Χρήση γεωσυνθετικών υλικών στα έργα για την πιστοποίηση της λωρίδας ασφαλείας και του πέρατος διαδρόμων αεροδρομίων κατά EASA

Use of geosynthetics at the works for the certification of runway strip and runway end safety areas (RESA) according to EASA regulations

ΣΤΡΑΤΑΚΟΣ, Χ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, NAMALAB Α.Ε.
ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, ΕΔΑΦΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η πιστοποίηση ενός αεροδρομίου προϋποθέτει την ικανοποίηση των απαιτήσεων της απόφασης 2022/006/R EASA (European Union Aviation Safety Agency). Παρουσιάζονται οι ορισμοί της λωρίδας ασφαλείας και πέρατος διαδρόμου και παρατίθενται τα επιτρεπτά όρια της φέρουσας ικανότητας του εδάφους πέριξ του διαδρόμου. Σε περίπτωση ανεπαρκούς αντοχής, απαιτούνται έργα, συνήθως χωματουργικά, για την ενίσχυση της αντοχής της κρίσιμη ανώτερης επιφάνειας του εδάφους. Τα χωματουργικά έργα περιλαμβάνουν την επιφανειακή αντικατάσταση του εδάφους χαμηλής αντοχής και εναλλακτικά εξετάζεται η χρήση γεωσυνθετικών υλικών για την ενίσχυση της στρώσης αδρανών και τη μείωση των ποσοτήτων.

ABSTRACT : The certification of an airport as an integral system necessitates the fulfillment of certain infrastructure requirements as per the Decision 2022/006/R of EASA (European Union Aviation Safety Agency). The paper presents the definition of runway strip and runway end safety areas along with the respective threshold limits of the subgrade's bearing capacity. In case of insufficient strength of the existing subgrade, shallow earthworks are typically implemented for the strength enhancement of the critical superficial zone. The earthworks include the replacement of the existing surface subgrade layer while the use of geosynthetics provide an alternative solution as a basal reinforcement which facilitate quantities reductions.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός των αεροδρομίων σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λειτουργικών τμημάτων τους, τις απαιτήσεις ασφάλειας και τη δομική επάρκεια των επιστρωμένων επιφανειών (οδοστρώματα), βασίζεται σε διεθνείς κανονισμούς (ICAO, FAA, EASA, κλπ.).

Σύμφωνα με την απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, (ΕΕ) 2018/1139 (Basic Regulation), ο σχεδιασμός των αεροδρομίων θα πρέπει να εξασφαλίζει υψηλά επίπεδα ασφαλείας και απαιτείται πιστοποιητικό για τα αεροδρόμια. Το εν λόγω πιστοποιητικό καλύπτει το αεροδρόμιο και τον εξοπλισμό ασφαλείας του. Στη χώρα μας το πιστοποιητικό εκδίδεται από την Αρχή Πολιτικής Αεροπορίας (ΑΠΑ) κατόπιν επαλήθευσης συμμόρφωσης των υποδομών και του φορέα λειτουργίας του κάθε αεροδρομίου με συγκεκριμένες προδιαγραφές πιστοποίησης και απαιτήσεις σχετικές με την οργάνωση και τις επιχειρησιακές διαδικασίες.

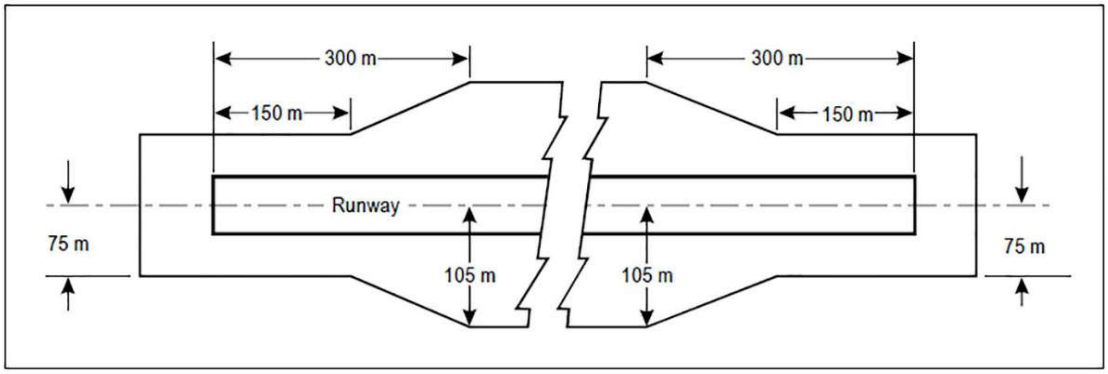
Σε εφαρμογή της ανωτέρω απόφασης της ΕΕ, η EASA (European Union Aviation Safety Agency) έχει εκδώσει την απόφαση 2022/006/R, η οποία περιλαμβάνει ως παράρτημα τα κείμενα με τις απαιτήσεις πιστοποίησης (CSs – Certification Specifications) και το σχετικό καθοδηγητικό υλικό (GM – Guidance Material). Τμήμα των απαιτούμενων συμμορφώσεων ενός αεροδρομίου, αποτελεί η διαμόρφωση της λωρίδας ασφαλείας και του πέρατος διαδρόμου.

Ο σκοπός της διαμόρφωσης της λωρίδας ασφαλείας είναι η ελαχιστοποίηση των κινδύνων για ένα αεροσκάφος που εκτρέπεται του διαδρόμου. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει η λωρίδα ασφαλείας να παρέχει επαρκή αντοχή, ώστε να αποτρέπεται η θραύση-κατάρρευση του ρινιαίου σκέλους προσγείωσης του αεροσκάφους. Ως εκ τούτου, συστήνεται το έδαφος σε βάθος 15cm κάτωθεν της επιφάνειας της λωρίδας ασφαλείας, να έχει επαρκή σταθερότητα και φέρουσα ικανότητα εκφραζόμενη με την τιμή του δείκτη CBR, ο οποίος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 15-20%.

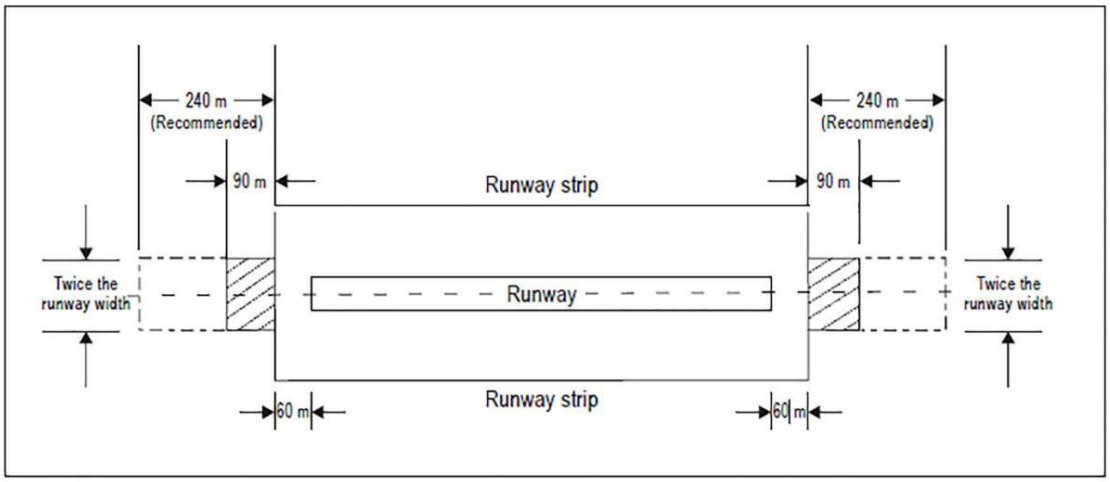
2. ΑΝΤΟΧΗ ΛΩΡΙΔΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΤΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΟΥ

Στις παραγράφους GM1 ADR-DSN.B.175 – Grading of runway strips και GM1 ADR-DSN.C.210 Runway end safety areas (RESA) (ref), δίνονται αντίστοιχα ο γεωμετρικός προσδιορισμός της λωρίδας ασφαλείας διαδρόμου και πέρατος διαδρόμου που παρουσιάζονται και γραφικά στα Σχήματα 1α και 1β.

Η λωρίδα ασφαλείας διαδρόμου (strip) είναι το τμήμα του αεροδρομίου σε απόσταση 75m έως 105m (κατά περίπτωση) από τον άξονα του διαδρόμου, δηλαδή καλύπτει επιφάνεια πλάτους 150m έως 210m και τουλάχιστον 90m από το πέρας αυτού (RESA).



(α)



(β)

Σχήμα 1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά α) λωρίδας ασφαλείας διαδρόμου και β) πέρατος διαδρόμου (για αεροσκάφη CODE 3 ή 4).
Figure 1. Geometry of a) runway's safety strip and b) runway end safety area (for aircrafts code 3 or 4).

Οι απαιτήσεις σχετικά με την αντοχή της λωρίδας ασφαλείας και πέρατος διαδρόμου δίνονται στην προδιαγραφή της EASA CS-ADR-DSN, Παράρτημα στην Απόφαση ED Decision 2022/006/R, Issue 6, 29.03.2022.

Στην παράγραφο GM1 ADR-DSN.B.190 – Strength of runway strips, αναφέρονται τα ακόλουθα:

«Ο σκοπός της διαμόρφωσης της λωρίδας ασφαλείας είναι η ελαχιστοποίηση των κινδύνων για ένα αεροσκάφος που εκτρέπεται του διαδρόμου. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει η λωρίδα ασφαλείας να παρέχει επαρκή αντοχή, ώστε να αποτρέπεται η θραύση-κατάρρευση του ρινιαίου σκέλους προσγείωσης του αεροσκάφους. Η λωρίδα ασφαλείας θα πρέπει να παρέχει ικανοποιητική τριβή (drag) στο αεροσκάφος και κάτωθεν της επιφάνειάς της. Θα πρέπει να έχει ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα για την αποφυγή ζημιών στο αεροσκάφος. Για την κάλυψη αυτών των διαφορετικών αναγκών, παρέχονται οι ακόλουθες οδηγίες για τη διαμόρφωση της λωρίδας ασφαλείας. Σημειώνεται ότι το απαιτούμενο βάθος διείσδυσης του ρινιαίου σκέλους, χωρίς την θραύση του, ορίζεται σε 15cm. Ως εκ τούτου, συστήνεται το έδαφος σε βάθος 15cm κάτωθεν της επιφάνειας της λωρίδας ασφαλείας, να είναι κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να έχει επαρκή σταθερότητα και φέρουσα ικανότητα, εκφρασμένες με την τιμή του δείκτη CBR, ο οποίος πρέπει να είναι τουλάχιστον 15-20%. Ο σκοπός της υπόψη απαίτησης είναι η αποφυγή πρόκλησης ζημιάς στο ρινιαίο σκέλος. Τα άνω 15cm δύναται να έχουν μικρότερη φέρουσα ικανότητας, διευκολύνοντας την επιβράδυνση του αεροσκάφους. Υπάρχουν και άλλες αντίστοιχες μέθοδοι έρευνας και προσδιορισμού της αντοχής του εδάφους. Σε περίπτωση βαθύτερης βύθισης από 15cm, η μέγιστη βύθιση των τροχών χωρίς κατάρρευση θα πρέπει να εξεταστεί χρησιμοποιώντας εναλλακτικές μεθόδους γεωτεχνικής έρευνας».

Οι ίδιες απαιτήσεις ισχύουν και για τις περιοχές ασφαλείας πέρατος διαδρόμου, σύμφωνα με την παράγραφο GM1 ADR-DSN.C.235 – Strength of runway end safety areas.

3. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ CBR

Οι γεωτεχνικές έρευνες, που ακολουθούν τις μεθοδολογίες που υιοθετούνται για έργα οδοστρωμάτων, αποσκοπούν στον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους, με όρους CBR, σε βάθος 15cm από την επιφάνεια και περιλαμβάνουν τη δειγματοληψία υλικού, εκατέρωθεν του διαδρόμου και στα άκρα αυτού, εντός των περιοχών της λωρίδας ασφαλείας και του πέρατος διαδρόμου. Οι θέσεις δειγματοληψίας συστήνεται κατ΄ αρχάς να απέχουν περί τα 200-250m, αναλόγως βεβαίως των συνθηκών και της ομοιομορφία των επιτόπου εδαφών. Το βάθος μια τέτοιας γεωτεχνικής έρευνας δεν ξεπερνά συνήθως τα 2.0m.

Οι εργαστηριακές δοκιμές που συνήθως εκτελούνται μετά από επιφανειακές δειγματοληψίες που εκτελούνται είτε χειρωνακτικά είτε με εκσκαφές φρεάτων δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Εργαστηριακές δοκιμές.
Table 1. Laboratory tests.

Α/Α	Δοκιμή	Πρότυπο
1	Κοκκομετρική ανάλυση	Ε 105-86/7 ASTM D 422 EN 933-1
2	Όρια Atterberg	Ε 105-86/5&6 ASTM D 4318 CEN ISO/TS 17892-12
3	Τροπ. Proctor	Ε 105-86/11 ASTM D 1557 EN 13286-2
4	CBR	Ε 105-86/12 ASTM D 1883 EN 13286-47

Ο εργαστηριακός προσδιορισμός του δείκτη CBR για μεγάλο πλήθος δειγμάτων απαιτεί αφενός τη δειγματοληψία μεγάλης ποσότητας υλικού, αφετέρου είναι χρονοβόρος και ενδεχομένως σε πολλές περιπτώσεις μη αντιπροσωπευτικός. Για τον λόγο αυτό προτιμάται στην πράξη ο προσδιορισμός της τιμής CBR με επιτόπου δοκιμές DCP που είναι πολύ

ταχύτερες από τις μετρήσεις επιτόπου CBR. Η δοκιμή DCP εκτελείται σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 6951, είναι γρήγορη, δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα και τυγχάνει ευρείας αποδοχής για την έρευνα της φέρουσας ικανότητας εδαφών κατά τον σχεδιασμό οδοστρωμάτων (FAA, 2021). Είναι δε ιδιαιτέρως κατάλληλη σε περιβάλλον αεροδρομίων όπου τα χρονικά παράθυρα πρόσβασης, για έρευνες πλησίον του διαδρόμου των αεροδρομίων, είναι περιορισμένα και απαιτείται εξοπλισμός που μπορεί να απομακρυνθεί άμεσα για την απρόσκοπτη λειτουργία του αεροδρομίου.

Ο Δείκτης DCP (DCPI, ρυθμός διείσδυσης) συσχετίζεται με την τιμή CBR σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 6951, με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\mathrm{CBR} = \frac{292}{\mathrm{DCPI}^{1.12}}$$ όλα τα εδάφη, εκτός CL με CBR < 10% και CH (1)

$$\mathrm{CBR} = \frac{1}{(0.017019 \times \mathrm{DCPI})^2}$$ για εδάφη CL με CBR < 10% (2)

$$\mathrm{CBR} = \frac{1}{0.002871 \times \mathrm{DCPI}}$$ για εδάφη CH (3)

4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Σε περίπτωση που από τη γεωτεχνική έρευνα προκύψει ότι η αντοχή του υπεδάφους σε βάθος μεγαλύτερο των 15cm από την επιφάνεια είναι ανεπαρκής, τότε απαιτείται η λήψη μέτρων βελτίωσης της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, ώστε να επιτυγχάνεται συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της EASA.

Τα μέτρα που δύνανται να εφαρμοστούν είναι ενδεικτικά τα ακόλουθα:

- Αντικατάσταση του εδάφους και κατασκευή στρώσης εξυγίανσης με ή χωρίς τη χρήση γεωσυνθετικών υλικών.
- Σταθεροποίηση του υπεδάφους με υδράσβεστο ή χρήση τσιμέντου ή λοιπά νέα προϊόντα πρόσμικτων.

Η σταθεροποίηση του εδάφους δεν εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

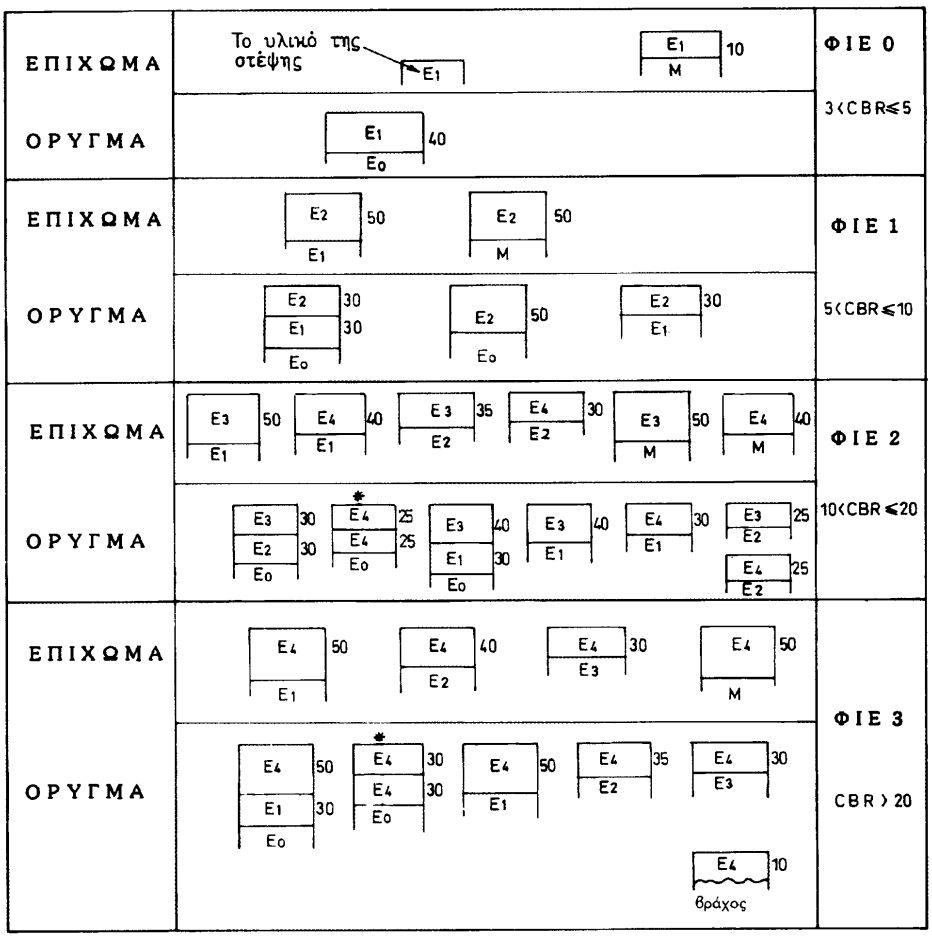
4.1 Αντικατάσταση του υπεδάφους

Η διαστασιολόγηση της στρώσης βελτίωσης δύναται να πραγματοποιηθεί μέσω εμπειρικών συστάσεων π.χ. του «Ελληνικού Κανονισμού Μελετών Έργων (ΚΜΕ)», όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2 ή μέσω αναλυτικών μεθόδων (βλέπε § 4.2 ακολούθως).

Σύμφωνα με τον ΚΜΕ, η κατάταξη του υπεδάφους έδρασης γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως περιγράφεται στην ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-01-00:2018. Για τις ανάγκες διαστασιολόγησης της στρώσης βελτίωσης, συστήνεται να λαμβάνεται υπόψη η κατάταξη με αναφορά στη φέρουσα ικανότητα έδρασης (ΦΙΕ), όπως εκφράζεται από την τιμή CBR.

4.2 Χρήση γεωσυνθετικών υλικών

Το πάχος της στρώσης εξυγίανσης δύναται να μειωθεί με τη χρήση οπλισμού από γεωσυνθετικά υλικά στη διεπιφάνεια της έδρασης αυτής με το επιτόπου εδάφος. Η μείωση των ποσοτήτων των χωματουργικών είναι ιδιαιτέρως κρίσιμη σε περιπτώσεις έργων που δεν υφίστανται πλησίον αυτών δανειοθάλαμοι λήψης κατάλληλων υλικών, γεγονός που καθιστά την χρήση γεωσυνθετικών σε τεχνικο-οικονομικούς αλλά και περιβαλλοντικούς όρους πολύ ανταγωνιστική. Ο οπλισμός με γεωσυνθετικά μπορεί να περιλαμβάνει την τοποθέτηση γεωυφάσματος, γεωπλέγματος ή συνδυασμού γεωυφάσματος-γεωπλέγματος. Γενικά, συστήνεται η χρήση γεωυφάσματος-γεωπλέγματος, για τον διαχωρισμό της στρώσης βελτίωσης από το υπέδαφος, προστατεύοντας το κοκκώδες υλικό από μόλυνσης εξ διείσδυσης λεπτόκοκκων κατά τη φάση λειτουργίας του έργου.



Σχήμα 2. Ελάχιστα πάχη στρώσης έδρασης οδοστρώματος συναρτήσει απαιτήσεων CBR.
Figure 2. Minimum thickness of subgrade pavement layer in terms of required CBR.

Το πάχος της οπλισμένης στρώσης βελτίωσης υπολογίζεται κατά κανόνα από τις μεθόδους των Giroud-Han (2004) και Leng-Gabr (2006).

Μέθοδος Giroud-Han (2004)

Η μέθοδος Giroud-Han εφαρμόζεται τόσο για γεωυφάσματα, όσο και για γεωπλέγματα και λαμβάνει υπόψη τις τάσεις στη διεπιφάνεια μεταξύ της στρώσης βάσης και του υπεδάφους και τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους. Το πάχος της φέρουσας στρώσης εξυγίανσης / έδρασης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση.

$$h = \frac{0.868+(0.661-1.006\,J^2)\cdot(\frac{r}{h})^{1.5}\cdot \log N}{1+0.204(R_E-1)} \cdot \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi\cdot r^2}}{\left(\frac{s}{f_s}\right)\cdot[1-0.9\exp\,(-\frac{r}{h})^2]\cdot N_c f_c\cdot CBR_{sg}}} - 1\right)\cdot r \qquad (4)$$

Στην Εξ. (4), h : το απαιτούμενο πάχος της στρώσης εξυγίανσης / έδρασης (m), J : ο συντελεστής ευστάθειας γεωπλέγματος (m N/°), ο οποίος λαμβάνει τιμή J = 0, για άοπλες διατομές και διατομές με οπλισμό από γεωυφάσματα, r : η ακτίνα ισοδύναμης επιφάνειας επαφής τροχού (m), N : το πλήθος των αξόνων, R_E : ο λόγος των μέτρων ανάκτησης της φέρουσας στρώσης / υπεδάφους, P : το φορτίο του τροχού (kN), s : το επιτρεπόμενο βάθος τροχαυλάκωσης (mm), f_s : συντελεστής ίσος με 75mm, N_c : συντελεστής φέρουσας ικανότητας, ο οποίος λαμβάνει τιμές N_c = 3.14 για άοπλες, μη επιστρωμένες διατομές, N_c = 5.14 για μη επιστρωμένες διατομές, οπλισμένες με γεωύφασμα και N_c = 5.71 για μη επιστρωμένες διατομές, οπλισμένες με γεώπλεγμα, f_c : συντελεστής ίσος με 30kPa.

Ο λόγος των μέτρων ανάκτησης της φέρουσας στρώσης / υπεδάφους, R_E, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση.

$$R_E = \min\left(\frac{3.48\ CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}}, 5.0\right) \quad (5)$$

Στην Εξ. (5), CBR_{bc} : CBR στρώσης εξυγίανσης / έδρασης και CBR_{sg} : CBR υπεδάφους.

Μέθοδος Leng-Gabr (2006)

Οι Leng και Gabr παρουσίασαν μια μέθοδο για το σχεδιασμό οπλισμένων μη επιστρωμένων οδοστρωμάτων, η οποία είναι παρεμφερής με τη μέθοδο Giroud-Han, αλλά έχει σημαντικές διαφορές στη θεωρητική προσέγγιση και στην παράμετρο που χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της επίδρασης οπλισμών με γεωπλέγματα. Πρακτικά η μέθοδος βασίζεται στην απλοποιημένη ανάλυση της διανομής των κατακόρυφων τάσεων, στη συσχέτιση μεταξύ του βαθμού κινητοποίησης της φέρουσας ικανότητας και στο τέμνον μέτρο ελαστικότητας των γεωπλέγματος σε επιμήκυνση 2%. Επιπλέον, η μέθοδος έχει επικυρωθεί με αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών. Το πάχος της φέρουσας στρώσης βάσης προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση.

$$h = \frac{\alpha\cdot(1+K_2\cdot\log N)}{\tan a_1}\cdot\left(\sqrt{\frac{p_c}{m_c\cdot N_c\cdot c_u}} - 1\right) \quad (6)$$

Στην Εξ. (4), h : το απαιτούμενο πάχος της στρώσης εξυγίανσης / έδρασης (m), α : η ακτίνα της φορτιζόμενης επιφάνειας (m), K_2 : παράμετρος διανομής τάσεων, σε σχέση με την εφελκυστική αντοχή του οπλισμού σε παραμόρφωση 2%, N : το πλήθος των αξόνων, a_1 : η αρχική γωνία διανομής φορτίου σχεδιασμού, σε σχέση με τον λόγο μέτρων ελαστικότητας των στρώσεων βάσης – υπεδάφους (E_1/E_2) και την εφελκυστική αντοχή του οπλισμού σε παραμόρφωση 2%, p_c : η τάση μονού τροχού (kPa), m_c : ο λόγος αναπτυσσόμενης φέρουσας ικανότητας υπεδάφους, N_c : συντελεστής φέρουσας ικανότητας, ο οποίος λαμβάνει τιμές N_c = 3.80 για άοπλες, μη επιστρωμένες διατομές, N_c = 5.69 για μη επιστρωμένες διατομές, οπλισμένες με γεωύφασμα και N_c = 6.00 για μη επιστρωμένες διατομές, οπλισμένες με γεώπλεγμα, c_u : αστράγγιστη διατμητική αντοχή υπεδάφους (kPa).

4.3 Σύγκριση μέτρων ενίσχυσης αντοχής υπεδάφους

Τα οφέλη από την ενίσχυση στρώσεων ασύνδετων αδρανών με γεωσυνθετικά υλικά διερευνώνται με συγκριτικούς υπολογισμούς, οι οποίοι βασίζονται στις ημι-αναλυτικές μεθόδους Giroud-Han και Leng-Gabr, καθώς επίσης και βάση λογισμικών που έχουν αναπτυχθεί από εταιρείες παραγωγής γεωσυνθετικών.

Εξετάζεται η περίπτωση εδάφους με τιμή σχεδιασμού CBR = 2.5%. Το υπόψη υλικό κατατάσσεται από την άποψη της φέρουσας ικανότητας στην κατηγορία Ε0, κατά ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-01-00:2018. Το υλικό της στρώσης εξυγίανσης / βελτίωσης λαμβάνεται κοκκώδες (π.χ. Ε4) και το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αφορά τιμή στόχου φέρουσας ικανότητας επιφανείας CBR = 20%.

Λαμβάνεται φόρτιση από διέλευση ενός (N = 1) αεροσκάφους, τύπου Airbus A321 neo, το οποίο έχει φορτίο άξονα δίδυμων τροχών 454kN, που αντιστοιχεί σε φορτίο τροχού P = 227kN (≈250kN) και πίεση των ελαστικών p = 1 500kPa. Η ακτίνα της ισοδύναμης επιφάνειας επαφής του τροχού προκύπτει r = 0.23m.

Ο οπλισμός της στρώσης επιλέγεται να είναι γεώπλεγμα ονομαστικής εφελκυστικής αντοχής $T_{nom.}$ = 30kN/m, εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού (μακροχρόνια) T_d = 9.24kN/m και συντελεστή ευστάθειας J = 1.40 m N/°.

Το επιτρεπόμενο βάθος τροχαυλάκωσης λαμβάνεται s = 75mm, το οποίο είναι μικρότερο της μέγιστης επιτρεπτής βύθισης τροχού (150mm) της προδιαγραφής EASA.

Από το Σχήμα 1 προκύπτει ότι για την επίτευξη φέρουσας ικανότητας κατηγορίας ΦΙΕ 3 (CBR > 20%), απαιτείται η κατασκευή στρώσης εξυγίανσης από υλικό Ε4, πάχους 60cm.

Τα αποτελέσματα των ημι-αναλυτικών μεθόδων Giroud-Han και Leng-Gabr δίνονται στον Πίνακα 2, χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά λογισμικά (MACREAD Studio της εταιρείας MACCAFERRI, SecuCalc της εταιρείας NAUE και BaseCalculator της εταιρείας HUESKER).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα διαστασιολόγησης στρώσης βελτίωσης.
Table 2. Improvement layer design results.

Α/Α	Πάχος στρώσης εξυγίανσης (cm)		Μεθοδολογία	Λογισμικό
	άοπλη	οπλισμένη		
1	55	12	Giroud-Han	MACREAD Studio
2	56	12	Giroud-Han	Secucalc
3	45	30	Leng-Gabr	MACREAD Studio
4	46	29	HUESKER nomographs	BaseCalculator

Με τη μέθοδο Giroud-Han, το απαιτούμενο πάχος της στρώσης βελτίωσης για τις ζώνες με CBR = 2.5%, θεωρώντας κοκκώδες υλικό, είναι 55-56cm. Το πάχος της άοπλης στρώσης βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με τα αποτελέσματα κατά τον Ελληνικό Κανονισμό Μελετών Έργων (ΚΜΕ), σύμφωνα με τον οποίο απαιτείται στρώση βελτίωση πάχους 60cm. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί γεώπλεγμα, το απαιτούμενο πάχος μειώνεται στα 12cm.

Η εφαρμογή της μεθόδου Leng-Gabr για υπέδαφος με CBR = 2.5%, έδωσε πάχος άοπλης στρώσης βελτίωσης ίσο με 45cm, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί γεώπλεγμα, το απαιτούμενο πάχος μειώνεται στα 30cm.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού BaseCalculator, το απαιτούμενο πάχος της στρώσης βελτίωσης για τις ζώνες με CBR = 2.5%, θεωρώντας κοκκώδες υλικό, είναι 46cm. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί γεώπλεγμα, το απαιτούμενο πάχος μειώνεται στα 29cm.

Η χρήση γεωσυνθετικών για την ενίσχυση στρώσεων από ασύνδετα αδρανή εμφανίζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα, σε σχέση με την κατασκευή άοπλων στρώσεων:

- μείωση απαιτούμενων εκσκαφών,
- μείωση αλληλεπίδρασης με υφιστάμενα δίκτυα και κατασκευές, ιδίως σε αεροδρόμια
- μείωση ποσοτήτων αδρανών υλικών,
- δυνατότητα χρήσης υλικών εκσκαφής κατόπιν εμπλουτισμού,
- ευκολία κατά την εφαρμογή,
- μείωση χρόνου κατασκευής, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις περιπτώσεις εργασιών σε αεροδρόμια εν λειτουργία,
- βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του έργου, μέσω της μείωσης των εκπομπών CO_2 από το σύνολο των εργασιών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πιστοποίηση των αεροδρομίων και η συμμόρφωσή τους με τις απαιτήσεις της EASA είναι μία επίπονη, αλλά απαραίτητη διαδικασία, μέσω της οποίας διασφαλίζεται ότι ο σχεδιασμός και η λειτουργία τους εναρμονίζονται με τις κοινές Ευρωπαϊκές απαιτήσεις και η παρεχόμενη ασφάλεια είναι υψηλού επιπέδου.

Για την πιστοποίηση της αντοχής της λωρίδας ασφαλείας και πέρατος διαδρόμου απαιτείται η εκτέλεση γεωτεχνικής έρευνας, η οποία περιλαμβάνει επιτόπου δοκιμές DCP, δειγματοληψίες υλικών, εργαστηριακές δοκιμές κατάταξης εδαφών και δοκιμές CBR.

Σε περιπτώσεις εδαφών χαμηλής αντοχής απαιτείται βελτίωση της αντοχής του υπεδάφους. Η συνηθέστερη μέθοδος είναι η αντικατάσταση της επιφανειακής εδαφικής στρώσης με υλικό κατάλληλης αντοχής. Εντούτοις, η πρακτική αυτή απαιτεί την εκτέλεση εκτεταμένων χωματουργικών εργασιών, συνήθως υπό συνθήκες αεροδρομίου σε λειτουργία, με σημαντικούς χωρικούς και χρονικούς περιορισμούς για λόγους ασφάλειας πτήσεων.

Η χρήση γεωσυνθετικών υλικών (γεώπλεγμα, γεωύφασμα) ενίσχυσης της αντοχής στρώσεων από ασύνδετα υλικά, παρουσιάζει σημαντικά οφέλη και πλεονεκτήματα έναντι των

άοπλων στρώσεων αδρανών, τα οποία μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν τη μείωση των εκσκαφών και των απαιτούμενων ποσοτήτων αδρανών, αλλά και τον χρόνο κατασκευής.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δρουδάκης, Α. Ι., (2022), “Η χρήση γεωσυνθετικών στην ενίσχυση των εργοταξιακών δρόμων πρόσβασης ”, πρακτικά Ημερίδας Γεωτεχνική Μηχανική & Σχεδιασμός Οδοστρωμάτων, σελ. 203-212.

Ευρωπαϊκή Ένωση (2018), “Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Απόφαση (ΕΕ) 2018/1139 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου”, 04.07.2018.

Μπαρδάνης, Μ. Ε., Στρατάκος, Χ. Φ., (2022), “Το ελαφρύ δυναμικό πενετρόμετρο και η χρήση του στη γεωτεχνική έρευνα οδοστρωμάτων και λοιπών έργων”, πρακτικά Ημερίδας Γεωτεχνική Μηχανική & Σχεδιασμός Οδοστρωμάτων, σελ. 149-160.

Ντούλης, Γ. Ι., Μιγκίρου, Μ. Γ., (2022), “Στρώση εξυγίανσης και σχεδιασμός οδοστρώματος”, πρακτικά Ημερίδας Γεωτεχνική Μηχανική & Σχεδιασμός Οδοστρωμάτων, σελ. 25-29.

Στρατάκος, Χ., Μπαρδάνης, Μ. (2019), “Η δοκιμή ελαφρού δυναμικού πενετρομέτρου και η χρήση της”, πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Αθήνα, 6-8 Νοεμβρίου 2019.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (1994), “Πρότυπα Κατασκευής Έργων (Π.Κ.Ε.) – Πρότυπα Οδοποιίας”, Σχέδιο Π.Ο.-Σ1δ, Τύποι Οδοστρωμάτων (Νέων) – Ονοματολογία δομικής διαμόρφωσης οδών και απαιτήσεις συμπύκνωσης, Ελλάδα.

European Union Aviation Safety Agency (EASA) (2022), “Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design (CS-ADR-DSN)”, Issue 6, 29.03.2022.

Federal Aviation Administration (FAA) (2021), “Advisory Circular AC 150/5320-6G, Airport Pavement Design and Evaluation”, USA.

Giroud, J.P. and Han, J. (2004a). “Design method for geogrid-reinforced unpaved roads – Part I: Theoretical development”, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, pp. 775-786.

Giroud, J.P. and Han, J. (2004b). “Design method for geogrid-reinforced unpaved roads - Part II: Calibration and verification”, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, pp. 787-797.

Leng J., Gabr M.A., Deformation-Resistance Model for Geogrid-Reinforced Unpaved Road. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1975, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2006, pp. 146-154.