

Εφαρμογή της Μεθόδου της Οπλισμένης Γης στην Αποκατάσταση Χ.Α.Δ.Α. – Η Περίπτωση του Χ.Α.Δ.Α. Σύρου

The Use of Reinforced Earth in Landfill Final Closures – The Case of Syros Landfill

ΠΛΑΤΗΣ, Α.Δ. Πολιτικός Μηχανικός, M.Eng., ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε.
ΜΑΛΛΙΟΥ, Κ.Θ. Πολιτικός Μηχανικός, ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε.
ΠΛΑΤΗΣ, Δ.Α. Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc., ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Περιγράφεται η μέθοδος αύξησης της χωρητικότητας και αποφυγής εκσκαφών απορριμμάτων στα πλαίσια της τελικής αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Α.Δ.Α.) με τη δημιουργία μετωπικού οπλισμένου αναχώματος κατάλληλου ύψους. Παρουσιάζεται η περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου στο Χ.Α.Δ.Α. Σύρου, όπου δίδονται οι αρχές σχεδιασμού, η μέθοδος ανάλυσης, τα αποτελέσματα των αναλύσεων, οι προδιαγραφές κατασκευής και τέλος η περιγραφή της μεθόδου κατασκευής που ακολουθήθηκε.

ABSTRACT: The method of increasing the capacity and avoiding excavation of waste materials as part of the final closure of landfills with the use of a reinforced earth embankment of adequate height is described. The case of the Syros landfill is presented, where the method was applied. The design principles are detailed along with the method of analysis, the analysis results, the construction specifications and finally the construction method that was used.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα ανακοίνωση περιγράφεται η χρήση της μεθόδου της οπλισμένης γης στην τελική αποκατάσταση Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Α.Δ.Α.). Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για την κατασκευή μετωπικού οπλισμένου επιχώματος, το οποίο εντάσσεται στο σχεδιασμό της αποκατάστασης με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας και την αποφυγή κατά το δυνατόν εκσκαφών απορριμμάτων.

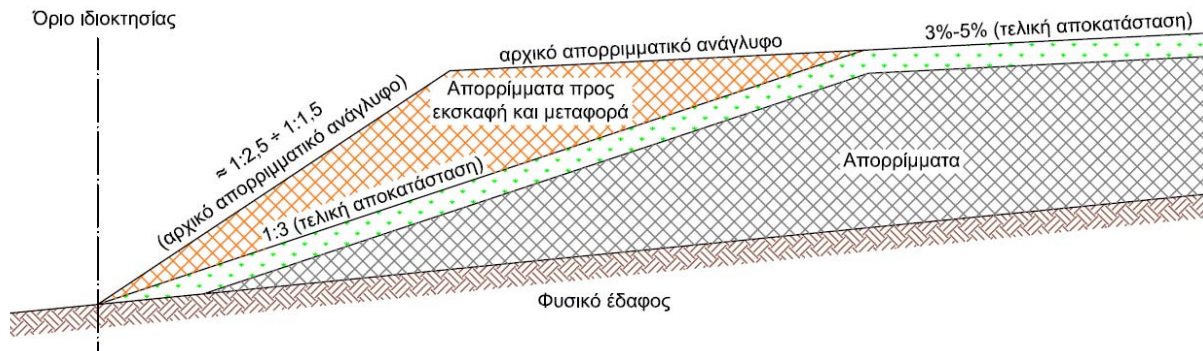
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όπως είναι γνωστό, στους Χ.Α.Δ.Α. ο συνήθης τρόπος διάθεσης των απορριμμάτων είναι αυτός της απλής απόρριψης, χωρίς να ακολουθούνται οι προβλεπόμενες από την κείμενη νομοθεσία κλίσεις διαμόρφωσης πρανών. Ως αποτέλεσμα αυτού οι κλίσεις των πρανών απορριμμάτων των Χ.Α.Δ.Α. είναι συνήθως ιδιαίτερα έντονες (της τάξης του 40-60%). Επίσης με δεδομένο το ότι οι περισσότεροι Χ.Α.Δ.Α. στην Ελλάδα είναι ενεργοί επί σειρά ετών μέχρι την τελική αποκατάστασή τους, ο όγκος των απορριμμάτων που έχει συσσωρευτεί είναι μεγάλος και σχεδόν πάντοτε εξαντλεί το διαθέσιμο χώρο, ενώ σε πολλές περιπτώσεις ακόμη και παραβιάζει τα όριά του.

Ως εκ τούτου κατά το σχεδιασμό αποκατάστασης των Χ.Α.Δ.Α. με τις προβλεπόμενες από την κείμενη νομοθεσία κλίσεις, οι οποίες είναι σχετικά ήπιες (έως 33% για τα πρανή και

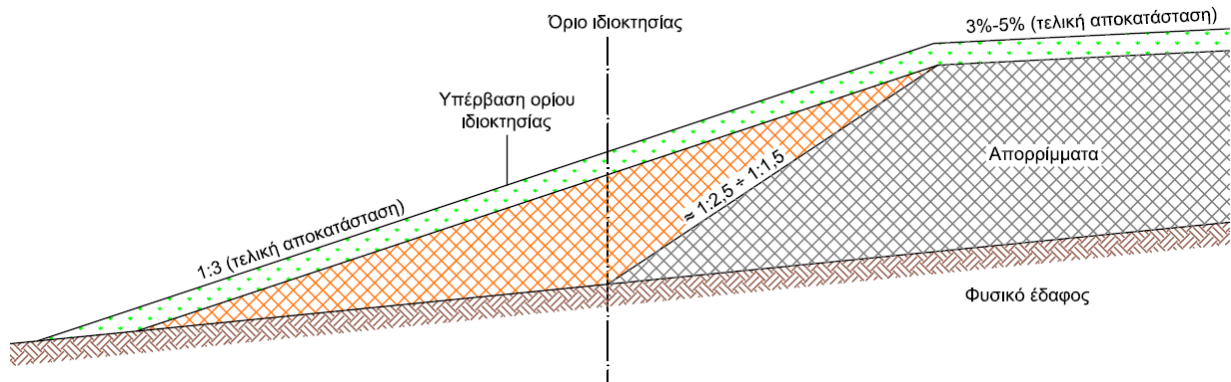
τουλάχιστον 3-5% για τη στέψη), προκύπτουν οι εξής πρακτικές δυσκολίες:

- Ανάγκη εκσκαφών μεγάλου όγκου απορριμμάτων για την επαναδιαμόρφωση της τελικής επιφάνειας του Χ.Α.Δ.Α. (βλ. σχήμα 1).
- Έλλειψη διαθέσιμου χώρου πέριξ του Χ.Α.Δ.Α. για την οριζόντια επέκτασή του και τη δημιουργία ηπιότερων κλίσεων με απλή επίχωση (βλ. σχήμα 2).
- Αδυναμία διάθεσης της περίσσειας των απορριμμάτων που δημιουργείται από την επαναδιαμόρφωση της τελικής επιφάνειας.
- Θέματα υγιεινής και ασφάλειας των εργαζομένων κατά την εκσκαφή και μεταφορά μεγάλου όγκου απορριμμάτων.



Σχήμα 1. Τυπική Τομή Χ.Α.Δ.Α. προς Αποκατάσταση με Εκσκαφή και Μεταφορά Απορριμμάτων.

Figure 1. Typical Section of a Landfill to be reformed and closed by Excavation and Transportation of Waste.



Σχήμα 2. Τυπική Τομή Χ.Α.Δ.Α. προς Αποκατάσταση με απλή Επίχωση με Υπέρβαση του Ορίου Ιδιοκτησίας.

Figure 2. Typical Section of a Landfill to be reformed and closed by simple Filling exceeding thus the Property Limits.

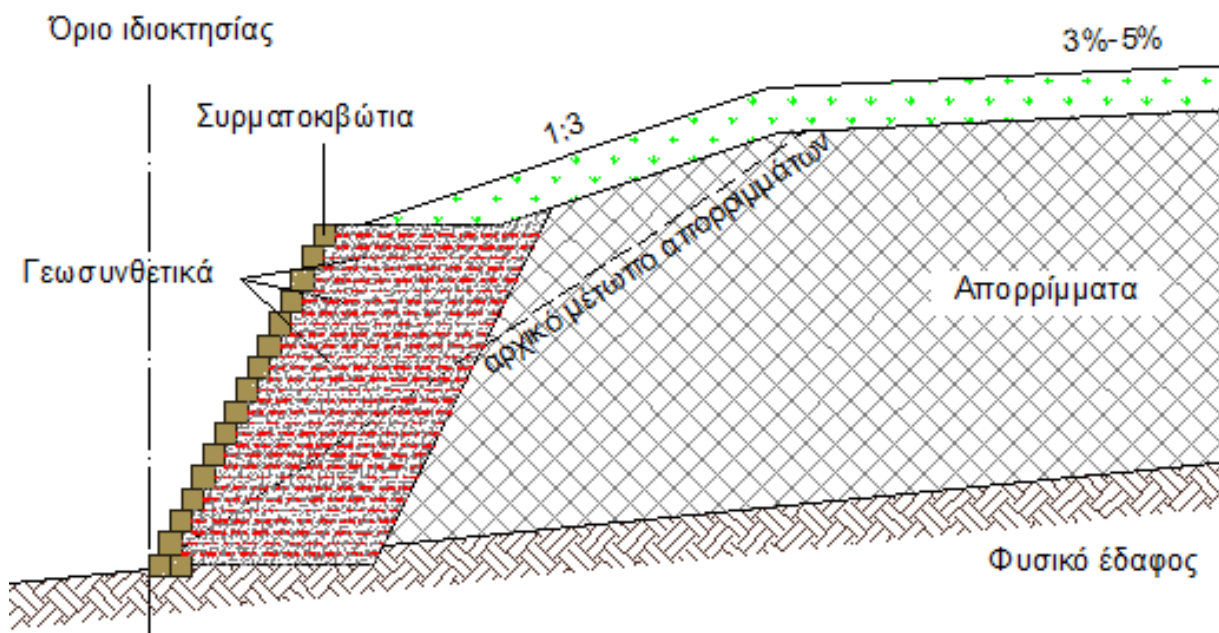
3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προαναφερθείσες δυσκολίες προτείνεται η δημιουργία ενός μετωπικού αναχώματος εγκλιβωτισμού με έντονη κλίση εξωτερικά (της τάξης του 200-250%), το οποίο κατασκευάζεται στο χαμηλότερο υψομετρικά σημείο της περιμέτρου του Χ.Α.Δ.Α., με σκοπό:

- Την αποφυγή εκτεταμένων εκσκαφών απορριμμάτων για την επαναδιαμόρφωση της τελικής επιφάνειας του Χ.Α.Δ.Α., τόσο από πλευράς υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων όσο και από πλευράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- Τη δημιουργία αποδεκτών κλίσεων του τελικού αναγλύφου ανάντη του μετωπικού αναχώματος με απλή επίχωση ή/και περιορισμένης έκτασης εκσκαφές.
- Τον περιορισμό του τελικά αποκατεστημένου Χ.Α.Δ.Α. εντός των διαθέσιμων ορίων της ιδιοκτησίας.

Για να υλοποιηθεί η κατασκευή του μετωπικού αναχώματος με έντονη κλίση εξωτερικά, έτσι ώστε αφενός μεν να περιοριστεί ο όγκος των υλικών κατασκευής του, αφετέρου δε να περιοριστεί το αποτύπωμά του επί του εδάφους (λόγω έλλειψης χώρου), το ανάχωμα οπλίζεται κατάλληλα με γεωσυνθετικά υλικά και το εξωτερικό μέτωπό του διαμορφώνεται με εύκαμπτα (για την καλύτερη παραλαβή των παραμορφώσεων) και μεγάλης διαπερατότητας μετωπικά στοιχεία (για την καλύτερη στράγγιση τόσο του αναχώματος όσο και της επιφανειακής απορροής του τελικού αποκατεστημένου αναγλύφου του Χ.Α.Δ.Α. – βλ. σχήμα 3).



Σχήμα 3. Διαμόρφωση Μετωπικού Αναχώματος του Χ.Α.Δ.Α. με Οπλισμένη Γη.
Figure 3. Final Closure of the Landfill with a Reinforced Earth Embankment.

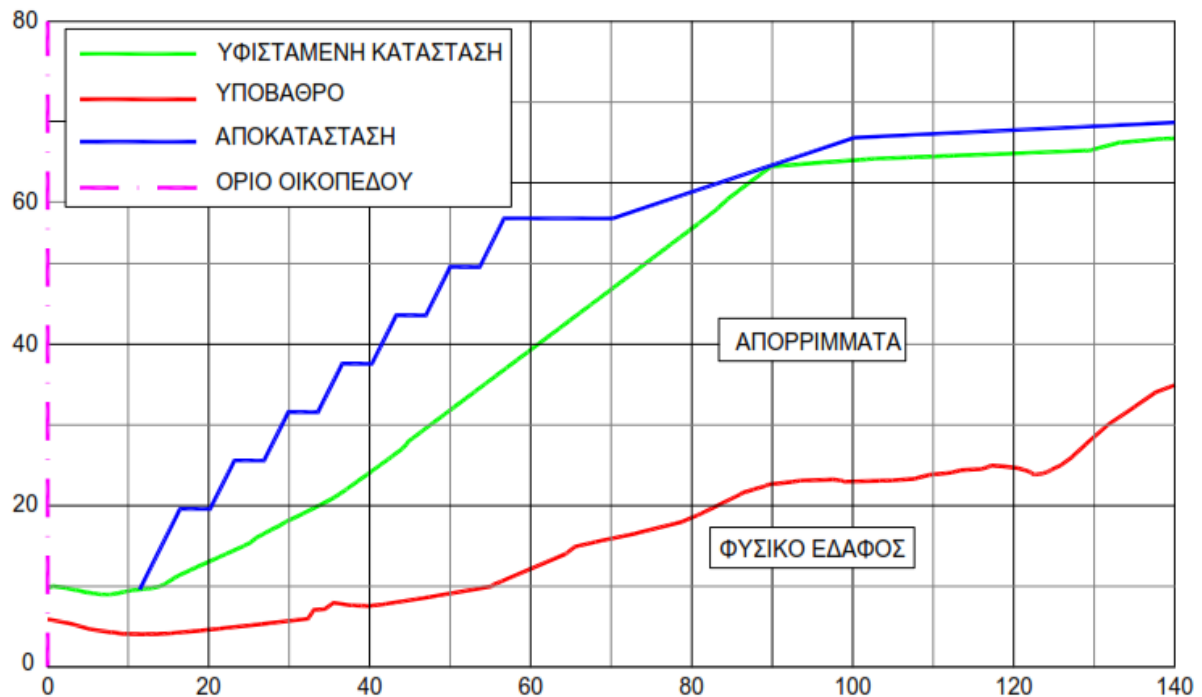
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ Χ.Α.Δ.Α. ΣΥΡΟΥ

Μία περίπτωση εφαρμογής των παραπάνω αποτελεί ο Χ.Α.Δ.Α. Σύρου, τα βασικά στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στα επόμενα.

4.1 Γενικά

Στα πλαίσια της μελέτης εφαρμογής του έργου «ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Χ.Δ.Α. ΣΥΡΟΥ» εκπονήθηκε από τους συγγραφείς (Δεκέμβριος 2007) Γεωτεχνική Μελέτη, η οποία αφορούσε στα έργα διαμόρφωσης/ενίσχυσης του μετωπικού αναχώματος του Χ.Δ.Α. με το σύστημα της οπλισμένης γης λόγω έλλειψης διαθέσιμου χώρου (βλ. σχηματική τομή στο σχήμα 4).

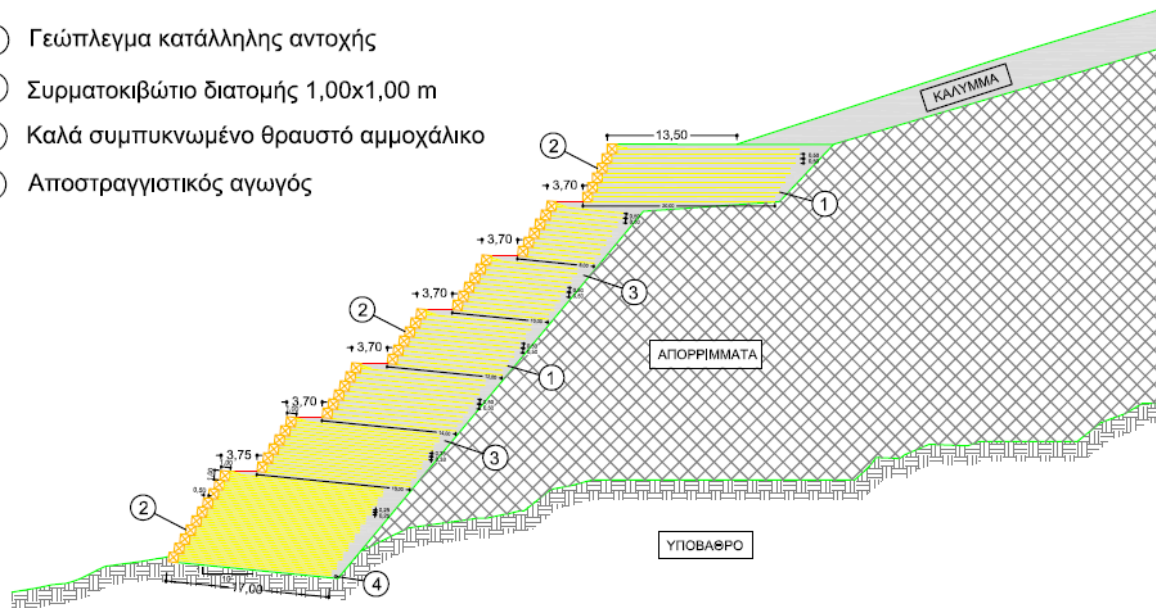
Η διαμόρφωση του μετωπικού αναχώματος στην περίπτωση αυτή (μεγίστου ύψους 46 m) έγινε με έναν αναβαθμό ύψους 10,00 m και πλάτους 3,75 m στη βάση του πρανούς και στη συνέχεια με αναβαθμούς ύψους 6,00 m και πλάτους 3,70 m μέχρι του τελικού ύψους. Το μέτωπο του πρανούς διαμορφώθηκε με συρματοκιβώτια διατομής 1,00x1,00 m, τα οποία τοποθετούνταν με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει μέση κλίση μετώπου 2:1 (κατ'οριζ). Ο οπλισμός του πρανούς αποτελείται από γεωπλέγματα, τα οποία τοποθετούνταν σε στρώσεις με κλίση 1:10 (κατ'οριζ) από την οριζόντιο, βυθιζόμενες προς το ανάχωμα, ανά 0,25-0,50 m ύψους πρανούς (βλ. σχήμα 5).



Σχήμα 4. Σχηματική Τομή Αποκατάστασης Χ.Α.Δ.Α. Σύρου.
Figure 4. Schematic Section of Syros Landfill Final Closure.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ① Γεώπλεγμα κατάλληλης αντοχής
- ② Συρματοκιβώτιο διατομής 1,00x1,00 m
- ③ Καλά συμπυκνωμένο θραυστό αμμοχάλικο
- ④ Αποστραγγιστικός αγωγός



Σχήμα 5. Τυπική Τομή Αποκατάστασης Χ.Α.Δ.Α. Σύρου με χρήση Οπλισμένης Γης.
Figure 5. Typical Section of Syros Landfill Final Closure with the use of Reinforced Earth.

4.2 Υλικά

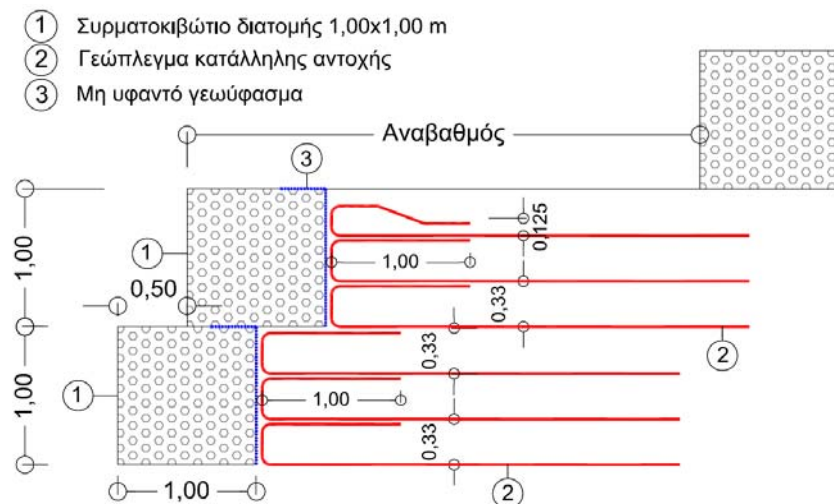
Το υλικό του οπλισμένου επιχώματος ήταν αμμοχαλικώδες, προερχόμενο από τα βραχώδη προϊόντα εκσκαφών του υποβάθρου της περιοχής (μάρμαρα, σχιστόλιθοι).

Το μήκος των οπλισμών (γεωπλεγμάτων) κυμαινόταν μεταξύ 7,00-19,00 m, ποικίλλοντας από θέση σε θέση.

Η αρχική (ονομαστική) εφελκυστική αντοχή των γεωπλεγμάτων κατά την κύρια διεύθυνση ήταν (T_{ult}) 50-150 kN/m.

Τα συρματοκιβώτια ήταν διατομής 1,00x1,00 m από γαλβανισμένο με κράμα αλουμινίου-ψευδαργύρου σύρμα, με εγκάρσια διαφράγματα ανά 1,00 m μήκους, πληρωμένα με λίθους.

Στο πίσω μέρος των συρματοκιβωτίων προβλέφθηκε η τοποθέτηση κατακόρυφα και επί του συρματοκιβωτίου (περίπου στο ήμισυ του πλάτους του) γεωυφάσματος φίλτρου προκειμένου να μην εισχωρεί το υλικό της επίχωσης εντός του συρματοκιβωτίου (βλ. σχήμα 6).



Σχήμα 6. Λεπτομέρειες Συρματοκιβωτίων και Γεωπλεγμάτων Οπλισμένου Επιχώματος.
Figure 6. Reinforced Earth Gabion and Geogrid Details.

Στην εσωτερική πλευρά του ποδός του οπλισμένου επιχώματος προβλέφθηκε η τοποθέτηση αποστραγγιστικού αγωγού ομβρίων επενδεδυμένου με μη υφαντό γεωύφασμα, διάτρητου κατά τα ανώτερα 2/3, ανθεκτικού για τοποθέτηση σε βάθος τουλάχιστον 30,00 m, για την καλύτερη αποστράγγιση του σώματος του επιχώματος.

Σημειώνεται ότι μεταξύ του πρανούς των απορριμμάτων και του οπλισμένου επιχώματος προβλέφθηκε η τοποθέτηση γεωσυνθετικού αργιλικού φραγμού (GCL) καθώς και αγωγού συλλογής στραγγισμάτων στον πόδα του πρανούς των απορριμμάτων.

4.3 Υπολογισμοί - Αναλύσεις

Η διαστασιολόγηση του οπλισμένου πρανούς περιελάμβανε αφενός μεν αναλύσεις γενικής ευστάθειας του τελικού απορριμματικού αναγλύφου σε στατική και σεισμική φόρτιση, αφετέρου δε ελέγχους του ίδιου του οπλισμένου επιχώματος, που αφορούσαν τη θραύση του εδάφους θεμελίωσης, την εκκεντρότητα, την ανατροπή, την αντίσταση των οπλισμών σε εξόλκευση, τον έλεγχο σε ολίσθηση, καθώς και τη μακροχρόνια εφελκυστική αντοχή των οπλισμών.

Οι συντελεστές ασφαλείας (ΣΑ) που προέκυψαν σε κάθε περίπτωση ελέγχου ήταν μεγαλύτεροι από τους ελάχιστους επιτρεπόμενους (εκτός από την ανηγμένη εκκεντρότητα e/d που συγκρίνεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη) κατά DIN 4017 (φέρουσα ικανότητα εδάφους σε στατική φόρτιση $\geq 2,0$), DIN 1054 (ολίσθηση $\geq 1,5$, ανατροπή $\geq 1,5$, εκκεντρότητα $\leq 0,167$), Ο.Σ.Μ.Ο.Ε.Ε.Ο. (εξόλκευση $\geq 1,5$), EC-7 (γενική ευστάθεια πρανών $\geq 1,38$) και ΕΑΚ-2000 (όλοι οι έλεγχοι σε σεισμική φόρτιση όπου $\Sigma A \geq 1,0$ και $e/d \leq 0,333$).

Στους πίνακες 1 και 2 που ακολουθούν συνοψίζονται οι συντελεστές ασφαλείας για κάθε περίπτωση ελέγχου. Από τους πίνακες αυτούς παρατηρείται ότι τα μήκη, οι αντοχές και η πυκνότητα των γεωπλεγμάτων ουσιαστικά υπαγορεύονται στην προκειμένη περίπτωση από τις αναλύσεις γενικής ευστάθειας του μετωπικού οπλισμένου επιχώματος.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Αναλύσεων Οπλισμέν. Επιχώματος.
Table 1. Reinforced Earth Analysis Results.

Αναβα- θμός	Μέγιστη εκκεν- τρότητα	Συντελεστής ασφαλείας (*)			
		Θραύση εδάφους	Ολίσθηση	Ανατροπή	Εξόλκευση
1 ^{ος}	-0,026 / -0,022	73,2 / 74,5	36,45 / 14,84	261,1 / 88,5	196,8 / 42,3
2 ^{ος}	-0,056 / -0,024	27,0 / 31,0	11,48 / 4,81	31,9 / 11,4	60,7 / 14,5
3 ^{ος}	-0,054 / -0,037	31,5 / 34,1	10,95 / 5,66	31,3 / 15,9	112,4 / 41,7
4 ^{ος}	-0,051 / -0,039	37,4 / 39,3	11,70 / 6,55	44,5 / 23,4	144,0 / 59,1
5 ^{ος}	-0,044 / -0,037	43,9 / 45,4	11,85 / 7,17	43,4 / 26,4	177,3 / 80,4
6 ^{ος}	-0,049 / -0,043	47,7 / 48,9	14,72 / 8,78	62,0 / 37,9	316,7 / 150,0
7 ^{ος}	-0,050 / -0,035	33,4 / 35,7	11,28 / 5,97	33,2 / 17,5	304,2 / 97,7

(*) Η 1^η τιμή κάθε στήλης αφορά τη στατική φόρτιση και η 2^η τη σεισμική

Πίνακας 2. Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Αναλύσεων Γενικής Ευστάθειας.
Table 2. Global Stability Analysis Results.

Επιφάνεια ελέγχου	Μέθοδος ελέγχου	Είδος φόρτισης	Συντελεστής ασφαλείας (*)
Κυκλική	Bishop	Στατική Σεισμική	1,38 1,16 > 1,00

(*) Ελάχιστος επιτρεπόμενος συντελεστής ασφαλείας:
Στατική φόρτιση: $FS_{min} = 1,38$ (Εθνικό Προσάρτημα στον EC-7)
Σεισμική φόρτιση: $FS_{min} = 1,00$ (ΕΑΚ-2000)

4.4 Φωτογραφίες – Τελικά σχόλια

Στη συνέχεια ακολουθούν ορισμένες χαρακτηριστικές φωτογραφίες τόσο από τη φάση αποκατάστασης όσο και του τελικά αποκατεστημένου Χ.Α.Δ.Α. Όπως παρατηρεί κανείς, με την ορθή εφαρμογή της μεθόδου της οπλισμένης γης κατέστη δυνατόν να περιοριστεί ο αποκατεστημένος Χ.Α.Δ.Α. εντός των ορίων της ιδιοκτησίας, χωρίς υπερβολικές εκσκαφές και μεταφορές απορριμμάτων, με ασφαλή τρόπο και με αισθητικά πολύ καλή ένταξη στο περιβάλλον (χρήση λίθων από πετρώματα της περιοχής με “χτίσιμο” του μετώπου εντός των συρματοκιβωτίων εν είδει ξερολιθιάς).

Σημειώνεται ότι η ίδια μέθοδος αποκατάστασης έχει μελετηθεί από τους συγγραφείς σε πλήθος τελικών αποκαταστάσεων Χ.Α.Δ.Α. (τουλάχιστον 10 την τελευταία 10-ετία) σε όλη την Ελλάδα, έχουν δε υλοποιηθεί με επιτυχία αρκετές από αυτές (τουλάχιστον 4).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BS EN 8002 (1994) “Code of Practice for Earth Retaining Structures”.
BS EN 8006 (1995) “Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and other Fills”.
ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε. (2007), “Περιφέρεια Ν. Αιγαίου – Δήμος Α. Σύρου – Χ.Υ.Τ.Α. Διαχειριστικής Ενότητας Ν. Σύρου – Τεύχος 3.2 – Γεωτεχνική Μελέτη Χ.Δ.Α.”
CIRIA (1996), “Soil Reinforcement with Geotextiles”, by R.A. Jewell, CIRIA Special Publication 123, London.
DIN 1054 (1976), “Εδαφος Θεμελίωσης - Επιτρεπόμενη φόρτιση εδάφους”.
DIN 4084 (1974), “Υπολογισμός της Ασφάλειας Πρανών για τον Εμποδισμό της Θραύσης Πρανούς”, Μέρος 2, Προκαταρκτικός Κανονισμός, Έκδοση Φεβρουαρίου 1974.
DIN 4085 (1982), “Analysis of Earth Pressures for Rigid Retaining Walls and Abutments”.
DUNCAN, J.M. (1996), “State of the Art: Limit Equilibrium and Finite-Element Analysis of Slopes”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.122, No.7, pp. 577-596.
ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. (2010), “Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Οπλισμένων Επιχωμάτων Έργων Οδοποιίας (Ο.Σ.Μ.Ο.Ε.Ε.Ο.)”.



Φωτογραφία 1. Ο Χώρος του Χ.Α.Δ.Α. Σύρου πριν την Αποκατάσταση.
Photograph 1. Syros Landfill Area before Final Closure.



Φωτογραφία 2. Κατασκευή του Οπλισμένου Επιχώματος κατά τη Φάση των Εργασιών Αποκατάστασης.
Photograph 2. Construction of Reinforced Earth during Landfill Final Closure.



Φωτογραφία 3. Άποψη του Τελικά Αποκατεστημένου Χ.Α.Δ.Α. Σύρου.
Photograph 3. View of Syros Landfill after Final Closure.



Φωτογραφία 4. Γενική Άποψη του Αποκατεστημένου Χ.Α.Δ.Α. και της γύρω Περιοχής.
Photograph 4. General View of Syros Landfill and the Surrounding Area after Final Closure.