

ΕΝΩΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ
ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.

Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Οπλισμένων Επιχωμάτων

Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Οπλισμένων Επιχωμάτων

Το παρόν συντάγεται από την «Ένωση Επιστημόνων της Εγνατία οδός Α.Ε.» με τη συνδρομή της "Εγνατία Οδός Α.Ε." και τη συμμετοχή Καθηγητών, Ερευνητών και Μελετητών. Το κείμενο των οδηγιών εκφράζει την επιστημονική άποψη των συντακτών.

Ηλεκτρονικό Αρχείο : ΟΠΛΕΠΙΧ_Α01.pdf

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΣΥΝΤΑΞΗ

1.	ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ - ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ	5
2.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ - ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ	6
	2.1 Καταλληλότητα - Παράμετροι Γεωυλικών Επιχώματος	6
	2.2 Εφελκυστική Αντοχή Στοιχείων Όπλισης	6
	2.3 Αντίσταση έναντι εξόλκευσης στοιχείων όπλισης.....	7
	2.4 Αντίσταση έναντι ολίσθησης κατά μήκος διεπιφανειών εδάφους - στοιχείων όπλισης	7
3.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	9
4.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ	11
	4.1 Μεθοδολογία ελέγχων.....	11
	4.2 Συνδυασμοί φορτίσεων - Γενικές απαιτήσεις ασφάλειας	11
	4.3 Μηχανισμοί ελέγχου - καταστάσεις αστοχίας - λειτουργικότητας	12
5.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	16
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	17

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Πίνακας Καταλληλότητας Γεωυλικών σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 14475

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Μέθοδοι υπολογισμού του ολικού συντελεστή ασφάλειας οπλισμένου επιχώματος

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

φ_k	: Χαρακτηριστική ενεργός γωνία τριβής (διατμητικής αντοχής) εδαφικού υλικού
c_k	: Χαρακτηριστική ενεργός συνοχή εδαφικού υλικού
$\varphi_{u,k}$: Χαρακτηριστική γωνία τριβής εδαφικού υλικού σε αστράγγιστες συνθήκες
$c_{u,k}$: Χαρακτηριστική συνοχή εδαφικού υλικού σε αστράγγιστες συνθήκες
FS	: Συνολικός συντελεστής ασφάλειας έναντι αστοχίας
t	: Διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του έργου
T_{ult}	: Ονομαστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης (Εργοστασιακή αντοχή)
T_k	: Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης σε μακροχρόνιες συνθήκες (διάρκειας ίση με την διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του έργου)
$T_{k,s}$: Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στοιχείων όπλισης σε συνθήκες ταχείας φόρτισης
T_d	: Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού στοιχείου όπλισης στην απαιτούμενη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του έργου "t".
$T_{d,s}$: Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού στοιχείου όπλισης σε βραχυχρόνιες συνθήκες ταχείας φόρτισης.
f_m	: Συντελεστής μείωσης έναντι αποκλίσεων της παραγωγής και χρονικής προέκτασης δεδομένων
f_e	: Συντελεστής μείωσης λόγω περιβαλλοντικών (χημικών, βιολογικών, υπεριώδους ακτινοβολίας) προσβολών.
f_d	: Συντελεστής μείωσης λόγω φθορών κατά την τοποθέτηση και κατασκευή.
f_{cr}	: Συντελεστής μείωσης λόγω ερπυσμού για δεδομένη θερμοκρασία εδάφους και για την απαιτούμενη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του έργου
RF	: Γινόμενο $f_m \cdot f_e \cdot f_d \cdot f_{cr}$
γ_M	: Μειωτικός επιμέρους συντελεστής ασφάλειας επί της εφελκυστικής αντοχής στοιχείου όπλισης
γ_{pu}	: Μειωτικός επιμέρους συντελεστής ασφάλειας έναντι εξόλκευσης στοιχείου όπλισης
γ_{sl}	: Μειωτικός επιμέρους συντελεστής ασφάλειας έναντι ολίσθησης σε διεπιφάνεια στοιχείου όπλισης/εδάφους
μ	: Συντελεστής εξόλκευσης στοιχείου όπλισης
μ	: Συντελεστής ολίσθησης στη διεπιφάνεια στοιχείου όπλισης / εδάφους
f_b	: Συντελεστής αλληλεπίδρασης έναντι εξόλκευσης
f_{ds}	: Συντελεστής αλληλεπίδρασης έναντι ολίσθησης
Class	: Κλάση επιχώματος (0÷5 αναλόγως της διάρκειας ωφέλιμης χρήσης)
ΓΚ	: Γεωτεχνική κατηγορία (ΓΚ1, ΓΚ2, ΓΚ3 κατά EN-1997-1)
ES	: «Εξωτερική ευστάθεια» (External Stability): Κατάσταση δυνητικής αστοχίας
IS	: «Εσωτερική ευστάθεια» (Internal Stability): Κατάσταση δυνητικής αστοχίας
CS	: «Σύμμικτη ευστάθεια» (Compound Stability): Κατάσταση δυνητικής αστοχίας
maxW	: Μέγιστη ετήσια δράση υπογείων υδάτων
W50	: Μέγιστη δράση υπογείων υδάτων περιόδου επαναφοράς T=50έτη
STW	: Βραχυχρόνιες στατικές συνθήκες υπολογισμού με maxW
EQW	: Μακροπρόθεσμες συνθήκες υπολογισμού με σεισμό και maxW
STW50	: Μακροπρόθεσμες συνθήκες υπολογισμού με W50
S_v	: Κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των στοιχείων όπλισης
S_h	: Οριζόντια απόσταση μεταξύ των στοιχείων όπλισης ($S_h=b$ στην συνήθη περίπτωση συνεχόμενων φύλλων στοιχείων όπλισης, όπου $b=t_0$ πλάτος του κάθε επιμέρους φύλλου)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δυσμενές γεωλογικό και γεωμορφολογικό ανάγλυφο που διασχίζει ο άξονας της Εγνατίας οδού, σε συνδυασμό με τις αυστηρές απαιτήσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του αυτοκινητόδρομου και τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, επιβάλλει συχνά την κατασκευή οπλισμένων επιχωμάτων μεγάλου ύψους.

Για τη μελέτη των οπλισμένων επιχωμάτων δεν έχει αναπτυχθεί ολοκληρωμένο ελληνικό κανονιστικό πλαίσιο που να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της «Εγνατία Οδός Α.Ε.».

Η «Ένωση Επιστημόνων της Εγνατία οδός Α.Ε.», στην πολιτική της Διεύθυνσης Μελετών για ύπαρξη προδιαγραφών σε όλα τα μελετητικά αντικείμενα έργων οδοποιίας, ανέλαβε την πρωτοβουλία σύνταξης οδηγίων μελετών οπλισμένων επιχωμάτων. Για το σκοπό αυτό, αξιοποιήθηκε η διαθέσιμη τεχνογνωσία της «Εγνατία Οδός Α.Ε.» και ζητήθηκε η συνδρομή Καθηγητών, Ερευνητών και Μελετητών.

Οι οδηγίες είναι σύμφωνες με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14475/2006 (*“Execution of special geotechnical works-Reinforced fill”*) και προσαρμοσμένες στην έως σήμερα διαμορφωμένη πρακτική σύνταξης μελετών οπλισμένων επιχωμάτων.

Το κείμενο αυτό τίθεται σε διαρκή αξιολόγηση και θα γίνονται οι κατάλληλες προσαρμογές, ώστε να ενσωματώνεται η εμπειρία που θα αποκτηθεί από την εφαρμογή του.

Η «Ένωση Επιστημόνων της Εγνατία Οδός Α.Ε.», εκφράζει την εκτίμηση της στην Διευθύντρια Μελετών κ. Ευφημία Σαρρίδου για την υποστήριξη της σε όλα τα στάδια σύνταξης των οδηγιών και στους συναδέλφους της Ομάδας Εργασίας που αφιλοκερδώς διέθεσαν τις γνώσεις και το χρόνο τους για την επιτυχή ολοκλήρωση του κειμένου.

Γιώργος Κωνσταντινίδης
Πρόεδρος της Ένωσης Επιστημόνων της Εγνατία Οδός ΑΕ

ΣΥΝΤΑΞΗ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Κουκαλιάρογλου Κων/νος Πολιτικός Μηχανικός, Αν. Δ/ντής ΔΕΕ Ηπείρου ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.
Σαρηγιάννης Δημήτριος Πολιτικός Μηχανικός, MSc, DIC, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε., Π Υ. Γρεβενών

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αλεξανδρής Ανάργυρος	Πολιτικός Μηχανικός , MSc, DIC, Ο. Τ. Μ.
Αναγνωστόπουλος Χρήστος	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Εφραιμίδης Χρήστος	Πολιτικός Μηχανικός, σ1
Ιωακειμίδης Ιωάννης	Πολιτικός Μηχανικός, Μελετητής
Κλήμης Νικόλαος	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Κύριος Ερευνητής Ι.Τ.Σ.Α.Κ.
Κολλιός Αναστάσιος	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε. Αντιπρόεδρος του Ελληνικού Συνδέσμου Γεωσυνθετικών Υλικών (Η.Γ.Σ.)
Κουκαλιάρογλου Κων/νος	Πολιτικός Μηχανικός, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. Αν. Δ/ντής ΔΕΕ Ηπείρου
Κωμοδρόμος Αιμίλιος	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.
Κωνσταντινίδης Γεώργιος	Πολιτικός Μηχανικός, MSc, DIC, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. Αν. Δ/ντής Μελετών - Συντονιστής Μελετών Δ.Τ.
Μαντζιάρας Παναγιώτης	Πολιτικός Μηχανικός, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.
Νάσκος Νικόλαος	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε.
Παχάκης Μιχαήλ	Πολιτικός Μηχανικός MSc, Ο. Τ. Μ. Πρόεδρος της Ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Εδαφομηχανικής & Γεωτεχνικής Μηχανικής (Ε.Ε.Ε.Ε.Γ.Μ.)
Σαρηγιάννης Δημήτριος	Πολιτικός Μηχανικός, MSc, DIC, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. Περιφερειακή Υπηρεσία Γρεβενών
Φίκιρης Ιωάννης	Πολιτικός Μηχανικός, MSc, DIC, ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ

Κωνσταντινίδης Γεώργιος, Πρόεδρος της Ένωσης Επιστημόνων της Εγνατία Οδός Α.Ε.

1. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ - ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ

- 1.1 Με τον όρο «Οπλισμένη Επίχωση» περιλαμβάνονται γεωκατασκευές (έργα αντιστήριξης, οπλισμένα επιχώματα κλπ) τα οποία ορίζονται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14475/ 13-3-2006
- 1.2 Οι παρούσες οδηγίες αφορούν τον υπολογιστικό έλεγχο επιχωμάτων οδοποιίας της Εγνατίας Οδού με κλίση αναβαθμών μικρότερης ή ίσης από 71° ($u:\beta=3:1$), τα οποία οπλίζονται με γεωσυνθετικούς οπλισμούς (πολυμερικούς), όπως αυτά ορίζονται, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14475/ 13-3-2006. Επιχώματα υποκειμένα σε ειδικές φορτίσεις, πχ φορτία ακροβάθρων, δεν καλύπτονται πλήρως από τις παρούσες οδηγίες.
- 1.3 «Οπλισμένες Επιχώσεις» με κλίσεις αναβαθμών μεγαλύτερες των 71° ($u:\beta=3:1$) συνιστούν ξεχωριστό γεωτεχνικό αντικείμενο μελέτης, το οποίο δεν καλύπτεται από την παρούσα οδηγία.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ - ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ

2.1 Καταλληλότητα - Παράμετροι Γεωυλικών Επιχώματος

2.1.1 Οι τύποι και οι ιδιότητες των γεωσυνθετικών (πολυμερικών) οπλισμών, των συστημάτων επένδυσης παρειάς καθώς και οι ποιότητες των γεωυλικών θα είναι σύμφωνες με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 14475/13-3-2006, με την ακόλουθη επιμέρους διευκρίνιση:

2.1.1.α Κατά τα διαλαμβανόμενα στον πίνακα Α1 του ΕΛΟΤ EN 14475 (Παράρτημα Α), για μόνιμα οπλισμένα επιχώματα συνιστάται να χρησιμοποιούνται γενικώς κοκκώδη γεωυλικά. Η δε χρήση λεπτόκοκκων αργιλικών ή ιλυωδών υλικών επιτρέπεται σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις, εφόσον ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες αποστράγγισης του υλικού επίχωσης ή/και προβλεφθούν οι κατάλληλες αποστραγγιστικές ζώνες στο σώμα του επιχώματος.

2.1.2 Στους υπολογισμούς θα λαμβάνονται οι τιμές των χαρακτηριστικών ενεργών παραμέτρων διατμητικής αντοχής ϕ_k' & c_k' κατά ΕΛΟΤ EN1997.01, με τιμή της ενεργού συνοχής κατά μέγιστο ίση με 5kPa. Μεγαλύτερες τιμές ενεργής συνοχής μπορεί να λαμβάνονται σε ειδικές περιπτώσεις και κατόπιν ειδικής έγκρισης.

2.2 Εφελκυστική Αντοχή Στοιχείων Όπλισης

Δεδομένου ότι η εφελκυστική αντοχή των γεωσυνθετικών οπλισμών δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται τόσο από την χρονική διάρκεια επιβολής της φόρτισης, όσο και από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι εφελκυστικές αντοχές σχεδιασμού των στοιχείων όπλισης στην διάρκεια ωφέλιμης χρήσης "t" του έργου καθώς και σε συνθήκες ταχείας φόρτισης, είναι διαφοροποιημένες, προκύπτουν δε από τις εξής σχέσεις:

$$(1\alpha) \quad T_k = T_{ult} / RF$$

$$(1b) \quad T_{k,s} = T_{ult} / (f_m \cdot f_e \cdot f_d)$$

$$(2\alpha) \quad T_d = T_k / \gamma_M$$

$$(2b) \quad T_{d,s} = T_{k,s} / \gamma_M$$

Όπου:

T_{ult} : Ονομαστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης (Εργοστασιακή αντοχή)

T_k : Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης σε μακροχρόνιες συνθήκες (διάρκειας ίση με την διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του έργου)

$T_{k,s}$: Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στοιχείου όπλισης σε βραχυχρόνιες συνθήκες ταχείας φόρτισης.

T_d : Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού στοιχείου όπλισης στην απαιτούμενη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του έργου "t".

$T_{d,s}$: Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού στοιχείου όπλισης σε βραχυχρόνιες συνθήκες ταχείας φόρτισης.

RF : $RF = f_m \cdot f_e \cdot f_d \cdot f_{cr}$: Επαλληλιζόμενοι επιμέρους μειωτικοί συντελεστές επί της ονομαστικής εφελκυστικής αντοχής του στοιχείου όπλισης

f_m : Συντελεστής μείωσης έναντι αποκλίσεων της παραγωγής και χρονικής προέκτασης δεδομένων

f_e : Συντελεστής μείωσης λόγω περιβαλλοντικών (χημικών, βιολογικών, υπεριώδους ακτινοβολίας) προσβολών.

f_d : Συντελεστής μείωσης λόγω φθορών κατά την τοποθέτηση και κατασκευή.

f_{cr} : Συντελεστής μείωσης λόγω ερπυσμού για δεδομένη θερμοκρασία εδάφους και για την απαιτούμενη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης "t".

γ_M : Επιμέρους μειωτικός συντελεστής ασφάλειας επί των χαρακτηριστικών εφελκυστικών αντοχών του στοιχείου όπλισης προκειμένου να μετατραπούν οι χαρακτηριστικές αντοχές σε τιμές σχεδιασμού (Οι τιμές γ_M διαφοροποιούνται για ελέγχους με χρήση της βραχυχρόνιας ή της μακροχρόνιας αντοχής).

Οι τιμές των παραπάνω συντελεστών μείωσης f_m , f_e , f_d και f_{cr} καθώς και της αντοχής T_{ult} καθορίζονται από τα αντίστοιχα πιστοποιητικά του στοιχείου όπλισης.

Σε περίπτωση που κατά την μελέτη δεν επιλέγονται εξαρχής συγκεκριμένοι (εμπορικοί) τύποι στοιχείων όπλισης, οι τιμές των ως άνω μεγεθών θα λαμβάνονται κατά παραδοχή, αναλόγως του είδους του υλικού του στοιχείου όπλισης (π.χ. πολυαιθυλενίου, πολυεστερικού, κ.λπ.), το οποίο θα έχει καταρχάς επιλεχθεί, και λαμβάνοντας υπόψη τις συνήθεις τιμές των επιμέρους συντελεστών για τα προϊόντα αυτά. Οι τιμές του επιμέρους μειωτικού συντελεστή ασφαλείας γ_M επί των εφελκυστικών αντοχών του στοιχείου όπλισης καθορίζονται στον πίνακα 4.2.

2.3 Αντίσταση έναντι εξόλκευσης στοιχείων όπλισης

Όταν το εφελκυστικό στοιχείο όπλισης διατέμνεται από μία επιφάνεια δυνητικής ολίσθησης, τείνει να εξολκευτεί από το περιβάλλον έδαφος. Η χαρακτηριστική αντοχή (δύναμη) έναντι εξόλκευσης $T_{ru,k}$, είναι συνάρτηση του μήκους αγκύρωσης του στοιχείου όπλισης L_e , της ορθής ενεργής τάσης σ'_n και του συντελεστή έναντι εξόλκευσης μ^* , υπολογίζεται δε ως εξής:

$$T_{ru,k} = 2\mu^* \cdot L_e \cdot \sigma'_n \quad (3)$$

Η τιμή σχεδιασμού $T_{ru,d}$ προκύπτει εκ της χαρακτηριστικής, με χρήση του επιμέρους μειωτικού συντελεστή ασφαλείας γ_{ru} (πίνακας 4.2).

Σε κάθε περίπτωση, το κινητοποιούμενο ποσοστό της $T_{ru,d}$, είναι το πολύ ίσο προς την εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του στοιχείου όπλισης (σε αντίθετη περίπτωση, η αστοχία προέρχεται λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής).

Η τιμή του συντελεστή μ^* προσδιορίζεται με δοκιμές εξόλκευσης, ή υπολογίζεται από την σχέση:

$$\mu^* = f_b \cdot \tan \varphi'_k \quad (4)$$

όπου:

- f_b : Συντελεστής αλληλεπίδρασης έναντι εξόλκευσης (bond coefficient)
- φ'_k : Χαρακτηριστική ενεργός γωνία τριβής του υλικού επίχωσης

Σε περίπτωση που κατά την μελέτη δεν επιλέγεται εξαρχής συγκεκριμένος (εμπορικός) τύπος στοιχείων όπλισης, ούτε έχουν προηγηθεί δοκιμές εξόλκευσης, η τιμή f_b θα λαμβάνεται κατά παραδοχή, αναλόγως του είδους του υλικού του στοιχείου όπλισης (π.χ. πολυαιθυλενίου, πολυεστερικού, κ.λπ.), το οποίο θα έχει καταρχάς επιλεχθεί, και λαμβάνοντας υπόψη τις συνήθεις τιμές των σχετικών συντελεστών για τα προϊόντα αυτά.

2.4 Αντίσταση έναντι ολίσθησης κατά μήκος διεπιφανειών εδάφους-στοιχείων όπλισης

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός περιλαμβάνει πιθανή αστοχία κατά μήκος διεπιφανειών μειωμένης διατμητικής αντοχής εντός του οπλισμένου σώματος του επιχώματος, οι οποίες δύναται να αναπτυχθούν στη διεπιφάνεια μεταξύ στοιχείου όπλισης και υλικού επιχώματος ή εδάφους έδρασης (βλ. τύπους αστοχίας ES.2, IS.2 ή CS.2 παρ. 4.3). Για τον υπολογισμό της αντίστασης έναντι ολίσθησης στις διεπιφάνειες στοιχείων όπλισης-εδάφους επίχωσης (ή εδάφους έδρασης), χρησιμοποιείται ο συντελεστής αλληλεπίδρασης έναντι ολίσθησης f_{ds} (direct sliding coefficient), η τιμή του οποίου καθορίζεται βάσει των πιστοποιητικών του στοιχείου όπλισης και της ενεργής γωνίας τριβής του εδάφους ή βάσει εργαστηριακών δοκιμών.

Εξ αυτού, υπολογίζεται ο συντελεστής τριβής :

$$\mu = f_{ds} \cdot \tan \varphi'_k \quad (5)$$

Η χαρακτηριστική διατμητική αντοχή (δύναμη) κατά μήκος μίας τέτοιας διεπιφάνειας, μήκους L_s , υπό την παρουσία ορθής ενεργής τάσης σ'_n είναι :

$$T_{sl,k} = \mu \cdot L_s \cdot \sigma'_n \quad (6.1)$$

Η αντίστοιχη χαρακτηριστική διατμητική αντοχή (τάση) είναι:

$$\tau_{sl,k} = \mu \cdot \sigma'_n \quad (6.2)$$

Η τιμή σχεδιασμού $\tau_{sl,d}$ προκύπτει εκ της χαρακτηριστικής, με χρήση του επιμέρους μειωτικού συντελεστή ασφαλείας γ_{sl} (πίνακας 4.2).

Στη γενική περίπτωση ενός στοιχείου όπλισης με διάκενα (π.χ. ενός φύλλου γεωπλέγματος) όπου κατά την οριζόντια τομή (κάτοψη) ορίζεται ως " α_s " το ποσοστό της στερεής επιφάνειας των ινών, σε σχέση με την συνολική επιφάνεια του φύλλου, είναι:

$$f_{ds} = \alpha_s \cdot (\tan \delta / \tan \phi'_k) + (1 - \alpha_s) \quad (7)$$

όπου:

$\tan \delta$: είναι ο συντελεστής επιδερμικής τριβής της διεπιφάνειας του υλικού (ίνας) με το έδαφος, εξαρτώμενος τόσο από το υλικό του στοιχείου όπλισης, όσο και από την σύσταση του εδάφους.

Σε περίπτωση που κατά την μελέτη δεν επιλέγεται εξ αρχής συγκεκριμένος (εμπορικός) τύπος στοιχείων όπλισης, η τιμή f_{ds} θα λαμβάνεται κατά παραδοχή, αναλόγως του είδους του υλικού του στοιχείου όπλισης (π.χ. πολυαιθυλενίου, πολυεστερικού, κ.λπ.), το οποίο θα έχει καταρχάς επιλεγθεί και λαμβάνοντας υπόψη τις συνήθεις τιμές των σχετικών συντελεστών για τα προϊόντα αυτά.

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- 3.1 Από πλευράς διάρκειας ωφέλιμης χρήσης, κατά τον σχεδιασμό τους, τα οπλισμένα επιχώματα κατατάσσονται στη κλάση 1 (Class 1) που αφορά προσωρινές κατασκευές με διάρκεια ωφέλιμης χρήσης έως 5 έτη και στις κλάσεις 2-5 (Class 2-5) με διάρκεια ωφέλιμης χρήσης μεγαλύτερη των 5 ετών κατά τα αναφερόμενα στο ΕΛΟΤ EN 14475. Η κλάση κάθε οπλισμένου επιχώματος θα ορίζεται εξ αρχής.
- 3.2 Από πλευράς σπουδαιότητας, θα πρέπει εξ αρχής (πριν από τον σχεδιασμό και τους ελέγχους), να ορίζεται επίσης η γεωτεχνική κατηγορία ΓΚ, στην οποία θα κατατάσσεται το κάθε οπλισμένο επίχωμα, λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες οδηγίες:

Γεωτεχνικές κατηγορίες κατά EN-1997-1:

Γεωτεχνική Κατηγορία 1: (ΓΚ1)

- Συνήθη απλά επιχώματα όπου είναι αμελητέος ο κίνδυνος και περιορισμένες οι συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας.

Γεωτεχνική Κατηγορία 2: (ΓΚ2)

- Συνήθεις κίνδυνοι και δυσμενείς συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας.
- Συνήθη οπλισμένα επιχώματα (εξαιρούνται τα κατατασσόμενα στην ΓΚ3 & ΓΚ1).
- Συνήθεις - ομαλές γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης ή συνθήκες θεμελίωσης αντιμετωπίσιμες χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία.

Γεωτεχνική Κατηγορία 3: (ΓΚ3)

- Υψηλοί κίνδυνοι, σοβαρότατες συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας.
- «Ιδιαίτερα» οπλισμένα επιχώματα (π.χ. πολύ υψηλά και απότομα, σύνθετης γεωμετρίας και κατασκευής κ.λπ.),
- Επιχώματα που θεμελιώνονται σε ιδιαίτερα δύσκολες εδαφικές συνθήκες θεμελίωσης ή επιβάλλονται ασυνήθεις σπάνιες φορτίσεις, ή ο σεισμός αποτελεί κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού και επηρεάζει τη γενικότερη λειτουργία της κατασκευής.
- Στην κατηγορία ΓΚ3 κατατάσσονται και τα επιχώματα που δεν δύναται να ενταχθούν στις δύο προηγούμενες κατηγορίες.

Οι προαναφερθείσες γεωτεχνικές κατηγορίες δεν μεταβάλλουν κατ' ανάγκη τις τιμές του επιδιωκόμενου γενικού συντελεστή ή των επιμέρους συντελεστών ασφάλειας. Αποσκοπούν στην απρόσκοπτη λειτουργία του συνολικού έργου και χαρακτηρίζουν την κρισιμότητα της διατήρησης αυτού σε συνθήκες πλήρους λειτουργίας. Ταυτόχρονα οριοθετούν την έκταση και την ποιότητα των απαιτούμενων γεωτεχνικών ερευνών, την έμφαση στην επίβλεψη κατά την διάρκεια της κατασκευής, καθώς και το απαιτούμενο επίπεδο ενοργάνωσης και συντήρησης κατά τη λειτουργία του έργου.

- 3.3 Επιπροσθέτως των παραμέτρων αντοχής των παραγράφων 2.1, 2.2, 2.3 και της κατάταξης, για το σχεδιασμό ενός οπλισμένου επιχώματος απαιτείται επίσης να καθορίζονται εξ αρχής:
- Το είδος και η ποιότητα του γεωυλικού επίχωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις επιτόπου συνθήκες του έργου.
 - Είδος στοιχείων όπλισης. Πέραν των εφελκυστικών αντοχών και των σχετικών επιμέρους μειωτικών συντελεστών, θα καθορίζονται οι τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας αναλόγως του επιπέδου φόρτισης και της διάρκειας ωφέλιμης χρήσης.

Κατά τη φάση κατασκευής θα γίνεται προσαρμογή της μελέτης, η οποία θα λαμβάνει υπόψη τόσο το είδος και την ποιότητα των διατιθέμενων γεωλικών στο έργο (προς χρήση για την κατασκευή του σώματος του επιχώματος), όσο και τα ακριβή χαρακτηριστικά και τις τιμές των απαιτούμενων παραμέτρων των στοιχείων όπλισης (τα οποία θα έχουν ήδη επιλεγεί για να τοποθετηθούν τελικώς στο έργο).

4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ

4.1 Μεθοδολογία ελέγχων

- 4.1.1** Τα οπλισμένα επιχώματα θα ελέγχονται με τη μέθοδο της οριακής ισορροπίας έναντι καταστάσεων αστοχίας, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε έγκριτη κλασική μέθοδο οριακών ελέγχων ευστάθειας (π.χ. Bishop, Janbu, Spencer, κ.λπ.), που επιπροσθέτως των εδαφικών παραμέτρων λαμβάνει επίσης υπόψη τις αντοχές και τις τριβές των οπλισμών. Τα στοιχεία όπλισης συνεισφέρουν στην αύξηση του γενικού συντελεστή ασφαλείας, με εισαγωγή αντίστοιχης εφελκυστικής δύναμης στις βασικές εξισώσεις ισορροπίας. Επικουρικά, μπορεί να χρησιμοποιείται και ανάλυση συνεχούς μέσου (πεπερασμένες διαφορές ή πεπερασμένα στοιχεία).
- 4.1.2** Τυχόν συμπληρωματικοί ή επιμέρους έλεγχοι (σε ειδικές περιπτώσεις, αν απαιτηθούν, όπως π.χ. έλεγχος φέρουσας ικανότητας υπεδάφους θεμελίωσης σε ειδικές περιπτώσεις απότομης κλίσης υψηλών επιχωμάτων εδραζόμενων σε έδαφος απότομης εγκάρσιας κλίσης ή και υπεδάφους μειωμένης φέρουσας ικανότητας) μπορούν να εκπονούνται με έγκριτες αναλυτικές μεθόδους.
- 4.1.3** Ο έλεγχος λειτουργικότητας αποσκοπεί στο να υπολογίζονται οι μετακινήσεις και γενικότερα οι παραμορφώσεις της κατασκευής. Το μέγεθος αυτών χαρακτηρίζεται ως ανεκτό όταν διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία της κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης, με αποδεκτές απαιτήσεις περιοδικής συντήρησης. Στους λειτουργικούς ελέγχους περιλαμβάνονται οι έλεγχοι των καθιζήσεων του υπεδάφους θεμελίωσης και των συνιζήσεων του σώματος του επιχώματος. Σε ειδικές περιπτώσεις και εφόσον απαιτηθεί από την ΕΟΑΕ θα γίνεται και έλεγχος μετακατασκευαστικών οριζόντιων παραμορφώσεων της παρειάς του επιχώματος.

4.2 Συνδυασμοί φορτίσεων - Γενικές απαιτήσεις ασφαλείας

- 4.2.1** Όλοι οι έλεγχοι των οπλισμένων επιχωμάτων θα διεξάγονται με τους συνδυασμούς φορτίσεων που προβλέπονται στις Ο.Μ.Ο.Ε./2003 με επιδιωκόμενο συνολικό συντελεστή ασφαλείας: $\min FS > \text{απαιτούμενου FS}$ του πίνακα 4.6 των Ο.Μ.Ο.Ε., τεύχος 11, κεφ. 4.

Πίνακας 4.1: Απαιτούμενοι συνολικοί συντελεστές ασφαλείας (Απόσπασμα πιν 4.6 ΟΜΟΕ)

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΕΔΑΦΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
1	Βραχυχρόνιες στατικές	Αστράγγιστες συνθήκες (συνεκτικά εδάφη)	1,20
2	Μακροπρόθεσμες με σεισμό	Βελτιωμένη αστράγγιστη λόγω στερεοποίησης (συνεκτικά εδάφη)	1,00
3 ⁽¹⁾	Μακροπρόθεσμες με ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50ετίας	Ενεργές παράμετροι αντοχής	1,30

Σημείωση : ⁽¹⁾ Ο συνδυασμός φόρτισης 3 και ο αντίστοιχος απαιτούμενος συνολικός συντελεστής ασφαλείας καλύπτει και την περίπτωση κατά την οποία δεν υφίσταται στάθμη υπόγειου ορίζοντα στη ζώνη επιρροής της κατασκευής. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, η συνθήκη ανώτατης στάθμης νερού 50ετίας μπορεί να μην περιλαμβάνει καμία δράση νερού.

- 4.2.2** Διευκρινίζεται επίσης, ότι αναφορικά με τις φορτίσεις και γενικότερα τις δράσεις (ίδια βάρη, εξωτερικές φορτίσεις, υπόγεια νερά, καθώς και σεισμική φόρτιση), ισχύουν οι ίδιες οδηγίες των ΟΜΟΕ και του ΕΑΚ, όπως και στα άοπτα επιχώματα.

4.3 Μηχανισμοί ελέγχου-καταστάσεις αστοχίας - λειτουργικότητας

4.3.1 Για τη διαστασιολόγηση ενός οπλισμένου επιχώματος, εξετάζονται όλοι οι πιθανοί μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας, για κάθε συνδυασμό φόρτισης, και προσδιορίζονται οι ελάχιστοι συνολικοί συντελεστές ασφάλειας, οι οποίοι συγκρίνονται με τους αντίστοιχους απαιτούμενους συνολικούς συντελεστές του πίνακα 4.1.

Οι πιθανές μορφές (μηχανισμοί) δυνητικής αστοχίας, ομαδοποιούνται γενικώς στις εξής τρεις καταστάσεις δυνητικής αστοχίας, οι οποίες στο παρόν κείμενο, για λόγους πρακτικούς, συμβολίζονται ως: ES, IS και CS:

4.3.1α Η «**ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ**» (External Stability), Συμβολισμός: **ES**

Στη συγκεκριμένη κατάσταση δυνητικής αστοχίας, το οπλισμένο σώμα του επιχώματος αντιμετωπίζεται στον έλεγχο ως ένα πρακτικώς απαραμόρφωτο στερεό σώμα, το οποίο μπορεί να παραλάβει ωθήσεις και να μεταβιβάσει υπό την βάση του δυνάμεις θλίψης και διάτμησης. Στην κατάσταση αυτή, δεν παίζουν άμεσα ρόλο τα στοιχεία όπλισης (παρά μόνο στον γεωμετρικό καθορισμό του οπλισμένου τμήματος του επιχώματος). Περιλαμβάνονται οι εξής επιμέρους μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας:

[ES.1] Αστοχία βαθιάς ολίσθησης:

Διερευνάται με περιστροφικές ή πολυγωνικές επιφάνειες δυνητικής ολίσθησης, οι οποίες δεν τέμνουν τα στοιχεία οπλισμού (Σχ. 4.1, ES.1).

[ES.2] Ολίσθηση του στερεού (οπλισμένου σώματος) στη βάση:

Διερευνάται με πολυγωνικές επιφάνειες δυνητικής ολίσθησης στη βάση έδρασης του επιχώματος (Σχ. 4.1, ES.2).

[ES.3] Θραύση του υπεδάφους θεμελίωσης:

Διερευνάται είτε με περιστροφικές επιφάνειες δυνητικής ολίσθησης, είτε με κλασσικές μεθόδους φέρουσας ικανότητας.

4.3.1β Η «**ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ**» (Internal Stability), Συμβολισμός: **IS**

Στη συγκεκριμένη κατάσταση αστοχίας ελέγχονται οι πιθανοί μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας (πολυγωνικές & περιστροφικές επιφάνειες, οι οποίες αναπτύσσονται εντός του οπλισμένου σώματος του επιχώματος) συνυπολογίζοντας και τη συνεισφορά των οπλισμών. Περιλαμβάνονται οι εξής επιμέρους μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας:

[IS.1] Περιστροφικός ή Πολυγωνικός μηχανισμός αστοχίας:

Διερευνάται με περιστροφικές ή πολυγωνικές επιφάνειες δυνητικής ολίσθησης, οι οποίες διέρχονται αποκλειστικά εντός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.1, IS.1).

[IS.2] Ολίσθηση κατά μήκος διεπιφανειών μειωμένης αντοχής εντός του οπλισμένου σώματος:

Διερευνάται με πολυγωνικές επιφάνειες, που περιλαμβάνουν τμήμα διεπιφανείας μειωμένης αντοχής (μεταξύ εδάφους - στοιχείου όπλισης), διερχόμενες αποκλειστικά εντός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.1, IS.2).

4.3.1γ Η «**ΣΥΜΜΕΙΚΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ**» (Compound Stability), Συμβολισμός: **CS**

Στη συγκεκριμένη κατάσταση αστοχίας ελέγχονται οι πιθανοί μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας (πολυγωνικές & περιστροφικές επιφάνειες), οι οποίες διέρχονται ταυτόχρονα τόσο εντός, όσο και εκτός του οπλισμένου σώματος του επιχώματος. Περιλαμβάνονται οι εξής επιμέρους μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας:

[CS.1] Περιστροφικός ή Πολυγωνικός μηχανισμός αστοχίας:

Διερευνάται με περιστροφικές ή πολυγωνικές επιφάνειες δυνητικής ολίσθησης, οι οποίες αναπτύσσονται ταυτόχρονα εντός και εκτός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.1, CS.1).

[CS.2] Ολίσθηση κατά μήκος διεπιφανειών μειωμένης αντοχής εντός του οπλισμένου σώματος:

Διερευνάται με πολυγωνικές επιφάνειες, που περιλαμβάνουν τμήμα διεπιφάνειας μειωμένης αντοχής (μεταξύ εδάφους - στοιχείου όπλισης), διερχόμενης ταυτόχρονα εντός και εκτός του οπλισμένου σώματος (Σχ. 4.1, CS.2).

Όλοι οι απαιτούμενοι συντελεστές ασφάλειας για τους ελέγχους των παραπάνω μηχανισμών / καταστάσεων αστοχίας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

4.3.2 Κατά τον έλεγχο της κατάστασης λειτουργικότητας, υπολογίζονται οι μετακινήσεις και γενικότερα οι παραμορφώσεις της γεωκατασκευής.

Για τους υπολογισμούς των λειτουργικών ελέγχων ο συνολικός συντελεστής ασφάλειας και όλοι οι επιμέρους συντελεστές είτε επί των φορτίσεων, είτε επί των εδαφικών παραμέτρων λαμβάνονται ίση με τη μονάδα.

Στους λειτουργικούς ελέγχους θα συμπεριλαμβάνεται ο έλεγχος των καθιζήσεων του υπεδάφους θεμελίωσης του οπλισμένου επιχώματος (ειδικά μάλιστα στις περιπτώσεις που το υπέδαφος περιλαμβάνει συμπιεστά στρώματα), πράγμα που θα αντιμετωπίζεται κατά τα σχετικώς αναφερόμενα στις Ο.Μ.Ο.Ε., όπως και για τα άοπλα επιχώματα. Θα διενεργείται επίσης και έλεγχος των συνιζήσεων του σώματος του επιχώματος. Υποδείξεις σχετικά με τα ανεκτά όρια της διαφορικής καθίζησης - συνιζήσης (σε σχέση με το σύστημα επένδυσης της παρειάς του οπλισμένου επιχώματος), αναφέρονται στο ΕΛΟΤ EN 14475 (Πίνακες C.1- C.12).

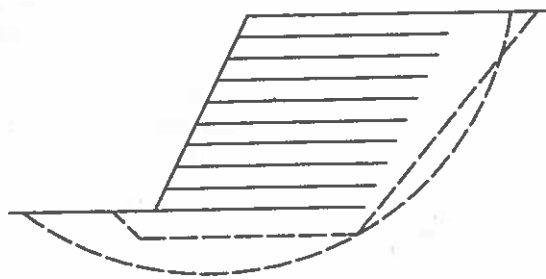
Στην περίπτωση ελέγχου οριζόντιων μετακατασκευαστικών παραμορφώσεων παρειάς οπλισμένου επιχώματος (παρ. 4.1.3), οι μέγιστες ανεκτές τιμές παραμορφώσεων (εκφρασμένες ως οριζόντια μετακατασκευαστική μετακίνηση ως προς το ύψος του επιχώματος) λαμβάνονται από τις αντίστοιχες Γαλλικές οδηγίες (NF G38064) ως ακολούθως (εκτός και αν κατά περίπτωση ζητηθούν διαφορετικές τιμές):

Κατάταξη έργου:	ΓΚ2		ΓΚ3	
Τρόπος τοποθέτησης οπλισμών:	A	B	A	B
Για κλίσεις παρειάς $u:\beta > 3:1$	0,8%	0,4%	0,4%	0,2%
Για κλίσεις παρειάς $u:\beta \leq 3:1$	1,6%	0,8%	0,8%	0,4%

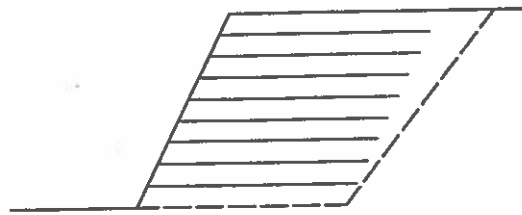
Τρόπος τοποθέτησης οπλισμών A: Συνδεδεμένοι επαρκώς με το σύστημα παρειάς και ελαφρά προένταση της πίσω απόληξής τους κατά την τοποθέτηση

Τρόπος τοποθέτησης οπλισμών B: Χωρίς επαρκή σύνδεση με το σύστημα παρειάς (ή έλλειψη φέροντος συστήματος παρειάς) και χωρίς συστηματική προένταση

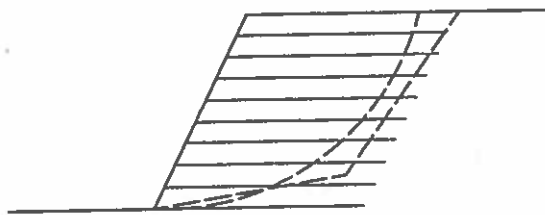
Κατά τους ελέγχους των μετακατασκευαστικών οριζοντίων παραμορφώσεων, θα λαμβάνεται υπόψη η διαφοροποίηση (μείωση) του μέτρου παραμορφωσιμότητας των οπλισμών συναρτήσει του χρόνου, υπό σταθερή ένταση, προσομοιάζοντας έτσι την ερπυστική συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα γεωσυνθετικά στοιχεία όπλισης.



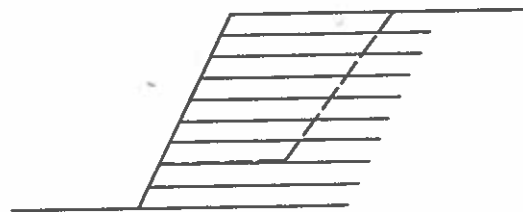
ES.1



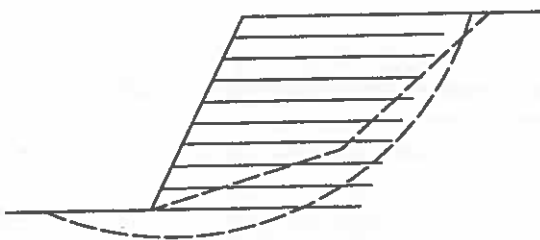
ES.2



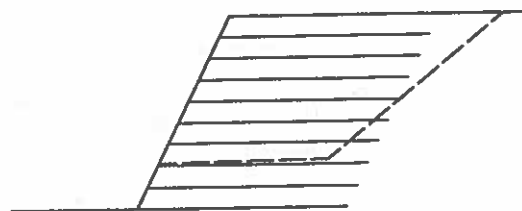
IS.1



IS.2



CS.1



CS.2

Σχήμα 4.1: Ενδεικτικές καταστάσεις και μηχανισμοί δυνητικής αστοχίας για ελέγχους οπλισμένων επιχωμάτων

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΟΡΙΑΚΟΥΣ ΕΛΕΓΧΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΚΛΙΣΗΣ $\leq 3:1$ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥΣ

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ :				3. Μακροπρόθεσμες με $W50^{(1)}$ (Συμβολισμός: STW50)	2. Μακροπρόθεσμες με σεισμό και $maxW$ (Συμβολισμός: EQW)	1. Βραχυχρόνιες ⁽⁴⁾ στατικές συνθήκες με $maxW^{(1)}$ (Συμβολισμός: STW)
Μηχανισμοί δυνητικής αποτυχίας προς έλεγχο	Καταστάσεις Ελέγχου :			Εξωτερική ευστάθεια ES Εσωτερική ευστάθεια IS Σύνθετη ευστάθεια CS	Εξωτερική ευστάθεια ES Εσωτερική ευστάθεια IS Σύνθετη ευστάθεια CS	Εξωτερική ευστάθεια ES (Εσωτερική ευστάθεια IS) (Σύνθετη ευστάθεια CS)
	ES	IS	CS			
Κυκλικές	ES.1	IS.1	CS.1	$minFS^{(2)} \geq 1,30$	$minFS \geq 1,00$	$minFS \geq 1,20$
Πολυγωνικές	(ES.1)	(IS.1)	(CS.1)			
Ολίσθηση βάσης	ES.2	-	-			
Επιτρεπόμενη τάση θεμελίωσης ⁽³⁾	(ES.3)	-	-			
Ολίσθηση σε διεπιφάνεια οπλισμού - υλικού επίχωσης	-	IS.2	CS.2			
				ΓΚ1, ΓΚ2, ΓΚ3	ΓΚ1, ΓΚ2, ΓΚ3	ΓΚ1, ΓΚ2, ΓΚ3
					Εναλλακτική Α ⁽⁵⁾	Εναλλακτική Β ⁽⁵⁾
Μειωτικός συντελεστής : στην εφελκυστική αντοχή των οπλισμών $T_{d,k}$	γ_m :			1,30 (Χρήση T_d)	1,00 (Χρήση T_d)	1,50 (Χρήση $T_{d,s}$)
Μειωτικός συντελεστής : Εναντι εξόλκευσης οπλισμών (τριβή)	γ_{ps} :			1,50	1,50	1,50
Μειωτικός συντελεστής : Εναντι ολίσθησης βάσης κ.λπ. διεπιφανειών οπλισμού (τριβή)	γ_{sl} :			1,00	1,00	1,00

- Σημειώσεις :
- (1) $maxW$ = μέγιστη ετήσια δράση υπογείων υδάτων, $W50$ =μέγιστη δράση υπογείων υδάτων περιόδου επαναφοράς $T=50$ έτη
 - (2) $minFS$: Απαιτούμενος ολικός συντελεστής ασφαλείας για κάθε συνδυασμό φόρτισης
 - (3) Η επιτρεπόμενη τάση του υπεδόφου θεμελίωσης θα καθορίζεται με συντελεστή ασφαλείας $FS_{ES,3}=2,00$ σε στατικές συνθήκες και $FS_{ES,3}=1,30$ σε σεισμό.

Η τιμή της οριακής φέρουσας ικανότητας του εδάφους θα λαμβάνει υπόψη την κλίση της επιφάνειας του εδάφους και την συνυπάρχουσα οριζόντια τάση έδρασης (κλίση φορτίου).

- (4) Ο συνδυασμός φόρτισης 1 αφορά ελέγχους με ολικές τάσεις ($\varphi_{u,k}$, $c_{u,k}$), εφόσον συντρέχει τέτοια περίπτωση
- (5) Προτείνονται δύο εναλλακτικές μέθοδοι

Μέθοδος Α:

Λαμβάνεται η τιμή T_d αντί της τιμής $T_{d,s}$ με σκοπό να μην αγνοηθεί ο συντελεστής ερπυσμού f_{cr} κατά το σεισμικό έλεγχο. Στην περίπτωση αυτή ο μειωτικός συντελεστής γ_m ισούται με $\gamma_m=1,0$.

Μέθοδος Β:

Η τιμή του συντελεστή γ_m λαμβάνεται ίση με $\gamma_m=1,50$

- Παρατηρήσεις :
- α. Όλοι οι επιμέρους συντελεστές επί των μόνιμων και κινητών φορτίων τίθενται ίσοι προς 1.
 - β. Όλοι οι επιμέρους συντελεστές στις παραμέτρους φ_k , c_k , $\varphi_{u,k}$, $c_{u,k}$ των γεωυλικών τίθενται ίσοι προς 1.
 - γ. Οι περιπτώσεις ελέγχων που βρίσκονται εντός παρενθέσεων, θα διεξάγονται μόνο εφόσον συντρέχουν οι αναλογούσες προϋποθέσεις.

5. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Οι κατασκευαστικές διατάξεις των στοιχείων όπλισης θα είναι σύμφωνες με το πρότυπο του ΕΛΟΤ EN 14475/ 13-3-2006, με τις ακόλουθες επιμέρους διευκρινήσεις:

- 5.1 Οι αποστάσεις καθ' ύψος των οπλισμών S_v θα πρέπει να είναι ακέραια πολλαπλάσια του καθοριζόμενου συμπυκνωμένου πάχους των επιμέρους στρώσεων του γεωϋλικού κατασκευής του επιχώματος, ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική συμπύκνωση. Συνιστάται δε γενικώς οι αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών να καθορίζονται συνήθως εντός των ορίων $S_v=0,20\text{m}$ έως $0,80\text{m}$ και να μην υπερβαίνουν το $1,0\text{m}$, ώστε να εξασφαλίζεται η μηχανική λειτουργία ως σύνθετου ("composite") υλικού στο οπλισμένο τμήμα.
- 5.2 Για τον ίδιο λόγο, συνιστάται τα μήκη και οι δυσκαμψίες - αντοχές των οπλισμών να μην είναι εντόνως ασυνεχώς μεταβαλλόμενα καθ' ύψος. Εξαιρέσεις από την οδηγία αυτή θα μπορούσαν να υπάρξουν σε ειδικές περιπτώσεις και εφόσον ελεγχθούν κατάλληλα (π.χ. περιπτώσεις με δευτερεύοντες ενδιάμεσους οπλισμούς μικρού μήκους και αντοχής, ειδικού τύπου φέροντα στοιχεία παρειάς, κ.λπ.). Σε περίπτωση μη συνεχόμενων φύλλων οπλισμού κατά την οριζόντια έννοια, οι οριζόντιες αποστάσεις S_h μεταξύ των ανεξάρτητων λωρίδων των γεωσυνθετικών φύλλων οπλισμού δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν το διπλάσιο του πλάτους αυτών.
- 5.3 Κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη μέριμνα για το βάθος θεμελίωσης των οπλισμένων επιχωμάτων, ειδικότερα μάλιστα στις περιπτώσεις έντονης εγκάρσιας κλίσης εδάφους, καθώς και έντονης κλίσης παρειάς, ούτως ώστε να εξασφαλίζονται ικανοποιητικές συνθήκες θεμελίωσης (και η διαχρονική προστασία του εδάφους έδρασης - θεμελίωσης) στην περιοχή του ποδός του επιχώματος.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ. 2000) Υ.ΠΕ. ΧΩ.Δ.Ε.
2. Ελληνικό Πρότυπο EN 1997.01 (2005): Ευρωκώδικας 7, "Γεωτεχνικός σχεδιασμός – Μέρος 1: Γενικοί κανόνες", Ε.Λ.Ο.Τ.
3. Ελληνικό Πρότυπο EN 14475 (2006): "Execution of special geotechnical works-Reinforced fill", Ε.Λ.Ο.Τ.
4. Ο.Μ.Ο.Ε. (2003) Τεύχος 11: "Γεωλογικές-Γεωτεχνικές Έρευνες και Μελέτες" Υ.ΠΕ. ΧΩ.Δ.Ε.
5. B.S. 8006, (1995), "Strengthened / reinforced soils and other fills", Committee of British Standards.
6. F.H.W.A.-NHI-00-043 (2001), "Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design and construction guidelines", U.S. Department of Transportation, U.S.A.
7. HA 68/94 (1994), "Design Methods for the reinforcement of th Highway Slopes by reinforced soil and soil Nailing techniques", Highways Agency, UK.
8. NF G38064 (1997), "T1: Recommendations pour l' utilization des geotextiles et produits apparentes, T2: Ouvrages en sols rapports, renforces par geotextiles et produits apparentes, T3: Dimensionnement et mise en oeuvre". French National experimental standard, Association Francaise de Normalization, France.
9. NF P94-220 (1992), "Soil Reinforcement: Backfilled structures with inextensible and flexible reinforcing strips or sheets" French National Standard, Association Francaise de Normalization, France.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Τίτλος : Πίνακας καταλληλότητας γεωυλικών σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 14475 (Μετάφραση στα Ελληνικά)
Κατάλληλα γεωυλικά συναρτήσει του είδους της γεωκατασκευής, των στοιχείων όπλισης και του συστήματος επένδυσης παρειάς

Πίνακας Α.1- Τυπικοί συνδυασμοί γεωυλικών, στοιχείων όπλισης και επένδυσεων παρειάς

ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ		Τύπος 1	Τύπος 2		Τύπος 3		Τύπος 4	
		Ελεύθερα Στραγγιζόμενο	Κοκκώδες		Ενδιάμεσο		Λεπτόκοκκο	
	Γεωμηχανικά χαρακτηριστικά	% διερχόμενο από βροχίδα 80 μικρών	<5%	<12%	12 έως 35%	12 έως 35%	>35%	άλλα
		% διερχόμενο από βροχίδα 20 μικρών	n.a	n.a	<10%	>10%	<40%	
		Δείκτης Πλαστικότητα	n.a	n.a	n.a	<25	<25	
ΕΙΔΟΣ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ								
	Το μέρος της κατασκευής εκτεθειμένο σε πλημμυρακαυή σε απότομη πτώση της στάθμης του ύδατος	A	B	B	Δ	Δ	Δ	
	Γεωκατασκευές στις οποίες εδράζονται ακρόβαθρα γέφυρας, σιδηροδρομικές γραμμές, κτίρια	A	A	B	Γ (α)	Δ	Δ	
	Υψηλοί σπλισμένοι τοίχοι	A	A	B	B	Δ	Δ	
	Υψηλά οπλισμένα επιχώματα	A	A	B	B	Γ (β)	Γ (β)	
	Συνήθεις τοίχοι και επιχώματα	A	A	A	B	Γ (β)	Γ (β)	
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΛΙΣΗΣ								
	Λεία λωριδωτά ή ραβδωτά στοιχεία (μεταλλικά ή πολυμερικά)	A	A		Γ (α)		Δ	
	Λωριδωτά ή ραβδωτά στοιχεία με νευρώσεις (μεταλλικά ή πολυμερικά)	A	A		B	Γ (β)	Δ	
	Πλέγματα ράβδων, εννοία φύλλα όπλισης, γεωπλέγματα (μεταλλικά ή πολυμερικά)	A	A		B	Γ (β)	Δ	
	Γεωσυνθετικά αποστράγγισης (Διαπερατότητα στο επίπεδό τους)	B	A		A		Γ (β)	
ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΠΑΡΕΙΑΣ								
	Άκαμπτη	A	A		Δ (α)		Δ	
	Ημι-άκαμπτη	A	A		Γ (ε)		Δ	
	Εύκαμπτη	A	A		A	B	Γ (ε)	
			ΣΗΜΕΙΩΣΗ:		A : Συνήθης πρακτική B : Όχι Συχνή εφαρμογή Γ : Απαιτεί ειδική μελέτη Δ : Δεν συνιστάται			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:								
Γενικά								
Οι προτεινόμενοι συνδυασμοί (γεωυλικών, στοιχείων όπλισης και συστήματος επένδυσης παρειάς) αποτελούν απλά και μόνο οδηγία και όχι προδιαγραφή. Η παραπάνω συνοπτική περιγραφή των γεωυλικών αναφέρεται σε κάποιες μόνο από τις βασικές ιδιότητες των γεωυλικών και όχι σε όλα τους τα χαρακτηριστικά. Τα ειδικά χαρακτηριστικά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, θα καθορίζονται στην μελέτη του έργου. Λεπτόκοκκο (λιμοσργιλώδες) υλικό επίχωσης που περιέχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας (μεγαλύτερης της βέλτιστης) συμπυκνώνεται δύσκολα. Κατά την συμπύκνωση, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν διεπιφανείς μικρές διαμηκτικές αντοχές και να μην επιτευχθεί η απαιτούμενη συμπύκνωση. Λεπτόκοκκο υλικό επίχωσης το οποίο έχει αποτεθεί και συμπυκνώνεται υπό συνθήκες καιρικής συνθήκης θεωρείται προβληματικό. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη πιθανή παραγωγή του υλικού αυτού, κατά την χρησιμοποίησή του σε ψυχρά κλίματα.								
Ειδικά:								
α. Εάν δεν επιτευχθεί επαρκής συμπύκνωση των γεωυλικών, τότε οι διαφορικές καθιζήσεις που μπορεί να επισυμβούν μεταξύ της επένδυσης της παρειάς και των στοιχείων όπλισης, πιθανώς θα προκαλέσουν την υπερφόρτιση των συνδέσεων των δύο στοιχείων.								
β. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι υδραυλικές ιδιότητες του γεωυλικού.								
γ. Ιδιαίτερα μέριμνα θα πρέπει να λαμβάνεται για την επίδραση που έχει στην γωνία τριβής γεωυλικού ή όλη διαδικασία συμπύκνωσης του υλικού λαμβανομένης υπόψη της περιεχόμενης υγρασίας των κλιματολογικών συνθηκών και της πιθανής χρήσης ζωνών στράγγισης								
δ. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των γεωυλικών και των στοιχείων όπλισης πρέπει να καθορίζονται τόσο με βάση τις συνθήκες που επικρατούν κατά την διάρκεια της εκσκαφής αλλά και για μακροχρόνιες.								
ε. Κατά την διάρκεια κατασκευής της επένδυσης της παρειάς, θα πρέπει να υπάρχει έλεγχος της ορθής τοποθέτησης των στοιχείων που την αποτελούν.								

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Τίτλος: Μέθοδοι υπολογισμού του ολικού συντελεστή ασφάλειας οπλισμένου επιχώματος

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφάλειας ενός οπλισμένου επιχώματος γίνεται με βάση τη γενική σχέση [B1], στην οποία η εφελκυστική δύναμη του στοιχείου όπλισης, εισάγεται στον παρανομαστή και συνεισφέρει στην μείωση των ροπών ολίσθησης M_D :

$$FS_{\text{οπλισμενο}} = M_R / (M_D - T_s R) \quad [B1]$$

όπου :

$FS_{\text{οπλισμενο}}$: Συντελεστής ασφάλειας οπλισμένου πρανούς.

$M_R (\varphi, c, R, T_s)$: Άθροισμα Ροπών Αντοχής (Συνάρτηση διατμητικής αντοχής εδάφους & Εφελκυστικών δυνάμεων αντίστασης)

M_D : Άθροισμα Ροπών Ολίσθησης.

T_s : Άθροισμα Εφελκυστικών δυνάμεων αντίστασης (ανά m πλάτους) όλων των στοιχείων όπλισης τα οποία τέμνει ο κύκλος ολίσθησης. (Προκύπτουν από την περιβάλλουσα αντοχής του στοιχείου)

R : Βραχίονας ροπών της εφελκυστικής δύναμης T_s γύρω το υπολογιστικό κέντρο του κύκλου ολίσθησης.

Η εφελκυστική δύναμη του στοιχείου όπλισης (T_s) στο σημείο της τομής της με την επιφάνεια ολίσθησης, θεωρείται ότι δρα είτε οριζόντια, είτε εφαπτομενικά στον κύκλο ολίσθησης, είτε υπό γωνία μεταξύ των δύο παραπάνω κατευθύνσεων. Η θεώρηση δράσης της εν λόγω δύναμης κατά την οριζόντια διεύθυνση, οδηγεί σε συντηρητικότερη διαστασιολόγηση. Σε κάθε περίπτωση τα λογισμικά που διατίθενται στο εμπόριο δίδουν συνήθως τη δυνατότητα επιλογής από το χρήστη της γωνίας δράσης της αντίστοιχης δύναμης.

Η παραπάνω σχέση θεωρείται αντιπροσωπευτική και προτείνεται από διεθνή συγγράμματα της διεθνούς βιβλιογραφίας ως η πλέον κατάλληλη για τον υπολογισμό οπλισμένων συστημάτων.

Ορισμένα λογισμικά διαθέτουν εναλλακτικά διαφορετική προσέγγιση του συντελεστή ασφάλειας ενός οπλισμένου επιχώματος με βάση τη γενική σχέση [B2], στην οποία η εφελκυστική δύναμη του στοιχείου όπλισης, εισάγεται στον αριθμητή και συνεισφέρει στην αύξηση των ροπών αντοχής M_R :

$$FS_{\text{οπλισμενο}} = (M_R + T_s R) / M_D \quad [B2]$$

Με βάση τη συγκεκριμένη σχέση φαίνεται ότι για συνθήκες οριακής ισορροπίας ($FS=1,0$) ο συντελεστής ασφάλειας ($FS_{\text{οπλισμενο}}$) εφαρμόζεται ως συντελεστής απομείωσης, τόσο επί των παραμέτρων αντοχής του εδάφους¹ c και $\tan\varphi$, όσο και επί της δύναμης T_s καθόσον ισχύει:

Από [B2]

$$1,0 = (M_R / FS_{\text{οπλισμενο}}) + (T_s R / FS_{\text{οπλισμενο}}) / M_D \quad [B3]$$

Είναι φανερό ότι με εφαρμογή της σχέσης [B3] απομειώνονται υπολογιστικά οι παράμετροι αντοχής εδάφους και όπλισης σύμφωνα με τις σχέσεις:

¹ Υπολογιστική απομείωση των παραμέτρων αντοχής φ & c γίνεται και με τη χρήση της σχέσης [B1]

$$C_{\text{calc}} = c / FS_{\text{οπλισμενο}} \quad [B3.1]$$

$$\tan\varphi_{\text{calc}} = \tan\varphi / FS_{\text{οπλισμενο}} \quad [B3.2]$$

$$T_{s, \text{calc}} = T_s / FS_{\text{οπλισμενο}} \quad [B3.3]$$

Για τη σωστή διαχείριση της σχέσης [B3] και την επίλυση οπλισμένων επιχωμάτων με επιδίωξη γενικού συντελεστή ασφάλειας ίσου π.χ. με $FS_{\text{οπλισμενο}} = 1,30$, η τιμή του συντελεστή απομείωσης γ_m επί της εφελκυστικής αντοχής των στοιχείων όπλισης (παρ. 2.2 τεύχους) θα λαμβάνεται ίση με τη μονάδα ($\gamma_m=1,0$) και όχι με $\gamma_m=1,30$, καθόσον με βάση τη μεθοδολογία της σχέσης [B3] η T_s είναι ήδη απομειωμένη κατά 1,30 ($FS_{\text{οπλισμενο}}$) (Σχέση B3.3).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ευρωκώδικας 7 (2005), "Γεωτεχνικός σχεδιασμός – Μέρος 1: Γενικοί κανόνες", ΕΛΟΤ
2. BS 8006, (1995), "Strengthened / reinforced soils and other fills", Committee of British Standards
3. Chandler R.J. (1998), "The Analysis of the stability of slopes", M.Sc Course Notes in soil Mechanics, Imperial College.
4. F.H.W.A.-NHI-00-043 (2001), "Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design and construction guidelines", U.S. Department of Transportation, U.S.A.
5. F.H.W.A.-SA-96-069R, (1996), "Manual for design & construction monitoring of soil nail walls". U.S. Department of Transportation.
6. GStable 7 & STEDwin v2, (2001), Slope Stability Analysis Program Gregory Geotechnical Software.
7. RESSA, (2006), Reinforced Slope Stability Analysis Program, Adama Engineering
8. SLIDE v5, (2006), Slope Stability Analysis Program, Rocscience
9. TALREN, (1997), Reinforced Slope Stability Analysis Program, Terrasol