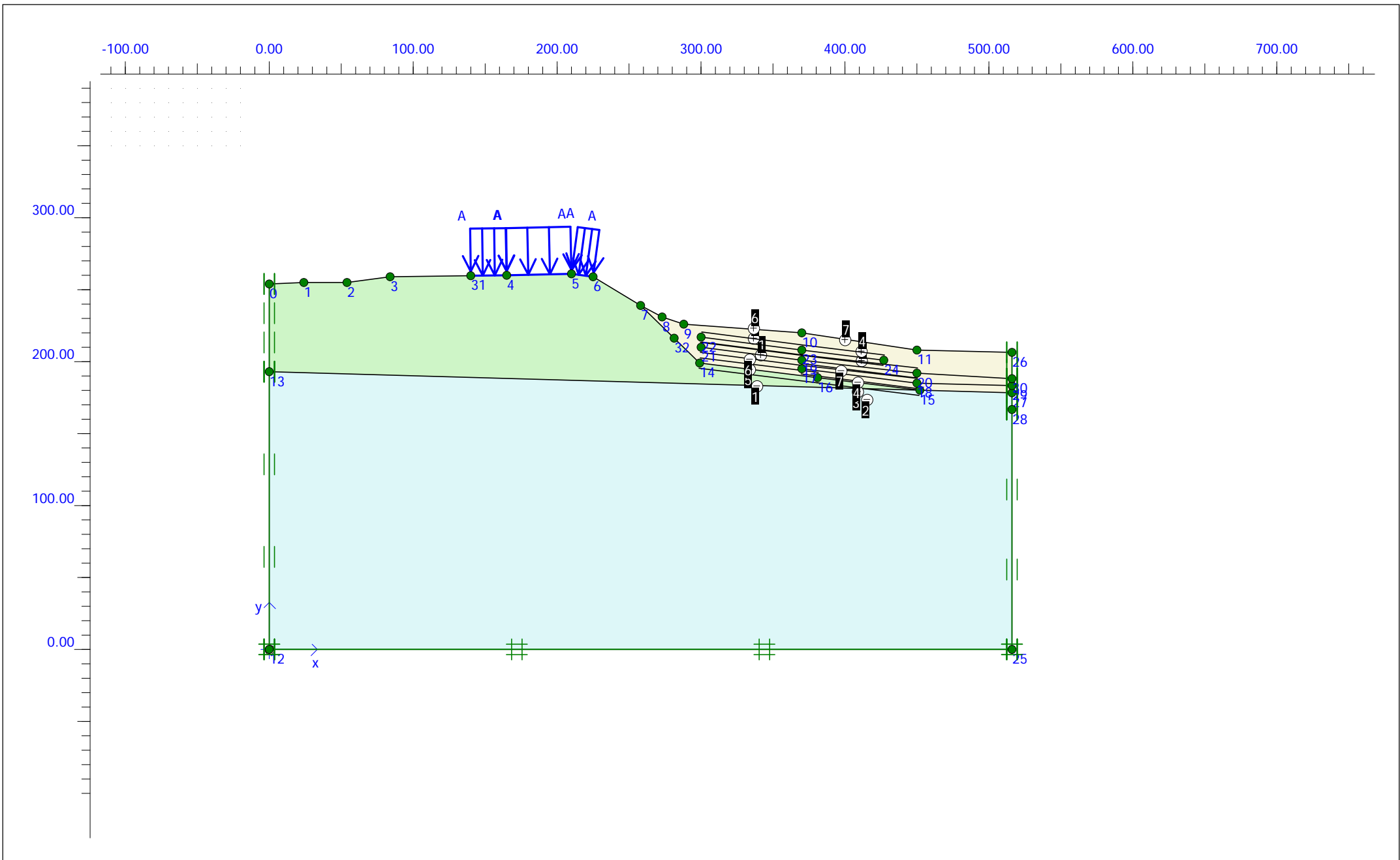
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA HILL 30MAX

ΤΟΜΗ: ΑΑ΄

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ: MAX

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ:

- Γεωμετρία τομής
- Πίνακας συντεταγμένων των κόμβων της τομής
- Πίνακας γεωτεχνικών παραμέτρων
- Παραμορφωμένος κάναβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στο πρηνές της κύριας κατακρήμνισης με φορτία από τις κατασκευές
- Κατανομή διατμητικών τάσεων εξαιτίας της εκδηλωθείσας αστοχίας (αποτυπώνει την μορφή της επιφάνειας αστοχίας η οποία αλληλεπιδρά με την μάζα της παλαιοκατολίστης)
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας



<i>Project description</i>			Pissouri AA		
<i>Project name</i>		<i>Date</i>	<i>User name</i>		
Pissouri AA Hill M...		27/12/2019	National Technical University of Athens		

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
User name : National Technical University of Athens
Project name : Pissouri AA Hill M30MAX GW.PLX
Output : Coordinate table

Date : 27/12/2019

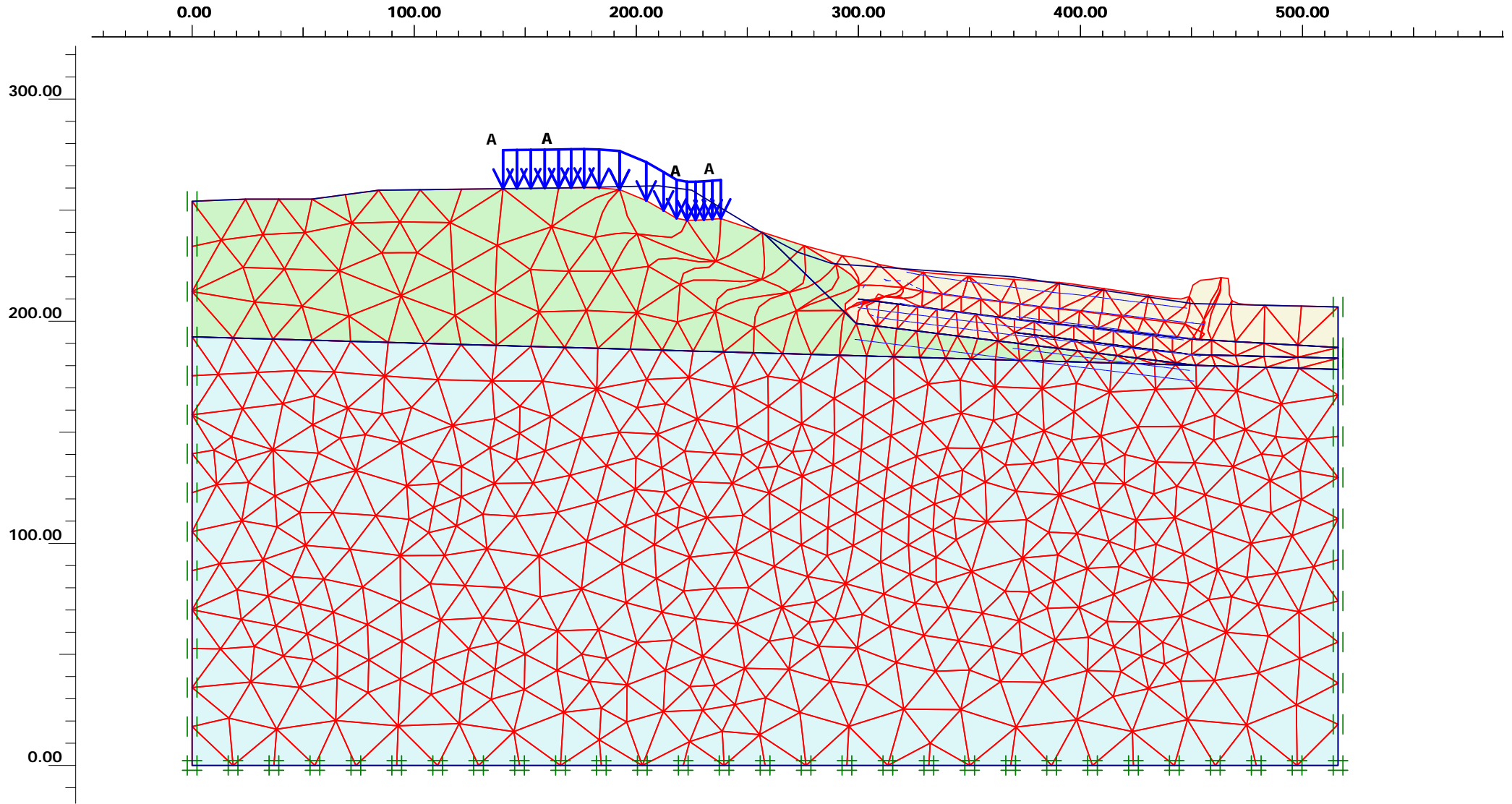
Page : 1

Point	X [m]	Y [m]
0	0.000	254.000
1	24.000	255.000
2	54.000	255.000
3	84.000	259.000
4	165.000	260.000
5	210.000	261.000
6	225.000	259.000
7	258.000	239.000
8	273.000	231.000
9	288.000	226.000
10	370.000	220.000
11	450.000	208.000
12	0.000	0.000
13	0.000	193.000
14	299.000	199.000
15	451.976	180.155
16	380.988	188.900
17	370.000	195.000
18	450.000	185.000
19	370.000	201.000
20	450.000	192.000
21	300.000	210.000
22	300.000	217.000
23	370.000	208.000
24	427.000	201.000
25	516.000	0.000
26	516.000	206.429
27	516.000	178.336
28	516.000	166.694
29	516.000	183.350
30	516.000	188.163
31	140.004	259.691
32	281.280	216.287

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description	: Pissouri AA	Plaxis 2D
User name	: National Technical University of Athens	
Project name	: Pissouri AA Hill M30MAX GW	Date : 27/12/2019
Output	: Soil and Interfaces Info - Mohr-Coulomb	Step : 6 Page : 1

ID	Name	Type	γ _{unsat} [kN/m ³]	γ _{sat} [kN/m ³]	k _x [m/day]	k _y [m/day]	ν	E _{ref} [kN/m ²]	c _{ref} [kN/m ²]	φ [°]
1	Reworked Marl	Drained	17.6	19.0	2.0000E-0004	2.0000E-0004	0.30	10000.0	63.0	27.0
2	Pissouri Marl	Drained	19.1	20.0	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	30000.0	202.0	31.0
3	Kalavasos Formation	Drained	18.1	19.5	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	1E5	234.0	31.0



Deformed mesh

Extreme total displacement $10.64 \cdot 10^6$ m
 (displacements scaled up $2.00 \cdot 10^{-6}$ times)



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA Hill M...

Step

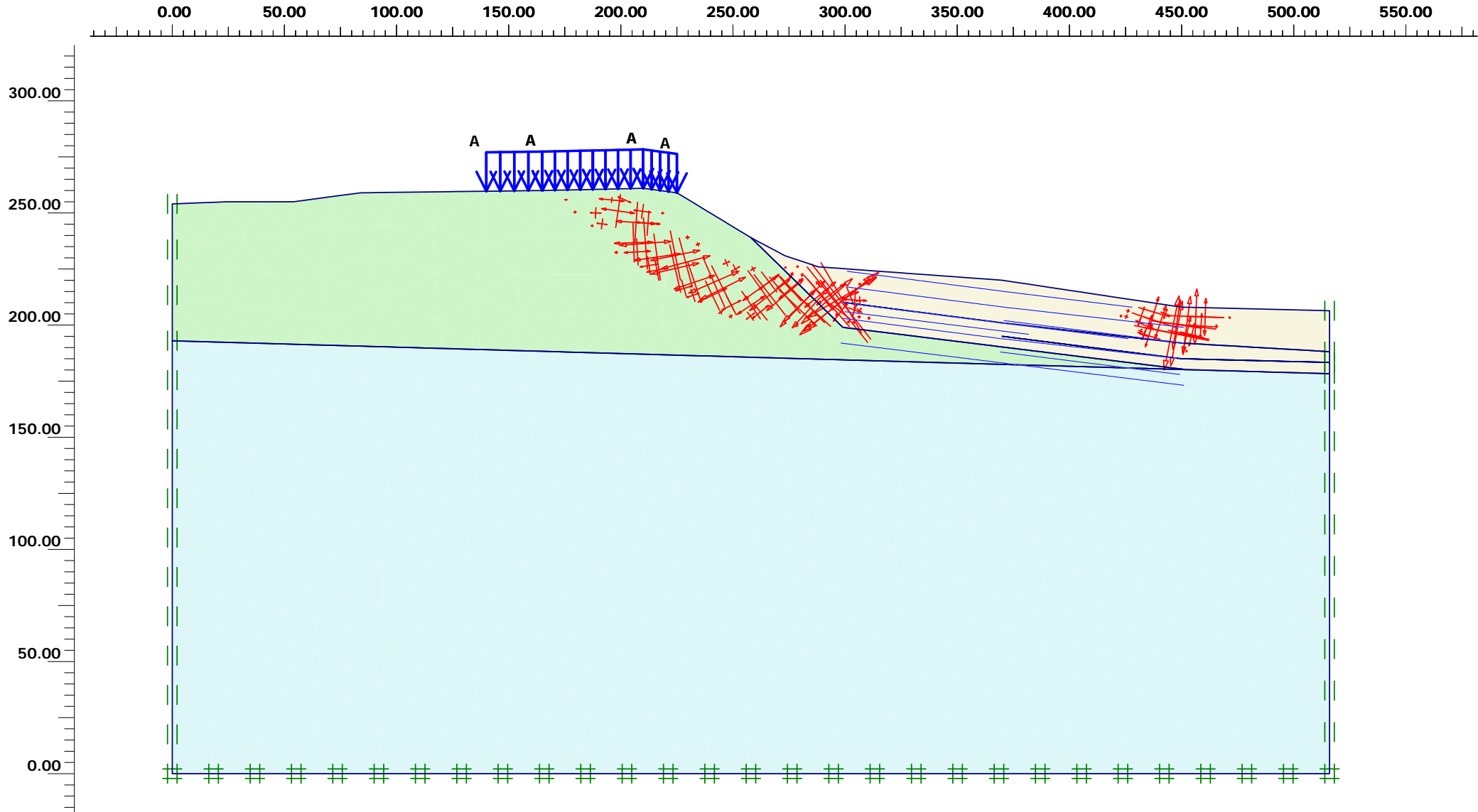
208

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental strains

Extreme principal strain increment -15.94×10^6 %



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA Hill M...

Step

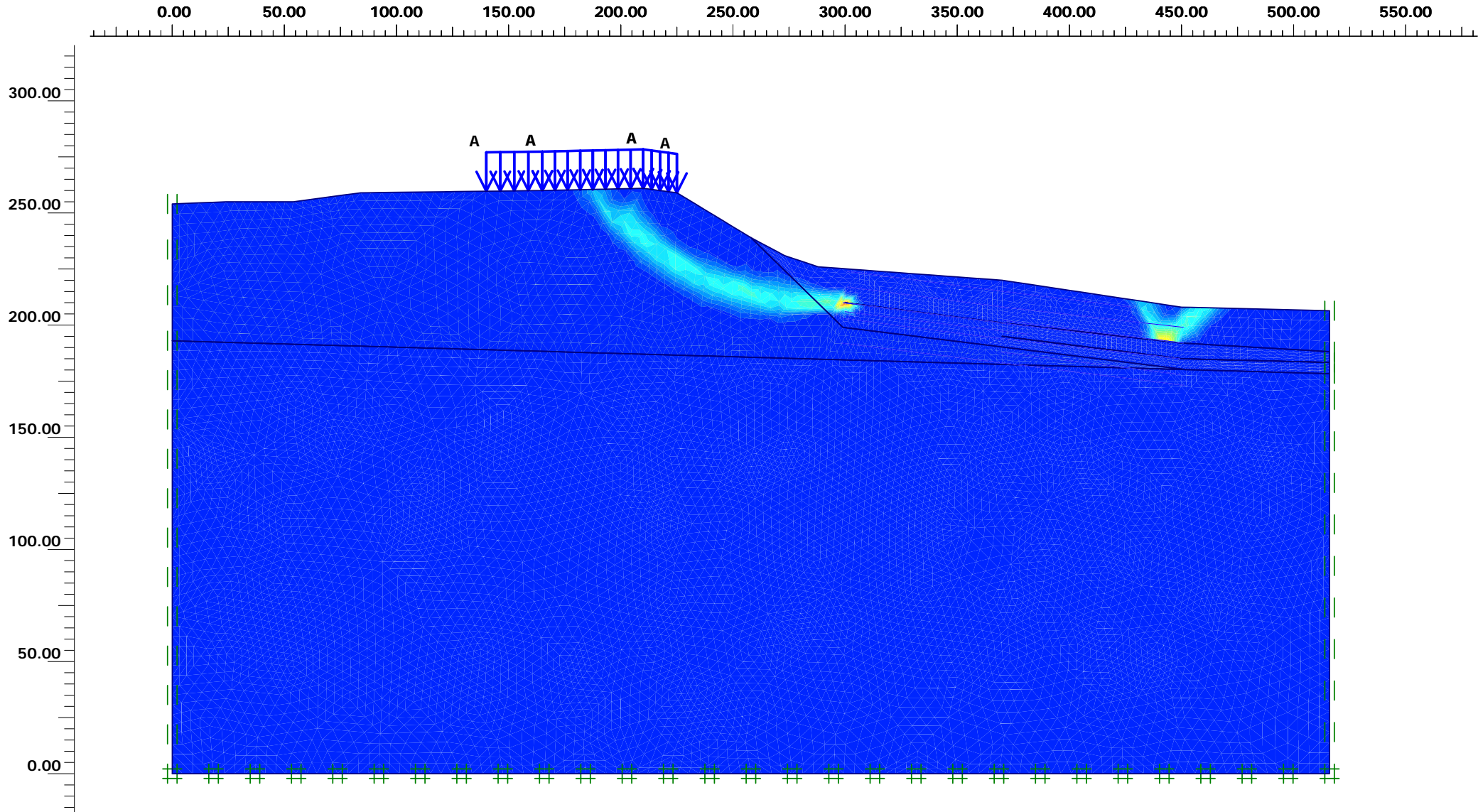
208

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental shear strains
 Extreme shear strain increment $18.20 \cdot 10^6$ %



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA Hill M...

Step

208

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA Hill M30MAX GW
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 27/12/2019
 Step : 208 Page : 1

Step Info

Step 208 of 208	Incremental multipliers	2.000
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	3.230
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI AA HILL M12MIN

ΤΟΜΗ: ΑΑ΄

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ: MIN

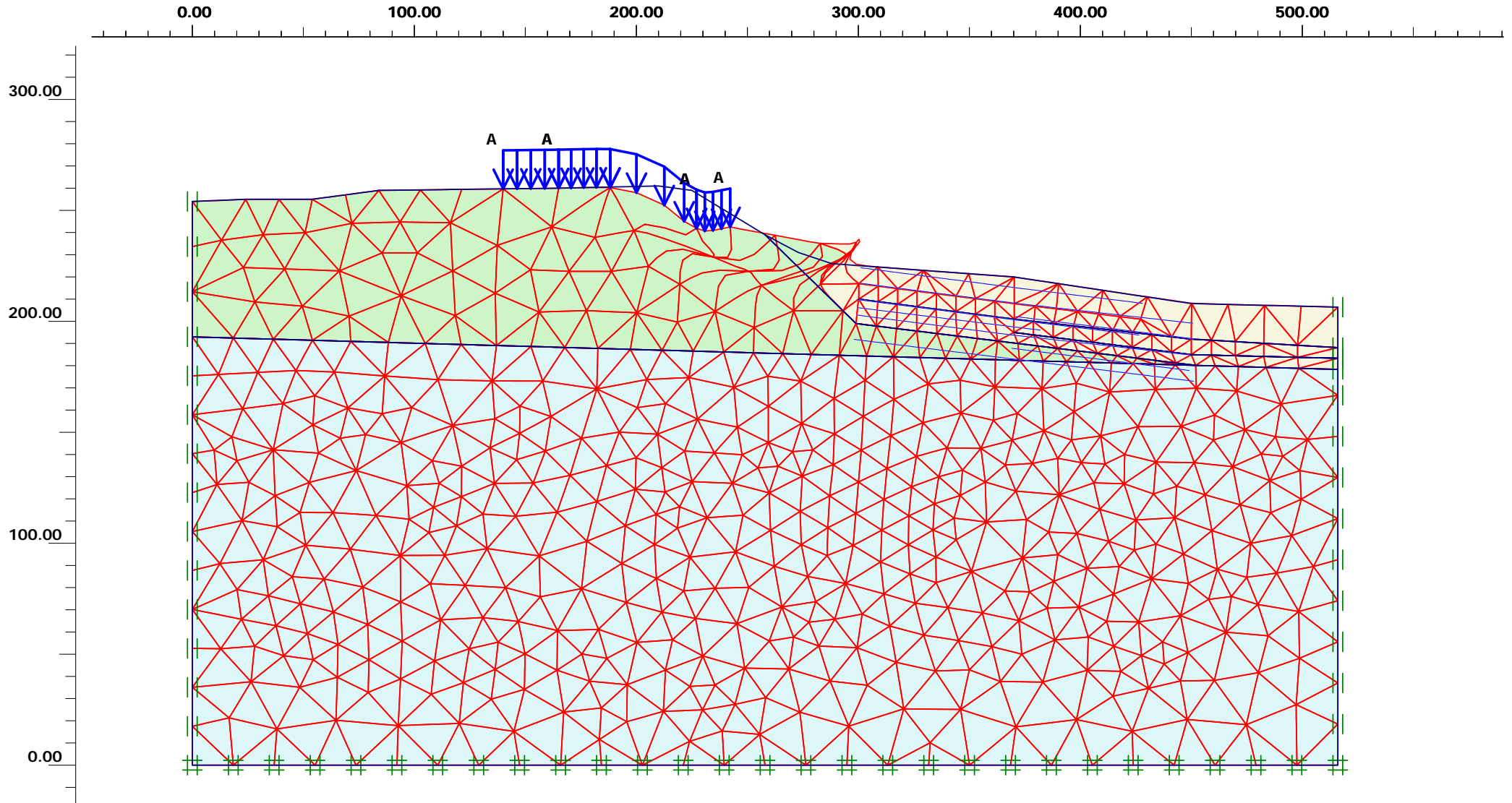
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ:

- Πίνακας γεωτεχνικών παραμέτρων
- Παραμορφωμένος κάρναβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στο πρηνές της κύριας κατακρήμνισης με φορτία από τις κατασκευές
- Κατανομή διατμητικών τάσεων εξαιτίας της εκδηλωθείσας αστοχίας (αποτυπώνει την μορφή της επιφάνειας αστοχίας η οποία αλληλεπιδρά με την μάζα της παλαιοκατολίσθησης)
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description	: Pissouri AA	Plaxis 2D
User name	: National Technical University of Athens	
Project name	: Pissouri AA Hill M12MIN GW	Date : 27/12/2019
Output	: Soil and Interfaces Info - Mohr-Coulomb	Step : 209 Page : 1

ID	Name	Type	γ _{unsat} [kN/m ³]	γ _{sat} [kN/m ³]	k _x [m/day]	k _y [m/day]	ν	E _{ref} [kN/m ²]	c _{ref} [kN/m ²]	φ [°]
1	Reworked Marl	Drained	17.6	19.0	2.0000E-0004	2.0000E-0004	0.30	10000.0	63.0	27.0
2	Pissouri Marl	Drained	19.1	20.0	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	12000.0	102.0	27.0
3	Kalavasos Formation	Drained	18.1	19.5	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	1E5	234.0	31.0



Deformed mesh

Extreme total displacement 27.24×10^6 m
 (displacements scaled up 1.00×10^{-6} times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA Hill M...

Step

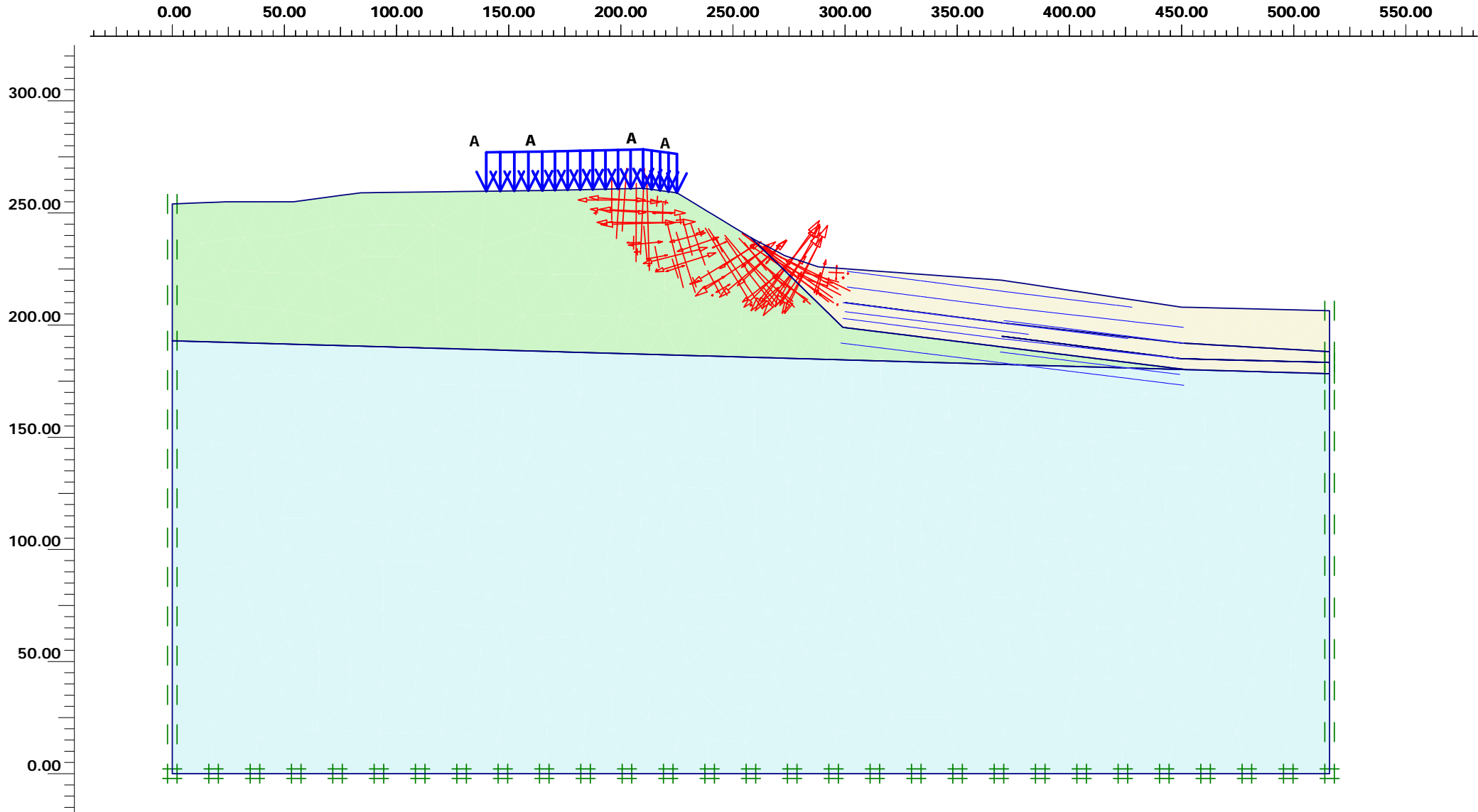
209

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental strains

Extreme principal strain increment $-27.89 \cdot 10^6 \%$



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA Hill M...

Step

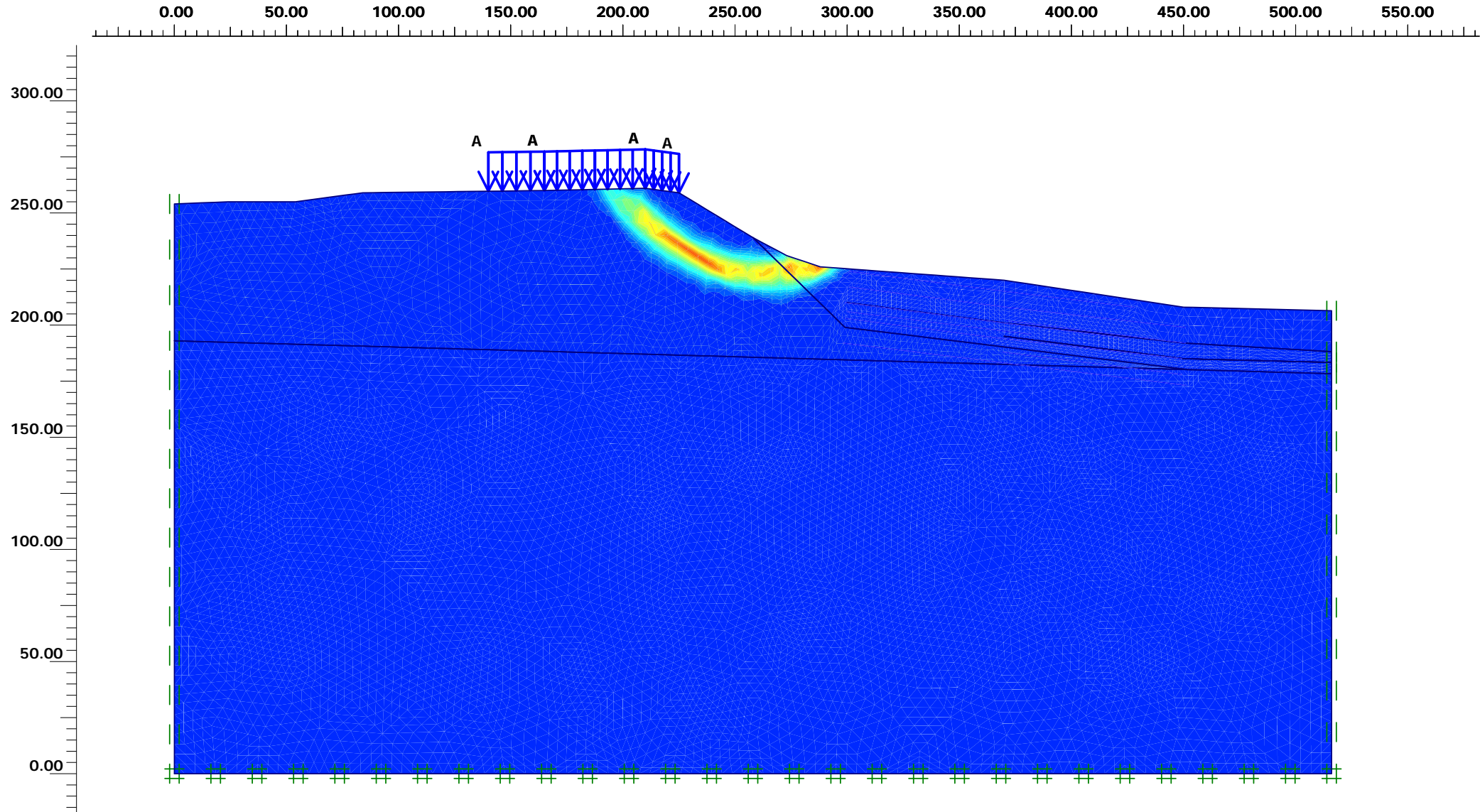
209

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental shear strains
 Extreme shear strain increment $32.01 \cdot 10^6$ %



Project description

Pissouri AA

Project name

Pissouri AA Hill M...

Step

209

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri AA
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri AA Hill M12MIN GW
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 27/12/2019
 Step : 209 Page : 1

Step Info

Step 209 of 209	Incremental multipliers	2.000
Plastic STEP		0.000

Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	2.424
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Staged construction

Active proportion of total area	Marea :	0.000	ΣMarea :	1.000
Active proportion of stage	Mstage :	0.000	ΣMstage :	0.000



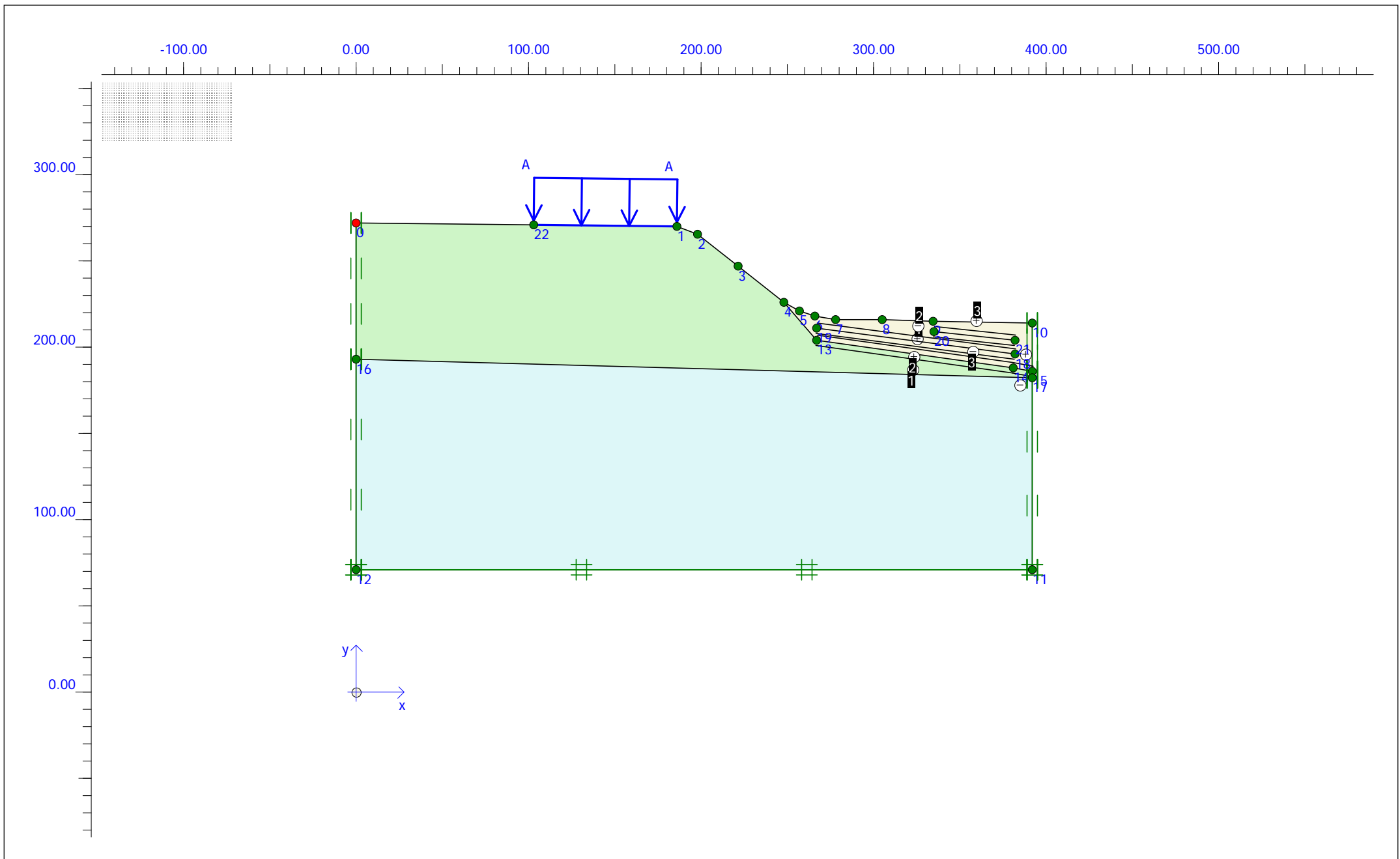
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI BB HILL M12MIN

ΤΟΜΗ: BB'

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ: MIN

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ:

- Γεωμετρία τομής
- Πίνακας συντεταγμένων των κόμβων της τομής
- Πίνακας γεωτεχνικών παραμέτρων
- Παραμορφωμένος κάναβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στο πρηνές της κύριας κατακρήμνισης με φορτία από τις κατασκευές
- Κατανομή διατμητικών τάσεων εξαιτίας της εκδηλωθείσας αστοχίας (αποτυπώνει την μορφή της επιφάνειας αστοχίας)
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας



Project description

Pissouri BB Hill M30MIN GW

Project name

Pissouri BB Hill M...

Date

27/12/2019

User name

National Technical University of Athens

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri BB Hill M30MIN GW
User name : National Technical University of Athens
Project name : Pissouri BB Hill M12MIN.PLX
Output : Coordinate table

Date : 27/12/2019

Page : 1

Point	X [m]	Y [m]
0	0.000	272.000
1	186.000	270.000
2	198.000	265.500
3	221.500	247.000
4	248.000	226.000
5	257.000	221.000
6	266.000	218.000
7	278.000	216.000
8	305.000	216.000
9	334.500	215.000
10	392.000	214.000
11	392.000	71.000
12	0.000	71.000
13	267.000	204.000
14	381.000	188.000
15	392.000	186.000
16	0.000	193.000
17	392.000	182.236
18	382.000	196.000
19	267.000	211.000
20	335.000	209.000
21	382.000	204.000
22	102.999	270.892

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

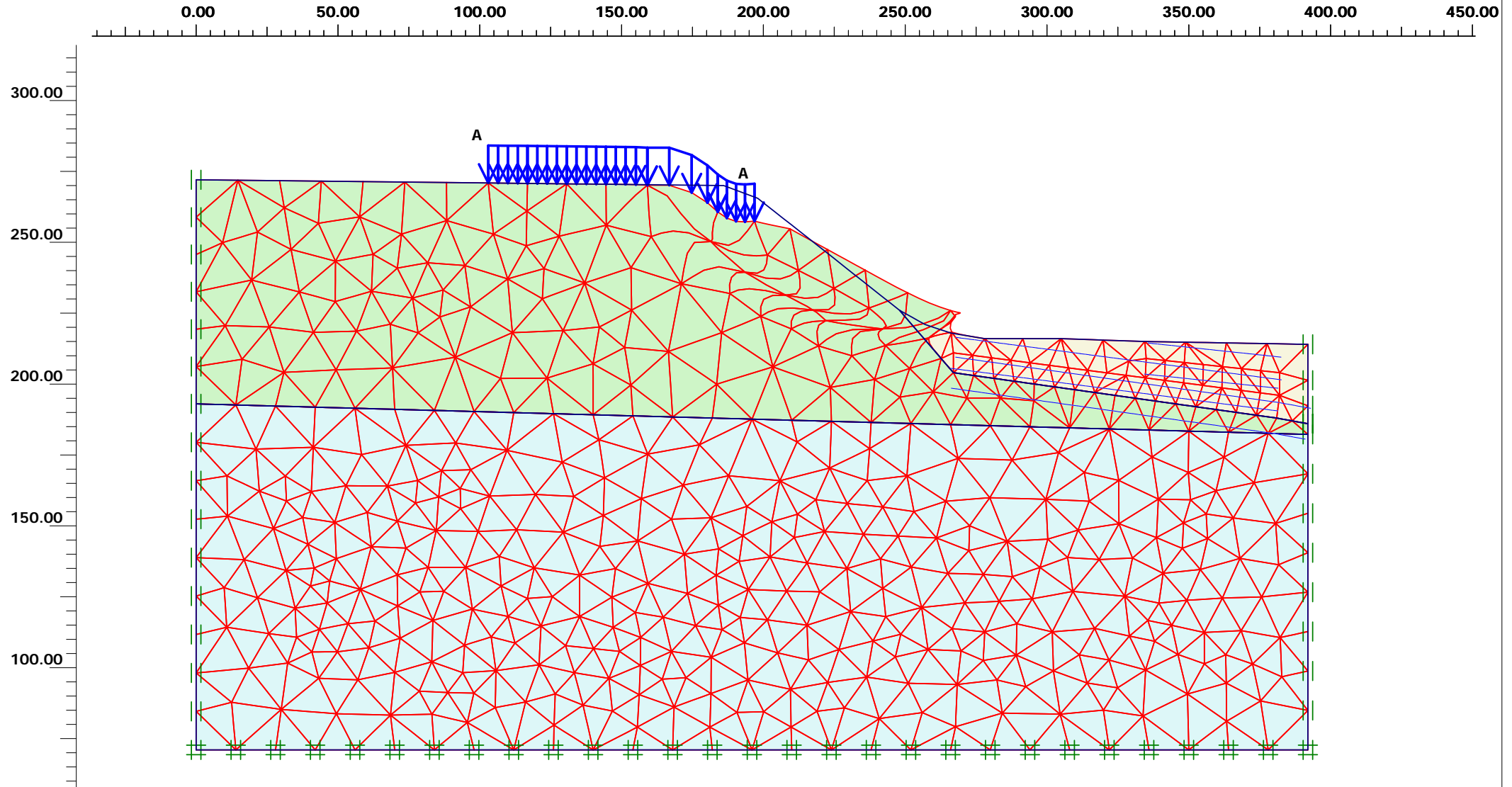
Project description : Pissouri BB Hill M30MIN GW
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri BB Hill M12MIN
 Output : Soil and Interfaces Info - Mohr-Coulomb

Plaxis 2D

Date : 27/12/2019

Step : 108 Page : 1

ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [°]
1	Kalavassos Formation	Drained	18.1	19.5	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	1E5	234.0	31.0
2	Pissouri Marl	Drained	19.1	20.0	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	12000.0	102.0	27.0
3	Reworked Marl	Drained	17.6	19.0	2.0000E-0004	2.0000E-0004	0.30	5000.0	51.0	26.0



Deformed mesh

Extreme total displacement $9.08 \cdot 10^6$ m
 (displacements scaled up $2.00 \cdot 10^{-6}$ times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri BB Hill M30MIN GW

Project name

Pissouri BB Hill M...

Step

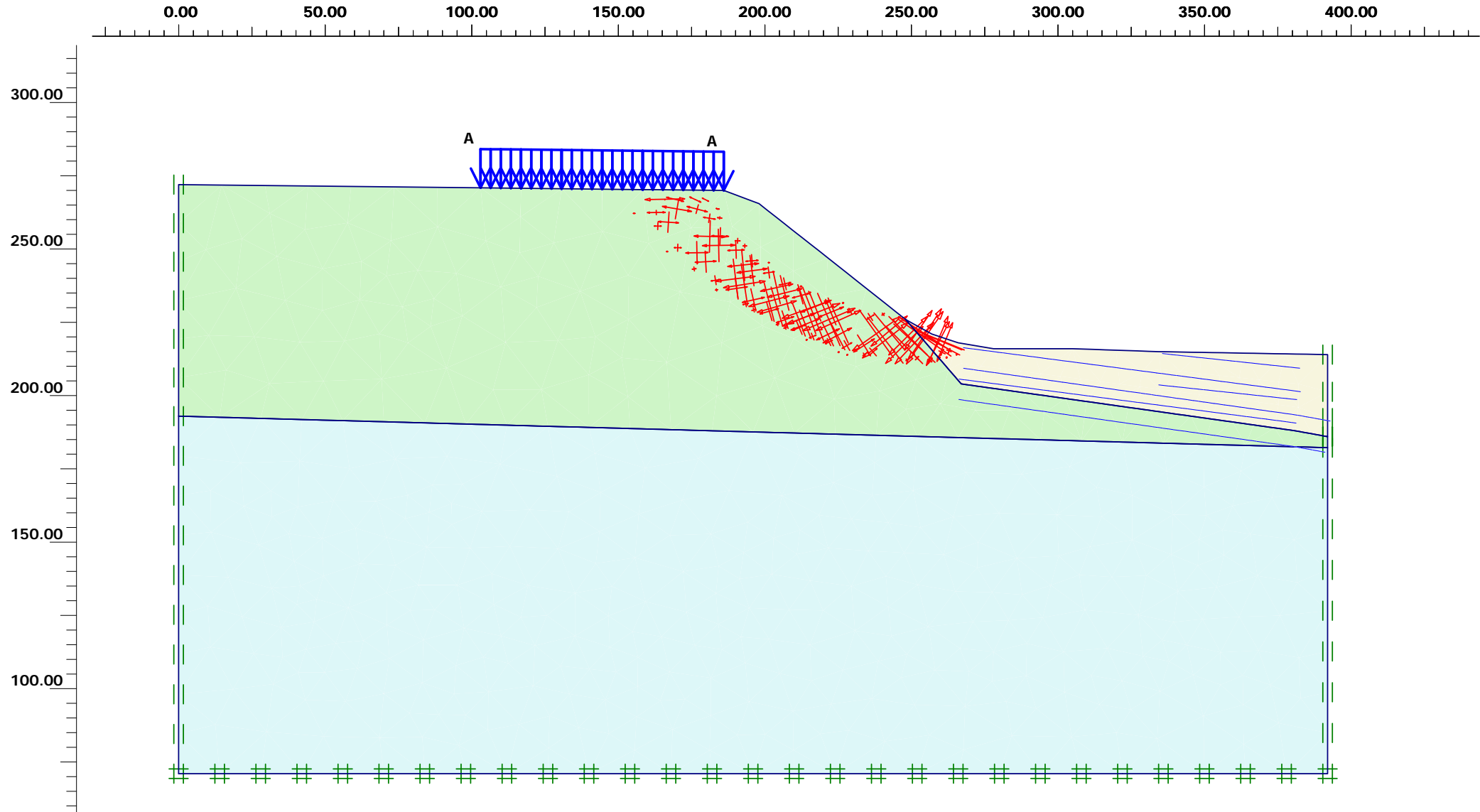
108

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental strains

Extreme principal strain increment $-6.55 \cdot 10^6 \%$



Project description

Pissouri BB Hill M30MIN GW

Project name

Pissouri BB Hill M...

Step

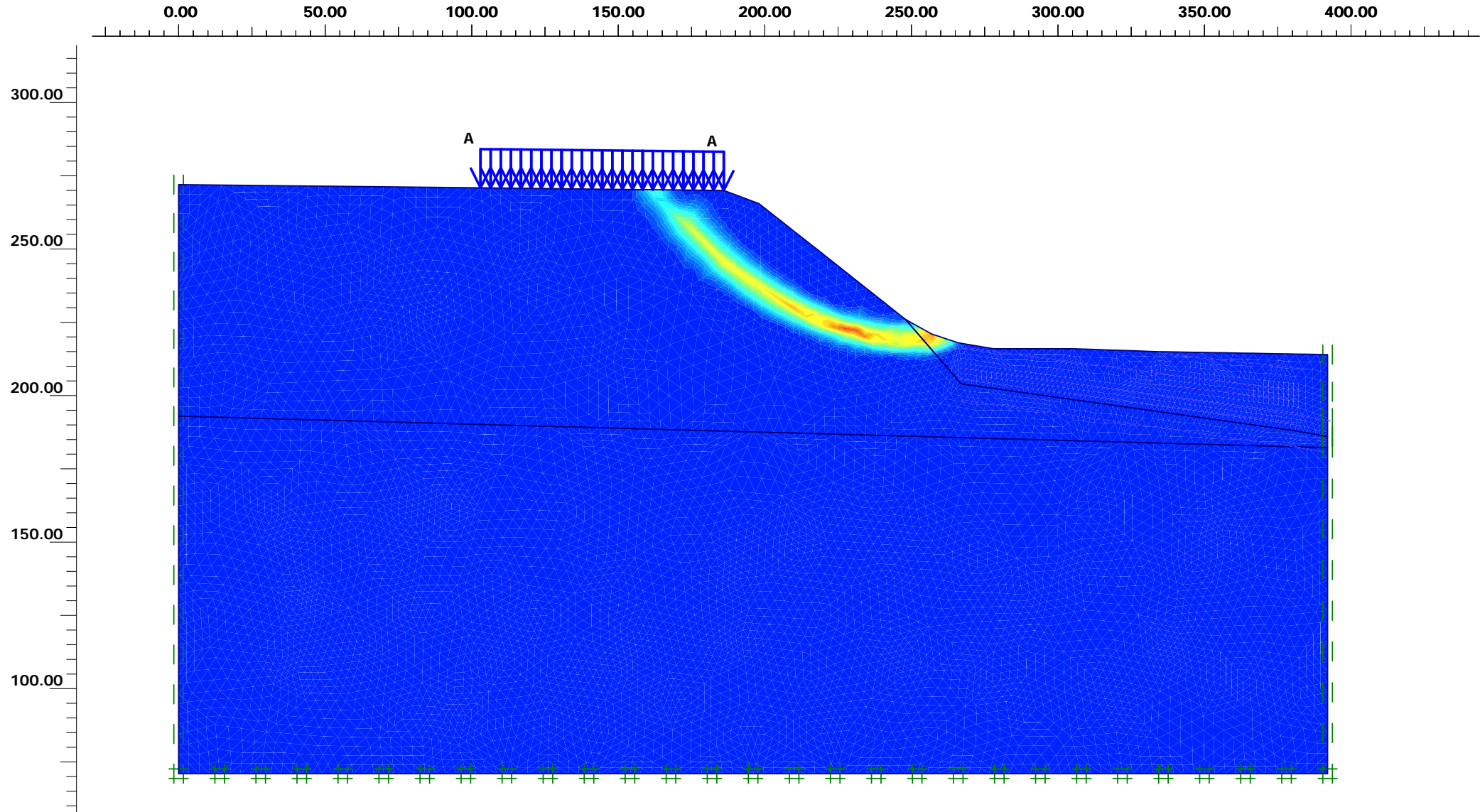
108

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental shear strains
 Extreme shear strain increment 7.69×10^6 %



Project description

Pissouri BB Hill M30MIN GW

Project name

Pissouri BB Hill M...

Step

108

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri BB Hill M30MIN GW
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri BB Hill M12MIN
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 27/12/2019

Step : 108 Page : 1

Step Info

Step 108 of 208
 Plastic STEP

Incremental multipliers

0.500

0.000

Prescribed displacements
 Load system A
 Load system B
 Soil weight
 Acceleration
 Strength reduction factor
 Time

Mdisp: 0.000
 MloadA: 0.000
 MloadB: 0.000
 Mweight: 0.000
 Maccel: 0.000
 Msf: 0.000
 Increment: 0.000

Σ-Mdisp: 1.000
 Σ-MloadA: 1.000
 Σ-MloadB: 1.000
 Σ-Mweight: 1.000
 Σ-Maccel: 0.000
 Σ-Msf: 1.692
 End time: 0.000

Staged construction

Active proportion of total area
 Active proportion of stage

Marea : 0.000
 Mstage : 0.000

ΣMarea : 1.000
 ΣMstage : 0.000



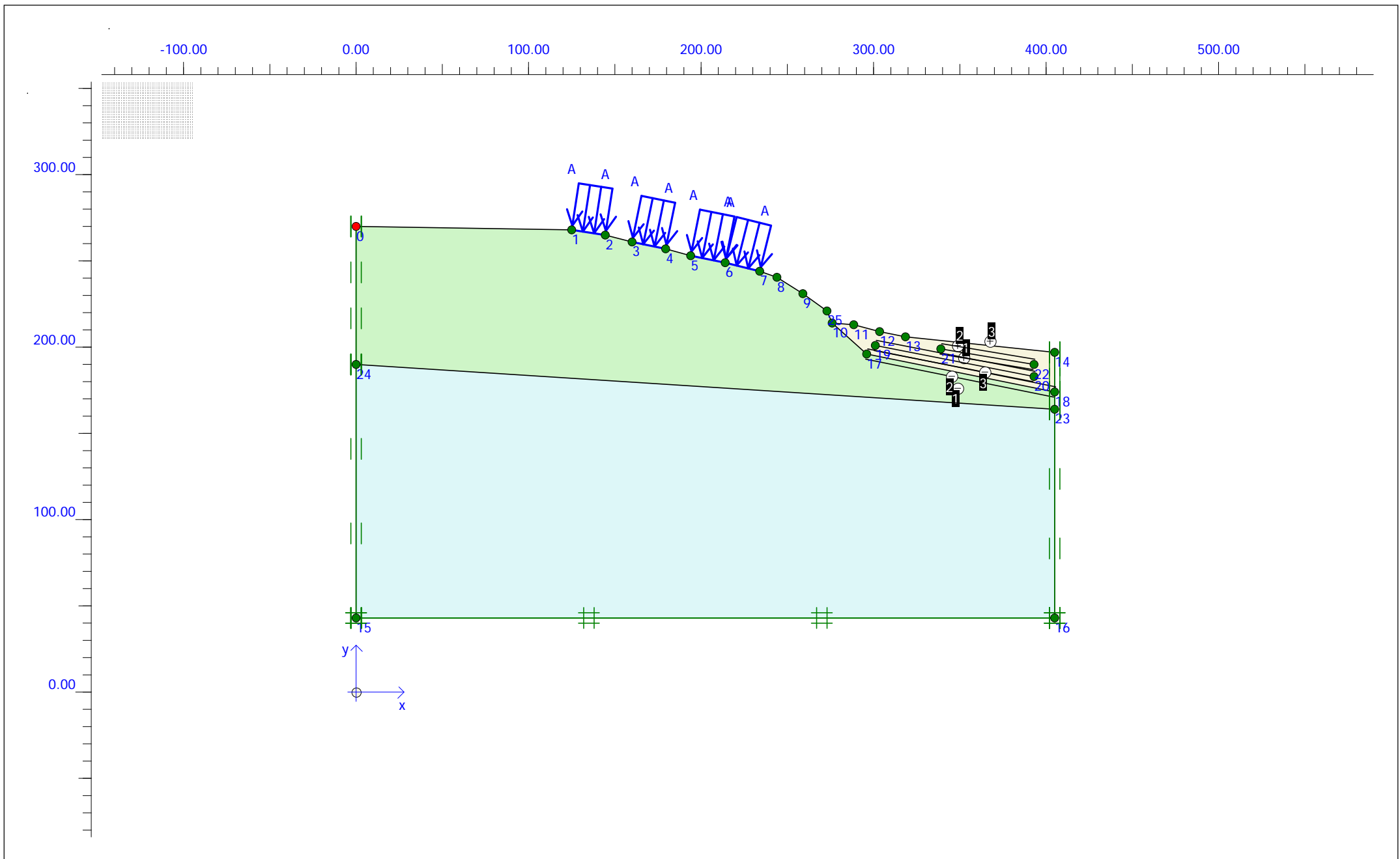
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ: PISSOURI DD HILL 12MIN

ΤΟΜΗ: DD'

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ: MIN

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ:

- Γεωμετρία τομής
- Πίνακας συντεταγμένων των κόμβων της τομής
- Πίνακας γεωτεχνικών παραμέτρων
- Παραμορφωμένος κάναβος - Ανάλυση προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας στο πρηνές της κύριας κατακρήμνισης με φορτία από τις κατασκευές
- Κατανομή διατμητικών τάσεων εξαιτίας της εκδηλωθείσας αστοχίας (αποτυπώνει την μορφή της επιφάνειας αστοχίας η οποία αλληλεπιδρά με την μάζα της παλαιοκατολίσθησης)
- Πίνακας αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri DD Hill M12MIN GW

Project name

Pissouri DD Hill M...

Date

27/12/2019

User name

National Technical University of Athens

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri DD Hill M12MIN GW
User name : National Technical University of Athens
Project name : Pissouri DD Hill M12MIN GW.PLX
Output : Coordinate table

Date : 27/12/2019

Page : 1

Point	X [m]	Y [m]
0	0.000	270.000
1	125.000	268.000
2	144.500	265.000
3	160.000	261.000
4	179.500	257.000
5	194.000	253.000
6	214.000	249.000
7	234.000	244.000
8	244.000	240.500
9	259.000	231.000
10	276.000	214.000
11	288.500	213.000
12	303.500	209.000
13	318.500	206.000
14	405.000	197.000
15	0.000	43.000
16	405.000	43.000
17	296.000	196.000
18	405.000	174.000
19	301.000	201.000
20	393.000	183.000
21	339.000	199.000
22	393.000	190.000
23	405.000	164.000
24	0.000	190.000
25	273.000	221.000

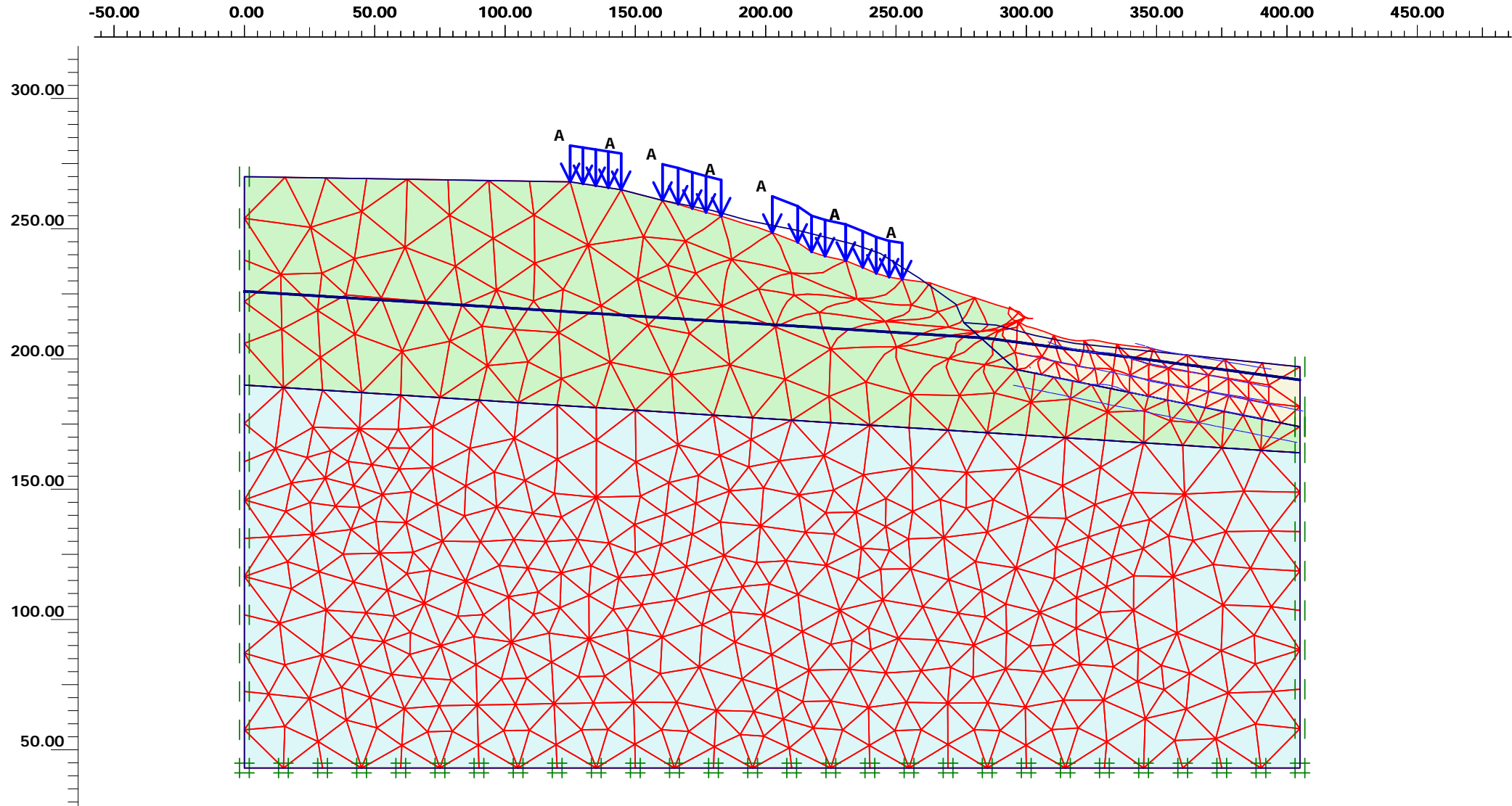
PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri DD Hill M12MIN GW
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri DD Hill M12MIN GW
 Output : Soil and Interfaces Info - Mohr-Coulomb

Plaxis 2D

Date : 27/12/2019
 Step : 113 Page : 1

ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	k_x [m/day]	k_y [m/day]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [°]
1	Reworked Marl	Drained	17.6	19.0	2.0000E-0004	2.0000E-0004	0.30	15000.0	63.0	27.0
2	Kalavassos Formation	Drained	18.1	19.5	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	1E5	234.0	31.0
3	Pissouri Marl	Drained	19.1	20.0	8.0000E-0008	8.0000E-0008	0.30	12000.0	102.0	27.0



Deformed mesh

Extreme total displacement 27.20×10^6 m
 (displacements scaled up 1.00×10^{-6} times)



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri DD Hill M12MIN GW

Project name

Pissouri DD Hill ...

Step

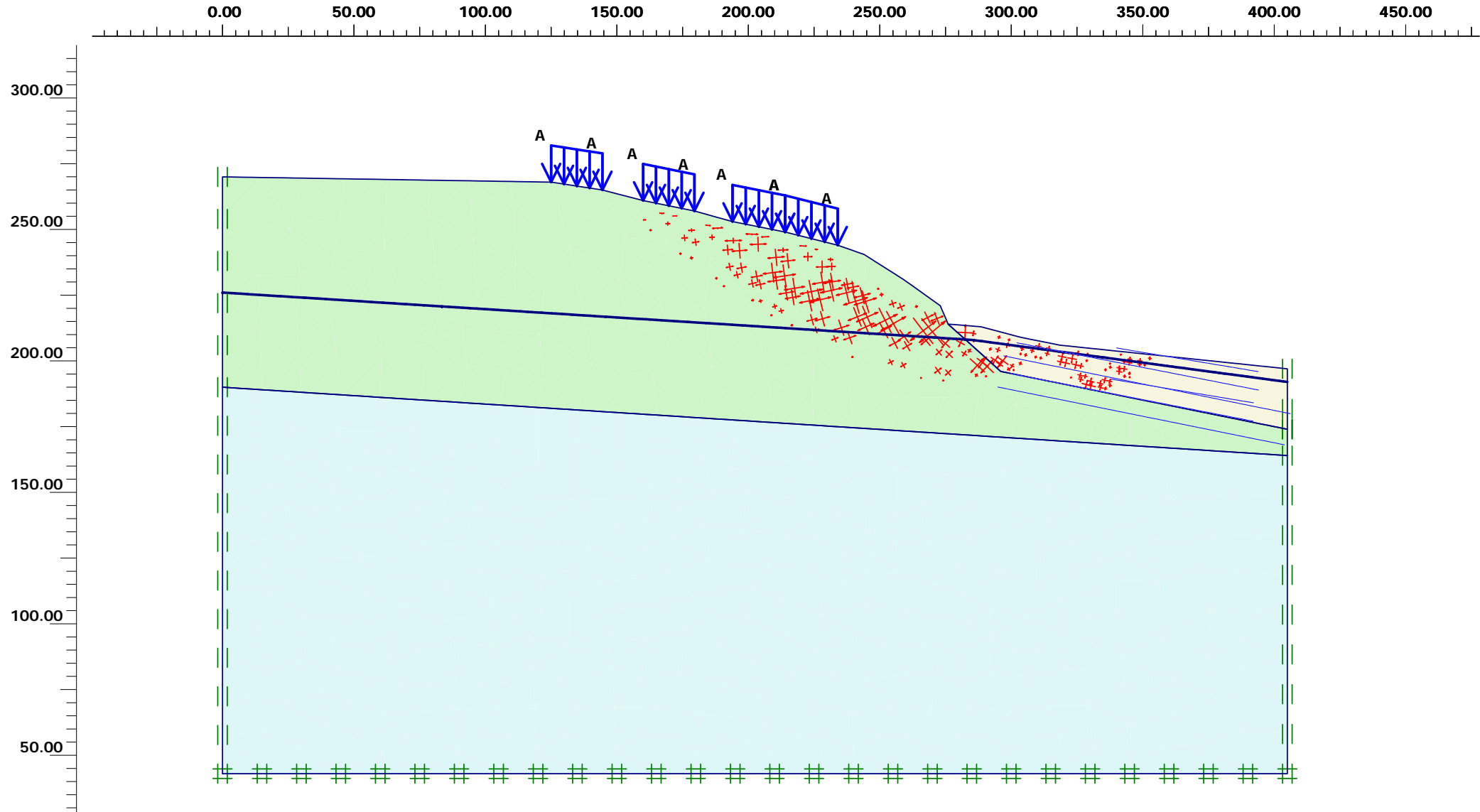
113

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental strains
 Extreme principal strain increment $-35.17 \cdot 10^6 \%$



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description

Pissouri DD Hill M12MIN GW

Project name

Pissouri DD Hill ...

Step

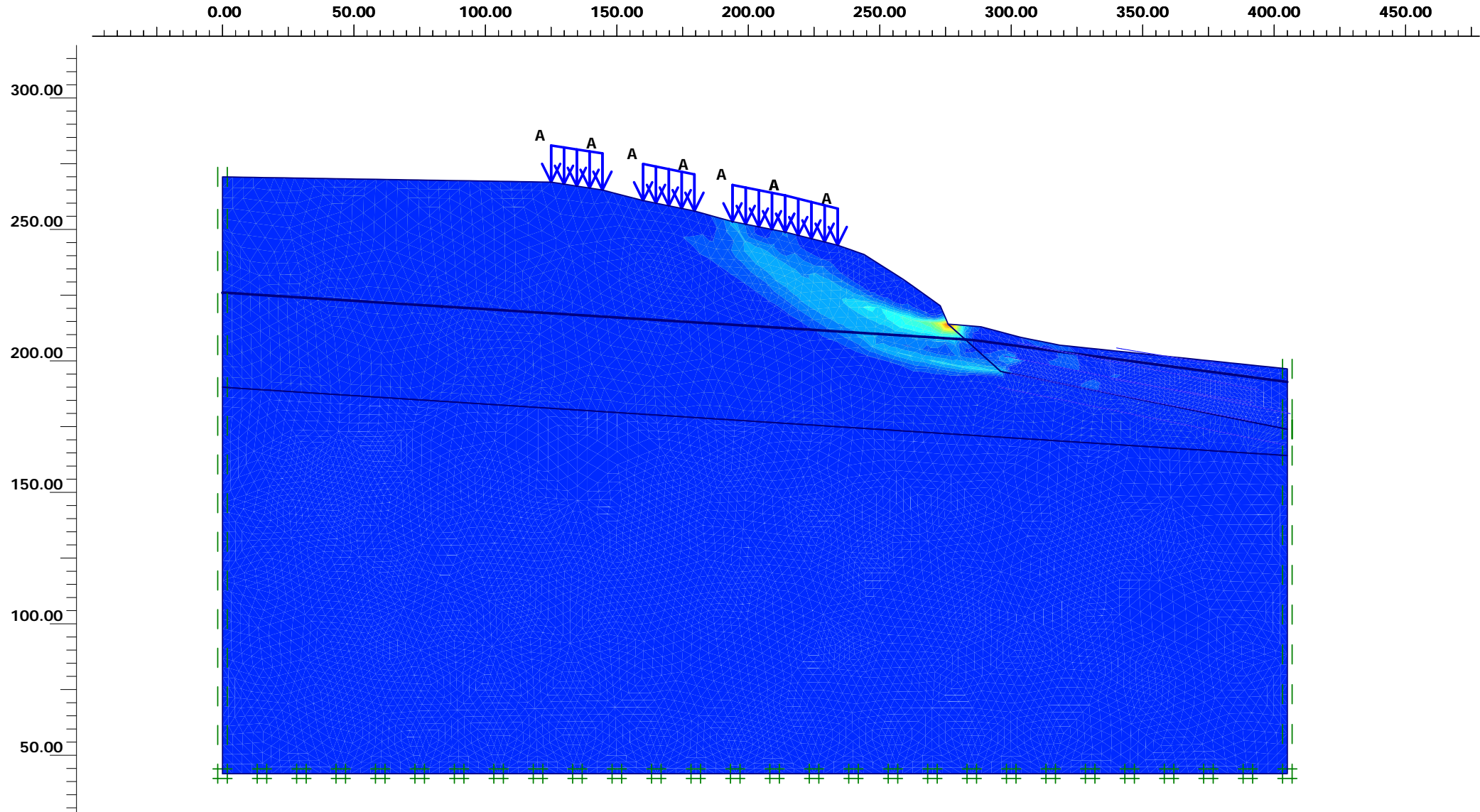
113

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens



Incremental shear strains
 Extreme shear strain increment $40.09 \cdot 10^6$ %



Project description

Pissouri DD Hill M12MIN GW

Project name

Pissouri DD Hill ...

Step

113

Date

27/12/19

User name

National Technical University of Athens

PLAXIS - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description : Pissouri DD Hill M12MIN GW
 User name : National Technical University of Athens
 Project name : Pissouri DD Hill M12MIN GW
 Output : Calculation information

Plaxis 2D

Date : 27/12/2019

Step : 113 Page : 1

Step Info

Step 113 of 213
 Plastic STEP

Incremental multipliers

0.500

0.000

Prescribed displacements
 Load system A
 Load system B
 Soil weight
 Acceleration
 Strength reduction factor
 Time

Mdisp: 0.000
 MloadA: 0.000
 MloadB: 0.000
 Mweight: 0.000
 Maccel: 0.000
 Msf: 0.000
 Increment: 0.000

Σ-Mdisp: 1.000
 Σ-MloadA: 1.000
 Σ-MloadB: 1.000
 Σ-Mweight: 1.000
 Σ-Maccel: 0.000
 Σ-Msf: 2.156
 End time: 0.000

Staged construction

Active proportion of total area
 Active proportion of stage

Marea : 0.000
 Mstage : 0.000

ΣMarea : 1.000
 ΣMstage : 0.000