

Εφαρμογές γεωσυνθετικών στην προστασία αρχαίων μνημείων: Η περίπτωση κατάχωσης του Αρρηφορίου Οίκου στην Ακρόπολη των Αθηνών

Application of geosynthetics for protection of ancient monuments: The protective backfill of Arrephorion in Athenian Akropolis

ΕΓΓΛΕΖΟΣ, Δ.Ν. Δρ Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η κατάχωση του Αρρηφορίου Οίκου επί της Ακροπόλεως των Αθηνών. Η γεωτεχνική μελέτη συντάχθηκε για λογαριασμό της Υ.Σ.Μ.Α./ΥΠ.ΠΟ. Σκοπός της κατάχωσης είναι η προστασία των σωζομένων θεμελιότοιχων του μνημείου από την καταστροφική μηχανική και φυσικοχημική δράση του περιβάλλοντος. Η κύρια επίχωση του μνημείου σχεδιάστηκε ως οπλισμένο επίχωμα με επίλεκτο κοκκώδες εδαφικό υλικό και γεώπλεγμα ώστε να επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση των οριζόντιων ωθήσεων επί των τοίχων του μνημείου. Προκειμένου να εξασφαλισθεί η βασική αρχή της κατάχωσης μνημείου για πλήρως αναστρέψιμη λύση έγινε ευρύτατη χρήση γεωσυνθετικών διαχωρισμού, φίλτρου και στραγγιστηρίου.

ABSTRACT: This article presents the design of protective backfill of Arrephorion monument in Athenian Akropolis. The geotechnical study was realised for Akropolis Restoration Service/Ministry of Culture of Greece. The scope of filling was the protection of existing foundation walls of the monument from the disastrous mechanical, physical and chemical action of environment. The main backfill of monument consists of reinforced embankment made from selected granular material and geogrid, for minimization of lateral earth pressures on foundation walls. In addition, the basic principle in monument backfilling, for total reversal of intervention, is assured with extended use of geosynthetic materials (for separation, infiltration and drainage).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η γεωτεχνική μελέτη κατάχωσης του Αρρηφορίου Οίκου επί της Ακροπόλεως των Αθηνών. Η γεωτεχνική μελέτη συντάχθηκε για λογαριασμό της Υ.Σ.Μ.Α./ΥΠ.ΠΟ., σε συνέχεια σχετικής αποφάσεως της Ε.Σ.Μ.Α.

Η μελέτη κατάχωσης εγκρίθηκε με την ΑΠ ΥΠΠΟ/ΓΔΑΠ/ΑΡΧ/Α1/Φ01/74982/3583 της 31-8-2006 απόφαση του ΚΑΣ. Ήδη έχει υπογραφεί σύμβαση για την κατασκευή της κατάχωσης κατόπιν σχετικής δημοπράτησης του έργου (ανάδοχος του έργου: ΕΔΡΑΣΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε.) και το έργο βρίσκεται στο τελικό στάδιο αποπεράτωσης.

Αντικείμενο της γεωτεχνικής μελέτης είναι η κατάχωση των θεμελιότοιχων του Αρρηφορίου καθώς και των άμορφων σωρευμένων μαρμάρων που προέκυψαν από την αποχωμάτωση του μνημείου.

Το Αρρηφόριον (ή Οίκος των Αρρηφόρων) αποτελούσε λατρευτικό κτίσμα, προς τιμήν της θεάς Αθηνάς, το οποίο βρίσκεται στη βόρεια πλευρά της Ακροπόλεως, σε γειτνίαση με το Τείχος της Ακροπόλεως (βλ. την γενική κάτοψη της Ακρόπολης στο Σχήμα 1).

Τα σωζόμενα τμήματα του Αρρηφορίου οίκου περιλαμβάνουν τους θεμελιότοιχους του κτιρίου οι οποίοι μετά την αποχωμάτωση του χώρου δημιουργούν δύο υπόγειες αίθουσες. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται στην κάτοψη (όπου παρουσιάζονται τα έργα της



Σχήμα 1:Γενική κάτοψη της Ακρόπολης των Αθηνών
Figure 1:General plan view of Athenian Akropolis

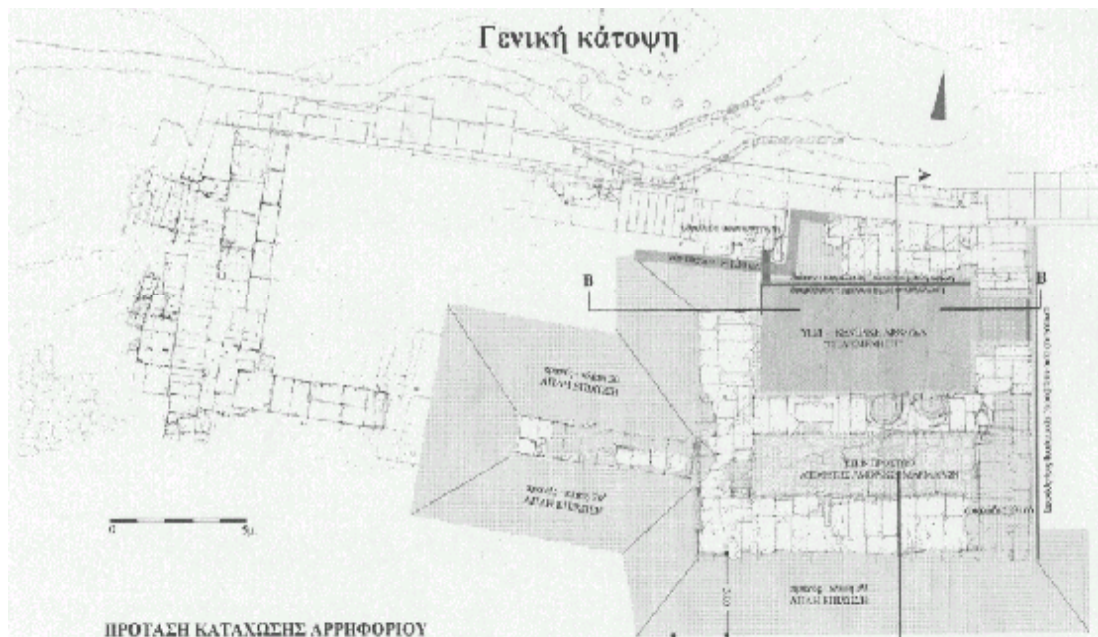
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΧΩΣΗΣ

κατάχωσης) του Σχήματος 2. Τα θεμέλια της κεντρικής αίθουσας (ΥΠ1) έχουν διαστάσεις $8.30 \times 4.30 \text{m}^2$, και μέγιστο ύψος θεμελιότοιχου 4.90m . Τα θεμέλια της μικρότερης αίθουσας, δηλαδή του προστώου (ΥΠ2) έχουν διαστάσεις $8.30 \times 2.30 \text{m}^2$, και μέγιστο ύψος θεμελιότοιχου 3.00m . Το πάχος των θεμελιότοιχων, που αποτελούνται από ορθογωνικούς δόμους από πωρόλιθο (εύθρυπτο μαργαϊκό ασβεστόλιθο του Πειραιά), κυμαίνεται από 1.40m ως 2.00m .

Στα πλαίσια της κατάχωσης, επιχώνονται οι δύο υπόγειες περιοχές που δημιουργούν οι περιμετρικοί θεμελιότοιχοι του Αρρηφορίου Οίκου εντός των οποίων περιέχονται σωζόμενα μικρά τμήματα από εγκάρσιους αρχαίους θεμελιότοιχους. Επιπλέον, οι υπόγειες περιοχές χρησιμοποιούνται για τη σάρευση των άμορφων μαρμάρων τα οποία βρέθηκαν στα υλικά αποχωμάτωσης του Αρρηφορίου. Το ακριβές περίγραμμα της κατάχωσης παρουσιάζεται επίσης στο Σχ. 2

Η κατάχωση των θεμελιότοιχων του Αρρηφορίου στοχεύει στα ακόλουθα:

- Προστασία των δομικών στοιχείων των θεμελιότοιχων του Αρρηφορίου από την δυσμενή μηχανική και φυσικοχημική επίδραση που ασκεί το εξωτερικό περιβάλλον.
- Προστασία των άμορφων μαρμάρων τα οποία καταχώνονται εντός της υπόγειας περιοχής του προστώου (ΥΠ2).
- Προστασία των εσωτερικών θεμελιότοιχων οι οποίοι εδράζονται επί αρχαίας τεχνητής επίχωσης εντός της κεντρικής αίθουσας (ΥΠ1).
- Εξασφάλιση του τμήματος του βόρειου τείχους της Ακροπόλεως, το οποίο βρίσκεται εν επαφή με το βόρειο θεμελιότοιχο της κεντρικής αίθουσας (ΥΠ1), από τυχόν επιβαρυντικές



Σχήμα 2: Κάτοψη της επίχωσης του Αρρηφορίου Οίκου
Figure 2: Plan view of Arrephorion backfilling

δράσεις της κατάχωσης υπό στατικές ή σεισμικές συνθήκες.

Η επίτευξη των ανωτέρω προϋποθέτει –πέραν των άλλων- την εξασφάλιση σταθερών -κατά το δυνατόν- μηχανικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων (θερμοκρασία -υγρασία), εντός της επίχωσης.

Σημειωτέον ότι ή τεχνική λύση της κατάχωσης κρίθηκε η ενδεδειγμένη για την προστασία των δόμων των θεμελιότοιχων από πορώλιθο, βάσει της παρατήρησης ότι τα επιχωμένα τμήματα των θεμελιότοιχων βρίσκονταν σε πολύ καλύτερη κατάσταση από τα τμήματα που βρίσκονταν πάνω από το έδαφος και εκτεθειμένα στις περιβαλλοντικές επιδράσεις.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΧΩΣΗΣ

3.1 Αρχές της κατάχωσης

Η κατάχωση μνημείου θεωρείται παρέμβαση σε αρχαίο μνημείο και κατά συνέπεια απαιτεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση. Για την υλοποίηση της παρούσης μελέτης λαμβάνονται υπόψιν οι γενικές αρχές της χάρτας της Βενετίας και, ειδικότερα, τα άρθρα 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.

Σύμφωνα με τις αρχές αυτές επιδιώκονται – μεταξύ άλλων- τα ακόλουθα:

- **Αναστρεψιμότητα της κατάχωσης:** Η κατάχωση πρέπει να μπορεί να αφαιρεθεί

ευχερώς χωρίς βλάβη του μνημείου και η αφαίρεση να οδηγήσει στην προ της κατάχωσης κατάσταση του μνημείου.

- **Διατήρηση της υφιστάμενης στατικής λειτουργίας των μελών του μνημείου:** Η κατάχωση δεν πρέπει να τροποποιεί τη στατική λειτουργία των δομικών μελών του προς κατάχωση μνημείου, ως έχουν κατά τη χρονική περίοδο της κατάχωσης.
- **Ελαχιστοποίηση των αλλαγών στην εμφάνιση των τοιχοποιιών:** Η κατάχωση δεν πρέπει να αλλοιώνει τα τεχνολογικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των τοιχοποιιών, ως μαρτυρία της τεχνογνωσίας του παρελθόντος.
- **Ικανότητα ανάληψης φορτίων:** Η κατάχωση πρέπει να είναι σε θέση να αναλάβει ασφαλώς φορτία προερχόμενα από το ίδιο βάρος αλλά και από τυχόν υπερκείμενα φορτία που προέρχονται από τη χρήση της επιφάνειας της (λ.χ. διέλευση μηχανημάτων).
- **Ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης των δομικών μελών του μνημείου:** Η κατάχωση πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται (ή ακόμα καλύτερα να μηδενίζεται) η επίδρασή της επί των δομικών μελών του μνημείου. Σε περίπτωση επιβάρυνσης θα πρέπει να ελέγχεται η ασφαλής δυνατότητα ανάληψης των δράσεων από τα δομικά μέλη.

- **Διάρκεια ζωής της κατάκωσης:** Η μέθοδος κατάκωσης θα πρέπει να εξασφαλίζει τη μέγιστη διάρκεια ζωής στο έργο.

Ο σχεδιασμός του έργου της κατάκωσης, βάσει των ανωτέρω αρχών, υποβοηθήθηκε ιδιαίτερος από τη χρησιμοποίηση γεωσυνθετικών (όπως θα γίνει σαφές στις επόμενες παραγράφους).

3.2 Επιλογή μεθόδου κατάκωσης

Προκειμένου να ικανοποιούνται οι ανωτέρω γενικές αρχές για την κατάκωση αλλά και οι ειδικές απαιτήσεις στην εξεταζόμενη περίπτωση του Αρρηφορίου εξετάστηκαν προκαταρκτικά, εναλλακτικές μέθοδοι κατάκωσης.

Κατόπιν συγκριτικής ποιοτικής ανάλυσης κρίθηκε ότι η καταλληλότερη μέθοδος κατάκωσης για την περίπτωση του Αρρηφορίου είναι η κατασκευή οπλισμένης επίκωσης στην κεντρική αίθουσα (ΥΠ1), και, η απλή επίκωση με σώρευση των άμορφων μαρμάρων και συμπλήρωση με κατάλληλο επίλεκτο κοκκώδες εδαφικό υλικό για το προστώο (ΥΠ2).

Ειδικότερα, ο ανωτέρω τρόπος κατάκωσης του Αρρηφορίου εξασφαλίζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Την ελάχιστη επιβάρυνση (πρακτικά μηδενική) των θεμελιότοιχων και του εν επαφή τμήματος του βόρειου τείχους από την επίδραση των οριζόντιων ωθήσεων της επίκωσης υπό στατικές και σεισμικές συνθήκες (χάρι στο γεγονός ότι το τέμαχος της οπλισμένης επίκωσης είναι αυτοφερόμενο).
- Την ευχέρεια μελλοντικής καθαίρεσης της επίκωσης με επαναφορά στην αρχική (προ της επίκωσης) κατάσταση.
- Μείωση (έως πρακτικά μηδενισμό) των ωθήσεων επί της παρειάς του εσωτερικού θεμελιότοιχου (όριο ΥΠ1 -βορείως- και ΥΠ2 -νοτίως) και συνεπώς δυνατότητα κατάκωσης της περιοχής ΥΠ2 (νοτίως) σε μεταγενέστερη φάση.
- Υψηλή διάρκεια ζωής του έργου (τουλάχιστον 120 έτη με κριτήριο την αντοχή στο χρόνο των γεωσυνθετικών).

- Πλήρη υπολογιστική τεκμηρίωση της λύσης υπό στατικές και σεισμικές συνθήκες.
- Μικρό χρόνο κατασκευής του έργου
- Ευκολία κατασκευαστικής υλοποίησης (απαιτείται συνήθης τεχνογνωσία)
- Λογικό κόστος κατασκευής

3.3 Γεωτεχνικοί υπολογισμοί

Η γεωτεχνική μελέτη της κατάκωσης περιλαμβάνει υπολογισμούς για την εξωτερική και εσωτερική ευστάθεια της οπλισμένης επίκωσης:

α) εξωτερική ευστάθεια

Στα πλαίσια των υπολογισμών εξωτερικής ευστάθειας γίνεται έλεγχος σε ολίσθηση του τεμάχους της οπλισμένης επίκωσης επί του γεωϋφάσματος διαχωρισμού της έδρασης. Για τον έλεγχο λαμβάνεται γωνία τριβής διαχωρισμού στην έδραση-εδαφικού υλικού επίκωσης $\delta=30^\circ$. Από τον έλεγχο προέκυψε επαρκής συντελεστής ασφαλείας (υπό στατικές συνθήκες) $FS_{ds}=1.60$. Για τον εν λόγω υπολογισμό ελήφθη (συντηρητικά) γωνία πρानούς έδρασης της επίκωσης $\beta=20^\circ$. Ο έλεγχος ολίσθησης του οπλισμένου τεμάχους υπό σεισμική δράση παρουσιάζεται εκτενώς στην παράγραφο 3.4 της παρούσης εργασίας. Έλεγχοι ανατροπής και φέρουσας ικανότητας κρίνεται ότι παρέλκουν.

β) εσωτερική ευστάθεια

Με τον έλεγχο εσωτερικής ευστάθειας, καθορίζεται η απαιτούμενη εφελκυστική αντοχή κάθε στρώσης όπλισης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της όπλισης, καθώς και η διάταξή της.

Ειδικότερα, ο έλεγχος της εσωτερικής ευστάθειας περιελάμβανε τους ακόλουθους υπολογισμούς:

- υπολογισμός του απαιτούμενου επιτρεπόμενου αξονικού φορτίου γεωπλέγματος ανά στρώση οπλισμού
- υπολογισμός του του μέγιστου αξονικού φορτίου γεωπλέγματος βάσει της δυσμενέστερα καταπονούμενης στρώσης οπλισμού
- υπολογισμός απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης γεωπλέγματος (L_e)
- υπολογισμός παθητικού μήκους γεωπλέγματος (L_R)
- υπολογισμός συνολικού απαιτούμενου μήκους γεωπλέγματος, L ($L = L_e + L_R$)
- υπολογισμός μήκους αναδίπλωσης γεωπλέγματος (L_o)

Πίνακας 1: Στοιχεία του γεωπλέγματος όπλισης της επίκωσης του Αρρηφορίου

Table1: Description of geogrid for reinforcement of Arrephorion backfill

Αριθμός στρώσης	Βάθος από τη	Απόσταση οπλισμών (m)	L_e (m)	L_R (m)	L (m)	L_o (m)	Απαιτούμενη
-----------------	--------------	-----------------------	-----------	-----------	---------	-----------	-------------

	στέψη (m)						αντοχή (kN/m)
1	0.25	0.5	0.26	4.05	4.31	1	4.11
2	0.75	0.5	0.28	3.60	3.88	1	6.85
3	1.25	0.5	0.29	3.14	3.43	1	9.59
4	1.75	0.5	0.30	2.69	2.99	1	12.33
5	2.25	0.5	0.30	2.24	2.54	1	15.07
6	2.75	0.5	0.57	2.39	2.95	1	33.30
7	3.25	0.5	0.50	2.39	2.89	1	33.30
8	3.75	0.5	0.44	2.23	2.67	1	33.30
9	4.25	0.5	0.40	1.72	2.12	1	33.30
10	4.75	0.5	0.38	1.46	1.83	1	33.30

Τα αποτελέσματα των ανωτέρω υπολογισμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Ειδικότερα, η όπλιση κάθε στρώσης πρέπει: α) να παραλαμβάνει ασφαλώς τα οριζόντια φορτία από την ενεργητική ώθηση της εκάστοτε εδαφικής σφήνας που προκύπτει ανάντη της υπό εξέταση στρώσης όπλισης (έλεγχος οριακής ισορροπίας της σφήνας), και, β) η αγκύρωση της όπλισης να γίνεται εντός ευσταθούς μάζας επίχωσης προκειμένου να είναι σε θέση να αναπτύξει την απαιτούμενη δύναμη σταθεροποίησης (σύνθετη ανάλυση για τον προσδιορισμό της δυσμενέστερης από γεωμετρική άποψη ενεργητικής σφήνας για την εξεταζόμενη στρώση οπλισμού).

Οι υπολογισμοί εσωτερικής ευσταθείας περιλαμβάνουν τις ακόλουθες παραδοχές:

Συντελεστές ασφαλείας:

1. Συνολικός συντελεστής ασφαλείας του γεωπλέγματος έναντι απομείωσης της αξονικής αντοχής **PIRF = 2.40** ($PIRF = PIRF_{ID} \cdot PIRF_D \cdot PIRF_{CR} \cdot PIRF_S = 1.05 \cdot 1.10 \cdot 1.60 \cdot 1.30$, που αναφέρονται σε επιμέρους συντελεστές ασφαλείας εν σχέσει προς την τοποθέτηση, τη βιοχημική δράση, το μακροχρόνιο ερπυσμό και την ονομαστική αξονική αντοχή του γεωπλέγματος αντίστοιχα).
2. Συντελεστής ασφαλείας έναντι εξόλκευσης του αγκυρωμένου πλέγματος: **$F_{s,po} = 1.50$**
3. Συντελεστής αλληλεπίδρασης γεωπλέγματος - εδαφικής επίχωσης σε εξόλκευση: **$C_i = 0.95$**

4. Συντελεστής αλληλεπίδρασης εδαφικής επίχωσης-γεωτεχνικής ενότητας θεμελίωσης, σε ολίσθηση: **$C_{Ds} = 0.90$**

5. Συντελεστής ασφαλείας έναντι διατμητικής αντοχής κοκκώδους υλικού επίχωσης: **$FS_{ss} = 1.30$** ($\tan(\varphi'_d) = \tan(\varphi'_{max})/1.30$)

6. Διάρκεια ζωής της επίχωσης **$t = 120$ έτη**

Γεωτεχνικές παράμετροι διατμητικής αντοχής (κατά παραδοχή):

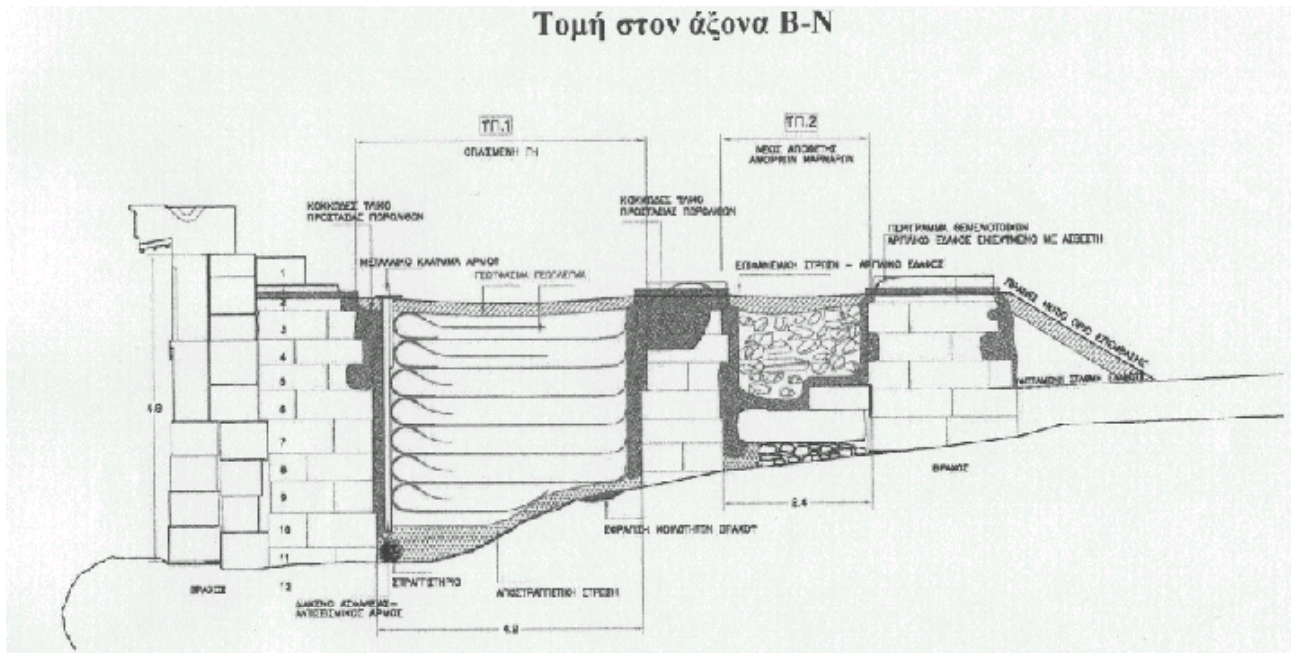
1. Κοκκώδες εδαφικό υλικό επίχωσης: $c' = 0$, $\varphi' = 38^\circ$
2. Ασβεστολιθικό υπόβαθρο έδρασης της επίχωσης: $c' = 100$ kPa, $\varphi' = 45^\circ$

Γεωμετρικά στοιχεία:

1. οι υπολογισμοί γίνονται στη δυσμενέστερη (από άποψη ύψους επίχωσης) διατομή της προς κατάχωση περιοχής, όπου η οπλισμένη επίχωση έχει ύψος πρανούς: $H = 5.00$ m (Σχ.3: ΤΟΜΗ Βορράς-Νότος)
2. κλίση πρανούς: $\theta = 90^\circ$ (κατακόρυφο)
3. κλίση στέψης πρανούς: $i = 0^\circ$ (οριζόντια στέψη)
4. Απόσταση μεταξύ οπλισμών: $s_v = 0.50$ m (ώστε να μην απαιτείται δευτερεύων οπλισμός)

Στοιχεία φόρτισης:

1. κατακόρυφο φορτίο στεγανωτικής επικάλυψης και ανθρωποσυνωστισμού: $q = 10$ kPa
2. Σεισμικά φορτία: $a_h = 0.26$, $a_v = 0.13$ (όπως αναλύεται στην επόμενη παράγραφο)



Σχήμα 3: Τομή στον άξονα Βορράς-Νότος
 Figure 3: Cross – section in the axis North-South

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό της HUESKER SYNTHETICS (Forslope 1.2 (2002)). Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Σημειώτεον, ότι τα ανωτέρω αποτελέσματα επαληθεύτηκαν με απλούστερες υπολογιστικές μεθόδους (κωδικοποιημένες σε φύλλα EXCEL από τον γράφοντα), όπως προτείνονται από τον Koerner (Koerner, 1998) για τον υπολογισμό επιχωμάτων με σπλισμό από γεώπλεγμα.

Από τους υπολογισμούς αξονικής αντοχής του γεωπλέγματος προέκυψε ότι γεώπλεγμα τύπου FORTRAC 80/30 ή ισοδύναμο καλύπτει τις απαιτήσεις του σχεδιασμού με ασφάλεια. Επιπλέον, στα πλαίσια του γεωτεχνικού σχεδιασμού του έργου της κατάχωσης εξετάσθηκαν θέματα, όπως:

- η επαρκής στράγγιση των υπόγειων χώρων,
- η απομόνωση του μνημείου από την επίχωση με κατάλληλα γεωυφάσματα διαχωρισμού,
- η επιφανειακή προστασία από κατεΐσδυση ομβρίων,
- η προστασία των δομικών υλικών του Αρρηφορίου με απλές φυσικές μεθόδους, καθώς και
- η επιλογή των γεωυφασμάτων για την υλοποίηση των ανωτέρω.
- η κατάλληλη επιλογή εδαφικών υλικών για την υλοποίηση της κατάχωσης

Σημειώτεον, τέλος, ότι οι γεωτεχνικοί υπολογισμοί, για την περίπτωση σεισμικής δράσης, βασίζονται στις προβλέψεις του ΕΑΚ2000 δεδομένου ότι η κατάχωση αποτελεί ουσιαστικά μία νέα κατασκευή εντός του μνημείου.

3.4 Υπολογισμός σεισμικών δράσεων και μονίμων μετακινήσεων λόγω σεισμού

Για τον υπολογισμό των μόνιμων μετακινήσεων της σπλισμένης επίχωσης εφαρμόζεται η μέθοδος Ambroseys et Menu (1988) η οποία υπολογίζει μετακινήσεις πρανών υπό σεισμική δράση. Η εν λόγω μέθοδος χρησιμοποιεί ως βασικές παραμέτρους α) την οριακή επιτάχυνση μετακίνησης a_y , όπως καθορίζεται κατά τον υπολογισμό μετακίνησης τεμάχους κατά Newmark (Newmark, 1965) και β) την μέγιστη επιτάχυνση του πρανούς (εν προκειμένω βάσει ΕΑΚ2000):

α) Υπολογισμός οριακής επιτάχυνσης μετακίνησης a_y

Ο υπολογισμός της οριακής επιτάχυνσης μετακίνησης a_y (για μετακίνηση προς την κατάντη πλευρά του τεμάχους) προκύπτει ως ακολούθως:

$$a_y = k_y \cdot g ,$$

όπου, $k_y = \tan(\varphi - \beta)$, β η γωνία της κεκλιμένης επιφάνειας έδρασης της σπλισμένης επίχωσης, και, $\varphi = \eta$ γωνία διατμητικής αντοχής στη διεπιφάνεια του εδαφικού υλικού της σπλισμένης επίχωσης επί του γεωυφάσματος διαχωρισμού της έδρασης, $\varphi' = 30^\circ$.

Για την μελετώμενη περίπτωση λαμβάνεται συντηρητικά η μέγιστη κλίση που παρουσιάζει το βραχώδες πρανές έδρασης της οπλισμένης επίχωσης στη δυσμενή διατομή (Σχ.3:ΤΟΜΗ Βορράς-Νότος): $\beta = 20^\circ$.

Κατόπιν των ανωτέρω: $a_y = k_y \cdot g = \tan(\varphi - \beta) \cdot g = \tan(30 - 20) \cdot g = 0.176g$

β) Σεισμικές δράσεις σχεδιασμού

Σύμφωνα με το Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 2003) η περιοχή κατασκευής του εξεταζόμενου τεχνικού έργου γεφύρωσης (T1) υπάγεται κατ' αρχήν στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας "I" με σεισμική επιτάχυνση **A=a.g = 0.16 g**.

Η ανωτέρω τιμή αντιστοιχεί σε έργα συνήθους σπουδαιότητας ($\gamma_i=1.0$), με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια, ενώ επιπλέον δεν λαμβάνεται υπόψιν τυχόν επιρροή της γεωμορφολογίας.

Ειδικότερα στην μελετώμενη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψιν τη σημασία του προς κατάχωση μνημειακού χώρου, υιοθετήθηκε συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_i=1.3$.

Επίσης, με δεδομένο ότι το έργο σχεδιάζεται για διάρκεια ζωής τουλάχιστον 120 ετών (περίοδος που καθορίζεται από την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής των γεωσυνθετικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της επίχωσης) έγινε κατ' εκτίμηση **προσαύξηση** της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού **κατά 20%** για να ληφθεί υπόψιν η πιθανότητα υπέρβασης της επιτάχυνσης του υποβάθρου στο εν λόγω χρονικό διάστημα.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι, η επίδραση της γεωμορφολογίας (δηλαδή το ανάγλυφο του λόφου της Ακρόπολης) αναμένεται να οδηγήσει σε ενίσχυση της επιφανειακής επιτάχυνσης. Για να ληφθεί υπόψιν η δυσμενής επιρροή της γεωμορφολογίας στην εκδήλωση επιφανειακών επιταχύνσεων έγινε επίσης κατ' εκτίμηση **προσαύξηση** της επιφανειακής σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού **κατά 20%**.

Κατόπιν των ανωτέρω, η επιφανειακή εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού για τη μελέτη του υπόψιν έργου καθορίστηκε ως:

$$A = a.g = 0.16 * 1.3 * 1.2 * 1.2 g = 0.30g.$$

Ο σχεδιασμός της οπλισμένης επίχωσης γίνεται με βάση την παράγραφο 5.4 ("πρανή - αναχώματα") του ισχύοντος ΕΑΚ 2000.

Ειδικότερα, σχετικά με τη μεθοδολογία που θα πρέπει να ακολουθείται για τον αντισεισμικό σχεδιασμό επιχωμάτων, αναφέρονται στον Ε.Α.Κ. τα εξής:

Στην παράγραφο 5.4.1 ορίζεται ότι "Η ευστάθεια φυσικών ή τεχνητών πρανών κατά τον σεισμικό κραδασμό θα ελέγχεται με θεώρηση των

ακόλουθων πρόσθετων ενεργών επιταχύνσεων που δρουν στην εδαφική μάζα.

Οριζόντια	$a_h = a_\pi$
Κατακόρυφη	$a_v = \pm 0.50 a_\pi$

όπου a_π είναι η σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού του πρανούς ή του επιχώματος, που λαμβάνεται **ίση με 0.5a για φυσικά πρανή** ή ίση με: **$(a_B + a_K)/2$ για πρανή αναχωμάτων της 5.4.2"**.

Στην παράγραφο 5.4.2, η οποία αναφέρεται ειδικότερα στα αναχώματα, ορίζει τα εξής: "Η ευστάθεια αναχωμάτων ελέγχεται με θεώρηση πρόσθετων οριζοντίων ενεργών επιταχύνσεων της μάζας τους, που μεταβάλλονται από **$a_B=0.5a$** στην βάση, μέχρι **$a_K = a_B * \beta(T)$** στην κορυφή του αναχώματος."

Η μεταβολή των οριζόντιων ενεργών επιταχύνσεων καθ' ύψος της μάζας του επιχώματος λαμβάνεται : Για την περιοχή του υπόψιν επιχώματος όπως καθορίστηκε ανωτέρω προτείνεται επιφανειακή επιτάχυνση σχεδιασμού $A = a.g = 0.30 g$ και επομένως ισχύουν τα παρακάτω:

$$a_B = 0.5 \cdot a = 0.15 \text{ στη βάση της επίχωσης}$$

$$a_K = a_B \cdot \beta(T) = 0.15 \cdot 2.50 = 0.375 \text{ στην κορυφή του επιχώματος}$$

όπου $\beta(T) = 2.50$ ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης

Να σημειωθεί ότι η τιμή $\beta(T)=2.50$ προκύπτει σύμφωνα με την παράγραφο 5.4.2 του ΕΑΚ 2000 για,

$$a) \text{ ιδιοπερίοδο επιχώματος } T=2.5H/Vs = 2.5 \cdot (4m \div 5m) / 300m/s = 0.333s \div 0.416s$$

όπου, H = το ύψος της επίχωσης, και Vs = η (κατ' εκτίμηση) μέση ταχύτητα διάδοσης διαμητικών κυμάτων στο επίχωμα για καλά συμπυκνωμένο αμμοχάλικο, και

β) για κατηγορία εδάφους έδρασης της επίχωσης "Α".

Από τα ανωτέρω προκύπτει τιμή $\beta(T)$ κυμαινόμενη από 2.40 -2.50, οπότε, επί το δυσμενέστερο λαμβάνεται **$\beta(T)=2.50$, $a_h = 0.263$** (μέση οριζόντια συνιστώσα) **και $a_v = 0.132$** .

Οριζόντια σεισμική επιτάχυνση	$a_h = a_\pi = 0.263 g$
Κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση	$a_v = 0.50 a_\pi = 0.132 g$

Υπολογισμός της μετακίνησης u λόγω σεισμικής δράσης σχεδιασμού

Ο υπολογισμός της μετακίνησης u του τεμάχους οπλισμένης επίχωσης λόγω της σεισμικής δράσης σχεδιασμού, υπολογίζεται κατά Ambraseys et Menu (1988), ως ακολούθως:

$\sigma_{\log u} = \eta$ τιμή τυπικής απόκλισης

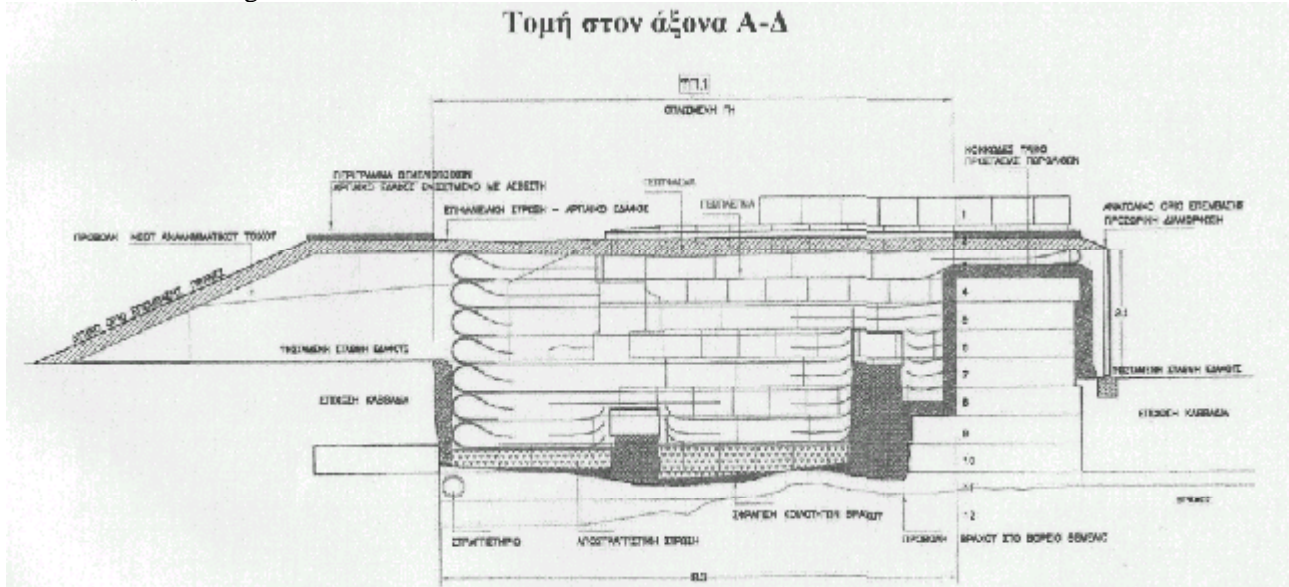
$$\log u(\text{cm}) = 0.90 + \log \left[\left(1 - \frac{a_y}{a_{\max}} \right)^{2.53} \left(\frac{a_y}{a_{\max}} \right)^{-1.09} \right]$$

Από την εφαρμογή της ανωτέρω εξίσωσης προκύπτει: $\log u = -0.125$

$$\sigma_{\log u} = 0.30$$

$$\text{όπου: } a_y = 0.176g$$

$$a_{\max} = 0.263g$$



Σχήμα 4: Τομή στον άξονα Ανατολή-Δύση
Figure 4: Cross – section in the axis East-West

Λαμβάνοντας συντηρητικά τιμή σχεδιασμού $\log u_d = \log u + 2$. $\sigma_{\log u} = 0.475$
προκύπτει τιμή μόνιμης μετακίνησης: u_d (cm) = **2.98cm**

Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν αντίστοιχη ίση μετακίνηση από την πλευρά του θεμελιότοιχου προς την οπλισμένη επίχωση (παράγραφος 4.1.7.2 του ΕΑΚ2000).

Επομένως, προκειμένου να μην αναπτυχθούν ωθήσεις επί του βορείου θεμελιότοιχου του Αρρηφορίου (και κατ' επέκταση επί του εν επαφή τμήματος του βορείου τείχους, απαιτείται η δημιουργία αντισεισμικού αρμού, πλάτους τουλάχιστον 6.0 cm, με πλήρωση από ιδιαίτερα παραμορφωτό συνθετικό υλικό.

Ο αρμός αυτός προσαυξάνεται κατά το μήκος που αντιστοιχεί στην παραμόρφωση της όψης του πρίσματος λόγω δράσης της αξονικής έντασης σχεδιασμού σε μακροχρόνιες συνθήκες (κατάσταση ερπυσμού).

Για το επιτρεπόμενο αξονικό φορτίο λειτουργίας του γεωπλέγματος αντιστοιχεί μακροχρόνια παραμόρφωση της τάξης 2-3%, που αντιστοιχεί για συμβατικό μήκος αγκύρωσης 2m σε επιμήκυνση 4-6cm.

Από τα ανωτέρω προκύπτει απαίτηση για αρμό με ελάχιστο πλάτος **b = 10 cm**.

Εν τούτοις, προκειμένου να ληφθεί τυχόν πρόσθετη κίνηση στην στέψη της επίχωσης λόγω ταλάντωσης (εφόσον δηλαδή η οπλισμένη επίχωση δεν λειτουργήσει ως στερεό σώμα), επελέγη ο αρμός να προσαυξηθεί κατά 50% στο ανώτερο τμήμα της επίχωσης και να κλιμακωθεί σε δύο επίπεδα.

Συγκεκριμένα:

- α) από τη στέψη της επίχωσης και έως βάθους 2m υλοποιείται αρμός **b=15cm**, και
- β) από βάθους 2m από τη στέψη της επίχωσης έως την έδραση της επίχωσης υλοποιείται αρμός **b=10cm**,

4. ΥΛΙΚΑ-ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Συνοπτικά η τεχνική λύση κατάχωσης με οπλισμένη επίχωση (σχετικά δεξ, Σχ.2: σχέδιο ΚΑΤΟΨΗΣ, Σχ.3:ΤΟΜΗ Βορράς-Νότος και Σχ.4:ΤΟΜΗ Ανατολή-Δύση) περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Διαμόρφωση του δαπέδου της κατάχωσης με τοποθέτηση ισοπεδωτικής στρώσης από αμμοχάλικο (ΠΤΠ Ο150) επί του βράχου και επικάλυψη με αδιαπέρατη στεγανωτική μεμβράνη («αυγουλιέρα») ώστε να αποφεύγεται η τοπική λίμναση υδάτων.

Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργούνται κατάλληλες ρύσεις για τα εισρέοντα ύδατα προς το στραγγιστήριο της κεντρικής αίθουσας (ΥΠ1).

2. Διάστρωση του γεωφάσματος διαχωρισμού για επικάλυψη της προς κατάχωση περιοχής. Ειδικά η επικάλυψη των θεμελιότοιχων γίνεται με παρεμβολή κοκκώδους υλικού (καθαρής άμμου) μεταξύ θεμελιότοιχων και γεωφάσματος ώστε α) να αποφεύγεται η απευθείας επαφή θεμελιότοιχων και γεωφάσματος και β) να δημιουργείται καλύτερη προσαρμογή του γεωφάσματος επί της ακανόνιστης παρειάς των θεμελιότοιχων. Σημειωτέον ότι ως γεωφάσμα διαχωρισμού για την επένδυση των δομικών μελών του Αρρηφορίου και τον διαχωρισμό της οπλισμένης επίχωσης, επελέγη μη υφαντό γεωφάσμα, βελονωτό, βάρους μεγαλύτερου των 285 gr/m², εφελκυστικής αντοχής μεγαλύτερης ή ίσης των 7kN/m (κατά DIN 53857/2) ή 350N/cm (κατά EN ISO 10319), αντοχής σε διάτρηση ή ίσης των 1000N (κατά DIN 54307 ή κατά EN ISO 12236), με επιμήκυνση στη θραύση $\epsilon_r > 60\%$ (κατά DIN 53857/2) και με εγκάρσια διαπερατότητα κατ' ελάχιστον $k = 10 \text{ l} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Βάσει των ανωτέρω επελέγη η χρησιμοποίηση γεωφάσματος Polyfelt TS65 ή ισοδύναμου.
3. Κατασκευή της στραγγιστικής στρώσης (υλικό της ΠΤΠΟ150 με ποσοστό λεπτοκόκκου <3%) επί του διαχωριστικού γεωφάσματος του δαπέδου με κατάλληλη κλίση απορροής ώστε να απομακρύνονται τα εντός της επίχωσης διεισδύοντα ύδατα.
4. Κατασκευή στραγγιστηρίου, στη βόρεια πλευρά της κεντρικής αίθουσας, με δημιουργία αγωγού, διαμέτρου 20cm, από χονδρόκοκκο υλικό υψηλής διαπερατότητας (χάλικες 12-60mm), περιβαλλόμενο από γεωφάσμα στραγγιστηρίου. Στην κατάληξη του στραγγιστηρίου τοποθετείται εγκάρσια, με διάνοιξη οπής στη βορειοδυτική γωνιά της ΥΠ1, διάτρητος τσιμεντοσωλήνας, διαμέτρου 20cm, και μήκους 1m, ο οποίος περιβάλλεται από το γεωφάσμα στραγγιστηρίου. Το στόμιο του σωλήνα εξέρχεται κατά 20-30cm από την εξωτερική επιφάνεια του θεμελιότοιχου

ώστε η απορροή να μην επιδρά δυσμενώς στους υποκείμενους αρχαίους πωρόλιθους θεμελίωσης.

Ως γεωφάσμα για την επένδυση του στραγγιστηρίου, επελέγη μη υφαντό, βελονωτό, γεωφάσμα, βάρους μεγαλύτερου των 135 gr/m², εφελκυστικής αντοχής μεγαλύτερης ή ίσης των 7kN/m (κατά DIN 53857/2) ή 350N/cm (κατά EN ISO 10319), αντοχής σε διάτρηση ή ίσης των 1000N (κατά DIN 54307 ή κατά EN ISO 12236), με επιμήκυνση στη θραύση $\epsilon_r > 60\%$ (κατά DIN 53857/2), χαρακτηριστικού ανοίγματος πόρων $O_{95} < 200\mu\text{m}$, και με εγκάρσια διαπερατότητα κατ' ελάχιστον $k = 70 \text{ l} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$

Βάσει των ανωτέρω επελέγη η χρησιμοποίηση γεωφάσματος Polyfelt TS30 ή ισοδύναμου.

5. Τοποθέτηση γεωφάσματος διαχωρισμού στην άνω επιφάνεια της στραγγιστικής στρώσης για προστασία από τυχόν διείσδυση λεπτοκόκκων.
6. Κατασκευή οπλισμένης επίχωσης επί του διαχωριστικού γεωφάσματος με διαδοχικές στρώσεις συμπυκνωμένου κατάλληλου εδαφικού υλικού πάχους 25cm και γεωπλέγματος. Ο διαδοχικές στρώσεις γεωπλέγματος τοποθετούνται σε απόσταση 50cm μεταξύ τους (ανά δύο στρώσεις συμπυκνωμένου εδαφικού υλικού επίχωσης), με την κύρια εφελκυστική αντοχή στη διεύθυνση Β-Ν. Η διαμόρφωση της όψης της επίχωσης γίνεται με αναδίπλωση του γεωπλέγματος με τη χρήση κατάλληλων αντιστηρικτικών διατάξεων. Το μήκος αναδίπλωσης εκτείνεται κατ' ελάχιστον ένα μέτρο από την όψη εντός της εδαφικής μάζας της επίχωσης. Προκειμένου να εγκιβωτιστεί το υλικό της επίχωσης και να μη διαρρέει από τις οπές του γεωπλέγματος προβλέπεται η τοποθέτηση γεωφάσματος διαχωρισμού (TS65 ή ισοδύναμου) εντός του γεωπλέγματος και εν επαφή, το οποίο παρακολουθεί το γεωπλέγμα κατά το τμήμα της αναδίπλωσης (δηλαδή έχει μήκος 1m κατ' ελάχιστο στο κύριο επίπεδο του γεωπλέγματος συν το μήκος της όψης συν 1m στο επίπεδο της αναδίπλωσης του γεωπλέγματος). Η αναδίπλωση γεωπλέγματος εφαρμόζεται και στην εγκάρσια διεύθυνση (Ανατολή – Δύση),

(Σχ.4: TOMH Ανατολή-Δύση), προκειμένου σε κάθε περίπτωση η οπλισμένη επίχωση να εξασφαλίζεται έναντι διαρροής εδαφικού υλικού. Οι εδαφικές στρώσεις της επίχωσης, πάχους 25 cm, συμπυκνώνονται επαρκώς (τουλάχιστον 95% της τροποποιημένης δοκιμής Proctor). Ειδικά στην περιοχή της όψης (βόρεια πλευρά της επίχωσης), στην περιοχή επαφής της οπλισμένης επίχωσης με τον θεμελιότοιχο μεταξύ ΥΠ1 και ΥΠ2 (αλλά και στην επαφή με τον ανατολικό και δυτικό θεμελιότοιχο της ΥΠ1) και στην επαφή της επίχωσης με τους εγκάρσιους θεμελιότοιχους εντός της ΥΠ1, προβλέπεται ελαφρά συμπύκνωση με ιδιαίτερη επιμέλεια. Η πρόβλεψη αυτή αποσκοπεί αφενός στο να μην δημιουργηθεί υπερβολική ένταση στα φύλλα γεωπλέγματος και αφετέρου στο να μειωθούν οι ωθήσεις επί των εν επαφή παρειών των θεμελιότοιχων. Στην περιοχή επαφής οπλισμένης επίχωσης και βόρειου θεμελιότοιχου γίνεται ειδική πρόβλεψη για την κατασκευή αντισεισμικού αρμού κλιμακούμενου πλάτους (15 cm από τη στέψη της ΟΓ έως βάθους 2m και 10cm ακολούθως, έως την έδραση της οπλισμένης επίχωσης) με την τοποθέτηση κατάλληλου πολύ συμπίεστου συνθετικού παρεμβλήματος από φύλλα διογκωμένης πολυστερίνης, πάχους 5cm. Στη στέψη του αρμού τοποθετείται με ελεύθερη έδραση οριζόντιο κάλυμμα πλάτους 45cm (λχ. μεταλλική αρμοκαλύπτρα από λαμαρίνα ελάχιστου πάχους 2mm) εκτεινόμενο από τη στέψη της επίχωσης έως την άνω επιφάνεια των δόμων του βόρειου θεμελιότοιχου και τοποθετημένο συμμετρικά ως προς τον αρμό. Επίσης, ειδική μέριμνα λαμβάνεται στις περιοχές επαφής της οπλισμένης επίχωσης με τους εγκάρσιους θεμελιότοιχους εντός της ΥΠ1, με την τοποθέτηση επιπλέον ενδιάμεσων στρώσεων γεωπλέγματος (δευτερεύουσα όπλιση), πλάτους ενός (1) μέτρου κατά μέγιστο (ή, όσο πλάτος επιτρέπει η γεωμετρία χώρου), ανά 50cm (μεταξύ δηλαδή των κυρίων στρώσεων όπλισης). Η απαίτηση αυτή δεν προκύπτει από υπολογισμούς, αλλά κρίνεται σκόπιμη για να βελτιωθεί η συνολική απόδοση της οπλισμένης επίχωσης στην περιοχή που δημιουργείται δαικοπή της κύριας όπλισης λόγω της παρεμβολής των εγκάρσιων θεμελιότοιχων. Η δευτερεύουσα αυτή

όπλιση, η οποία θα τοποθετηθεί περιμετρικά των εγκάρσιων θεμελιότοιχων (καθώς και ένα φύλλο γεωπλέγματος πάνω από τη στέψη τους, για μείωση της επίδρασης των υπερκείμενων στην εδαφική θεμελίωση των εγκάρσιων θεμελιότοιχων), έχει την κύρια διεύθυνση αντοχής του γεωπλέγματος, κάθετα στο κατακόρυφο επίπεδο των εγκάρσιων θεμελιότοιχων (παράλληλα δηλαδή με τη διεύθυνση του πλάτους των εγκάρσιων θεμελιότοιχων).

7. Επικάλυψη της οπλισμένης επίχωσης με γεωϋφασμα διαχωρισμού (TS65 ή ισοδύναμο) και ακολούθως τοποθέτηση σφραγιστικής στρώσης από εδαφικό υλικό χαμηλής περατότητας και δημιουργία κατάλληλης ρύσης ώστε να αποφεύγεται κατά το δυνατόν κατείσδυση των ομβρίων εντός της επίχωσης και να γίνεται ταχεία απορροή των επιφανειακών υδάτων.
8. Παράλληλα με την προοδευτική καθ' ύψος κατασκευή της οπλισμένης επίχωσης στην κεντρική αίθουσα (ΥΠ1) προχωρεί καθ' ύψος η επίχωση στο προστώο (ΥΠ2), ώστε να αποφεύγονται κατά το δυνατόν οι μονομερείς ωθήσεις γαιών επί του εσωτερικού διαχωριστικού θεμελιότοιχου των δύο αιθουσών. Ειδικότερα, για το προστώο (ΥΠ2) προβλέπεται επίχωση με τα άμορφα μάρμαρα από την αποχρωμάτωση του μνημείου. Ακολούθως, ο κενός υπολειπόμενος κενός χώρος καθώς και τα διάκενα μεταξύ των μαρμάρων θα πληρωθούν με κοκκώδες υλικό (χαλίκι διαμέτρου 12mm - 63mm) προκειμένου να είναι ευχερής η επαναφορά του χώρου στην αρχική κατάσταση σε μελλοντική απομάκρυνση της επίχωσης αλλά και να εξασφαλίζεται η ελεύθερη στράγγιση της περιοχής ΥΠ2. Μετά την ολοκλήρωση της επίχωσης τοποθετείται στη στέψη της διαχωριστικό γεωϋφασμα επί του οποίου απλώνεται και συμπυκνώνεται η στεγανωτική σφραγιστική στρώση.
9. Επέκταση της επίχωσης περιμετρικά του Αρρηφορίου. Ο περιβάλλον χώρος του Αρρηφορίου επιχώνεται με το εδαφικό υλικό που χρησιμοποιείται για την οπλισμένη επίχωση (ΠΤΠ Ο150 με συμπύκνωση στο 95% της τροποποιημένης δοκιμής Proctor). Η περιμετρική αυτή επίχωση διαμορφώνεται σε πρανές με μέγιστη κλίση 1:2 (ύψος:πλάτος).

10. Κατασκευή περιμετρικού στραγγιστηρίου στον πόδα των εξωτερικών πρανών της επίχωσης (για προστασία των πρανών της επίχωσης από τα όμβρια α) της εγγύς περιοχής και β) των καταβιβαζομένων από τα πρανή) με διάτρητο πλαστικό σωλήνα Φ100, περιβαλλόμενο από γεωϋφασμα διαχωρισμού, με περιμετρικό φίλτρο από λεπτόκοκκους χάλικες περιβαλλόμενο εξωτερικά επίσης από γεωϋφασμα διαχωρισμού.
11. Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της επίχωσης, γίνεται ως ακολούθως: α) τοποθετούνται μάρτυρες για την τοπογραφική παρακολούθηση καθιζήσεων στη στέψη της οπλισμένης επίχωσης και επί του εγκάρσιου τοίχου στην κεντρική αίθουσα, β) τοποθετείται οπτική ίνα για την παρακολούθηση παραμορφώσεων από τυχόν μετακίνηση του βόρειου τοίχου της κεντρικής αίθουσας, και, γ) τοποθετείται αισθητήρας πίεσης στη βάση της οπλισμένης επίχωσης για την παρακολούθηση τυχόν οριζοντιων ωθήσεων επί του βόρειου τοίχου της κεντρικής αίθουσας.

Οι εργασίες αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στα Σχήματα 2, 3 και 4 της παρούσης εργασίας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προκειμένου να προστατευθούν οι σωζόμενοι θεμελιότοιχοι του Αρρηφορίου Οίκου από τη δυσμενή δράση του εξωτερικού φυσικοχημικού περιβάλλοντος εκπονήθηκε γεωτεχνική μελέτη κατάχωσης του μνημείου.

Για τον σχεδιασμό της κατάχωσης ελήφθησαν υπόψιν α) οι βασικές αρχές της Χάρτας της Βενετίας β) η ελαχιστοποίηση τυχόν επιβάρυνσης του βορείου τείχους της Ακροπόλεως (του οποίου τμήμα εφάπτεται με το βόρειο θεμελιότοιχο του Αρρηφορίου) από τυχόν δυσμενή επίδραση της κατάχωσης (πλάγιες ωθήσεις γαιών) και γ) η αποθήκευση των άμορφων μαρμάρων από την αποχωμάτωση του Αρρηφορίου.

Για την επίτευξη των ανωτέρω επελέγη μέθοδος κατάχωσης της κεντρικής αίθουσας (ΥΠ1) (δες, Σχ.2: σχέδιο ΚΑΤΟΨΗΣ, Σχ.3:ΤΟΜΗ Βορράς-Νότος και Σχ.4:ΤΟΜΗ Ανατολή-Δύση) από οπλισμένη επίχωση με εδαφικό υλικό της ΠΤΠ Ο150 και τοποθέτηση γεωπλέγματος μέγιστης αξονικής αντοχής 80 kN/m, σε κατακόρυφες αποστάσεις 50cm. Η αποθήκευση των άμορφων

μαρμάρων γίνεται στα πλαίσια της χρησιμοποίησής τους ως μέρος της κατάχωσης του προστώου (ΥΠ2).

Η προστασία των θεμελιότοιχων από φυσικοχημική δράση των γεωσυνθετικών γίνεται με επικάλυψη από στρώση άμμου και ακόλουθη επικάλυψη με γεωϋφασμα διαχωρισμού.

Η εξάλειψη της επιβαρυντικής δράσης του ύδατος επιτυγχάνεται με την κατάλληλη διάστρωση στραγγιστικής στρώσης από υλικό της ΠΤΠ Ο150 (με ασήμαντο ποσοστό λεπτοκόκκων) στο δάπεδο των υπόγειων χώρων η οποία οδηγεί τυχόν ύδατα εκτός του μνημείου μέσω στραγγιστηρίου στη βόρεια πλευρά της κεντρικής αίθουσας.

Η επιφανειακή διαμόρφωση του χώρου της κατάχωσης γίνεται με αργιλική σφραγιστική στρώση, η οποία, εμποδίζει και την κατείδωση στον χώρο της κατάχωσης επιφανειακών ομβρίων.

Εν συνόψει, με την επιλεγείσα τεχνική λύση –η οποία σημειωτέον στηρίζεται κατά μείζονα λόγο στην εφαρμογή γεωσυνθετικών υλικών– εξασφαλίζονται:

- Πλήρης υπολογιστική τεκμηρίωση της τεχνικής λύσης
- Μεγάλη διάρκεια ζωής της κατάχωσης (ίση με 120 έτη).
- Προστασία των θεμελιότοιχων από φυσικοχημική δράση (με την εισαγωγή και διάταξη κατάλληλων υλικών). Σημειωτέον ότι η κατάχωση αποτελεί νέα κατασκευή και όχι επέμβαση στο μνημείο καθαυτό ώστε να είναι κατά τη γνώμη μας απόλυτα θεμιτή η χρησιμοποίηση υλικών που προσφέρει το τρέχον επίπεδο τεχνολογίας για την επίτευξη του άριστου αποτελέσματος.
- Προστασία του βόρειου τείχους στο τμήμα γειτονίας του με το βόρειο θεμελιότοιχο του Αρρηφορίου από τις δράσεις της κατάχωσης.
- Προστασία των τμημάτων από εγκάρσιους θεμελιότοιχους εντός των δύο υπόγειων χώρων (ΥΠ1 και ΥΠ2).
- Διατήρηση της υφιστάμενης φυσιογνωμίας του μνημείου.
- Πλήρης αναστρεψιμότητα (επαναφορά δηλαδή στην υφιστάμενη προ της κατάχωσης κατάσταση).
- Συστηματική παρακολούθηση της επίδρασης της επίχωσης επί του μνημείου με τοποθέτηση κατάλληλων συστημάτων μέτρησης πιέσεων, παραμορφώσεων και μετακινήσεων
- Λογικό κόστος κατασκευής.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι οι σεισμικοί υπολογισμοί βασίσθηκαν κατ' αρχήν σε

προβλέψεις του ΕΑΚ με κατάλληλες παρεμβάσεις (υπέρ της ασφαλείας) σε θέματα που σχετίζονται με την περίοδο υπέρβασης της τιμής του σεισμικού γεγονότος σχεδιασμού, τη σπουδαιότητα του μνημείου, και την εδαφική ενίσχυση λόγω τοπογραφικού αναγλύφου.

Τέλος, αξ σημειωθεί ότι η κατάχωση του μνημείου έχει ήδη (Ιανουάριος 2007) ολοκληρωθεί επιτυχώς και πλέον υπολείπονται οι τελικές εργασίες αρχιτεκτονικής διαμόρφωσης του χώρου βάσει σχετικής –εγκεκριμένης από το ΚΑΣ– αρχιτεκτονικής μελέτης (Μανιδάκη Β., 2006).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bowles E. Joseph, 1996. "Foundation analysis and design", Mc Graw Hill – International editions, 5th edition
- E.A.K. 2000. (2000) Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός –έκδοση 2000: ΦΕΚ 2184 Β'/20-12-1999
- EC-7 Ευρωκώδικας 7 (1995): Ευρωπαϊκός κανονισμός γεωτεχνικών έργων
- EC-8 Ευρωκώδικας 8 (1995): Ευρωπαϊκός αντισεισμικός κανονισμός
- Εγγλέζος, Δ.Ν. (2006), «Γεωτεχνική μελέτη κατάχωσης του Αρρηφορίου Οίκου», ΥΠ.ΠΟ./Υ.Σ.Μ.Α.
- Forslope 1.2 (2004), Software Code for design of reinforced walls and embankments, HUESKER SYNTHETICS, Germany
- Καββαδάς Μ., (2002), "Στοιχεία Εδαφομηχανικής" Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ελλάς.
- Koerner R.M. (1998), "Designing with Geosynthetics", Prentice Hall, 4th edition.
- Kramer S.L. 1996, "Geotechnical earthquake engineering"
- Lee W. Abramson, Tomas S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce. "Slope stability and Stabilization Methods".
- Leshchinsky, D., Ling, H. I., and Hanks, G. (1995) "Unified Design Approach to Geosynthetic-Reinforced Slopes and Segmental Walls", Geosynthetics International, Vol. 2, No. 5, 845-881.
- Leshchinsky, D. and Boedeker, R. H. (1989), "Geosynthetic reinforced earth structures", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 115(10), 1459-1478.
- Μανιδάκη Β. (2006), «Αρχιτεκτονική μελέτη κατάχωσης του Αρρηφορίου Οίκου», ΥΠ.ΠΟ./Υ.Σ.Μ.Α.