

Η ιπταμένη τέφρα ως υλικό υποβάσεων οδοστρωμάτων

Ι. Παπαγιάννη, Α. Παπαβασιλείου, Ι. Τραγόπουλος, Σ. Σελεβός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Τα υδραυλικού χαρακτήρα αναμίγματα που χρησιμοποιούνται ως υποβάσεις στην οδοποιία ή στην κατασκευή δαπέδων προδιαγράφονται στα Ευρωπαϊκά πρότυπα EN 14227 και EN 13286. Εξ' ορισμού οι ασβεστούχες τέφρες επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται εφόσον πληρούν τις απαιτήσεις του κανονισμού EN 14227-4 που αφορούν κυρίως την κατανομή κόκκων, τη σταθερότητα όγκου και την περιεχόμενη υγρασία. Είναι γνωστό ότι οι ιπτάμενες τέφρες που συλλέγονται από τους λιγνιτικούς σταθμούς παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη σύστασή και ιδιαίτερα στο περιεχόμενο (CaO) και ποσοστό θεικών των κόκκων. Ακολουθώντας τις υποδείξεις του κανονισμού EN 14227-3 έγινε μια σειρά αναμιγμάτων και ακολούθησαν μετρήσεις που αφορούν τη δοκιμασία Proctor, CBR, θλιπτική αντοχή και άλλα μηχανικά χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συνεισφορά της ιπτάμενης τέφρας στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών είναι σημαντική και αξιοσημείωτη αντοχή της τάξης $R_c=20\text{MPa}$ μπορεί να επιτευχθεί. Αναφέροντας την εμπειρία από προηγούμενες εφαρμογές κατά την κατασκευή της EGNATIA ODOS γίνεται μια προσπάθεια να εντοπισθούν τα εμπόδια που αναστέλλουν τη χρήση της ελληνικής ιπτάμενης τέφρας στην οδοποιία. Επίσης οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει το υλικό και σχολιάζεται κατά πόσο οι Ευρωπαϊκές προδιαγραφές που προαναφέρονται καλύπτουν επαρκώς τη χρήση των ασβεστούχων τεφρών σε υδραυλικά αναμίγματα.

Λέξεις κλειδιά: ασβεστούχα τέφρα, υδραυλικού χαρακτήρα αναμίγματα, EN προδιαγραφές, χημική σύσταση, απαίτηση νερού.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση των ασβεστούχων τεφρών στην οδοποιία και στην κατασκευή δαπέδων για τη σταθεροποίηση των στρώσεων βάσης καλύπτεται από τη σειρά των Ευρωπαϊκών προτύπων EN 14227 και EN13286. Τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη από μια τέτοια εφαρμογή που αφορά όλους τους τύπους οδοστρωμάτων εύκαμπτων και άκαμπτων είναι προφανής τόσο σε εθνικό όσο και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη νοτιοανατολική Ευρώπη όπου επικρατεί το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικά συλλεγόμενης τέφρας βρίσκονται σε εξέλιξη έργα μεγάλων οδικών αρτηριών, αεροδρομίων, αποθηκευτικών χώρων σε λιμάνια και εμπορευματικούς σταθμούς[1] ενώ έχουν προγραμματισθεί πολλά έργα υποδομής για την επόμενη δεκαετία[2].

Ο τομέας αυτός της χρήσης των τεφρών σε γεωτεχνικές εφαρμογές είναι γνωστός διεθνώς από τη δεκαετία του 70[3] αλλά μέχρι σήμερα και ειδικά για τις ασβεστούχες τέφρες η ποσότητα του υλικού που προσροφάται για υψηλής αξίας γεωτεχνικές εφαρμογές(και όχι για την αποκατάσταση ορυγμάτων) είναι σχετικά χαμηλή. Οι σχεδιαστές έργων, οι μηχανικοί είναι απρόθυμοι να εφαρμόζουν εναλλακτικά υλικά, ακόμη και όταν υπάρχει οικονομικό όφελος. Η έλλειψη της πλήρους κατανόησης των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από τη χρήση των εγχώριων τεφρών (οικονομικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών, η έλλειψη πολιτικής ή κινήτρων από την πολιτεία για την προώθηση τέτοιων «πράσινων» λύσεων καθώς και η απουσία κώδικα ή οδηγού για τη χρήση των τεφρών αυτών στις συγκεκριμένες εφαρμογές στους οποίους να έχει ενσωματωθεί εμπειρία από την πράξη, αποτελούν εμπόδια που πρέπει να υπερπηδηθούν. Οι μηχανικοί έχουν πολλά ερωτήματα που αφορούν

-ποιότητα και πως θα ελέγχεται η καταλληλότητα των τεφρών

-συνεχής διαθεσιμότητα του υλικού

-τρόπος χειρισμού του υλικού και λεπτομερείς οδηγίες εφαρμογής σε όλα τα στάδια κατασκευής

-κατάλληλη αντιμετώπιση όλων των βραχύχρονων ή μακρόχρονων προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν σε σταθεροποιημένες με τέφρα υποβάσεις που κυρίως αφορούν σταθερότητα όγκου και ανθεκτικότητα.

Στην εργασία αυτή αναπτύσσονται αυτές οι απόψεις εν σχέσει με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα που αφορούν τα υδραυλικά χαρακτήρα μίγματα υποβάσεων. Στόχος είναι να αναδειχθούν τα εμπόδια στη χρήση των ασβεστούχων τεφρών βάσει της εμπειρίας από προηγούμενες πιλοτικές εφαρμογές και να συζητηθεί κατά πόσο τα κριτήρια που εισάγονται από τα προηγούμενως αναφερόμενα Ευρωπαϊκά πρότυπα καλύπτουν τη χρήση των ασβεστούχων τεφρών. Επιπλέον γίνονται συστάσεις για την με ασφάλεια χρήση των ασβεστούχων τεφρών ιδιαίτερα στον ελληνικό χώρο.

Η ελληνική εμπειρία από την πράξη

Η υψηλή σχετικά υδραυλικότητα της ελληνικής ασβεστούχας ιπτάμενης τέφρας της ευρύτερης περιοχής της Πτολεμαΐδας που αποτελεί το 80% της συνολικά συλλεγόμενης

τέφρας στους λιγνιτικούς σταθμούς έχει διεξοδικά διερευνηθεί από τη δεκαετία του 80[4,5]. Σκυροδέματα με υψηλό ποσοστό αλεσμένης ιπτάμενης τέφρας αναπτύσσουν αντοχή συγκρίσιμη του συμβατικού σκυροδέματος. Το 1995-97 κατασκευάστηκε το φράγμα της Πλατανόβρυσης με κυλινδρούμενο σκυροδέμα που περιείχε 82% αλεσμένη ιπτάμενη τέφρα και 18% τσιμέντο CEM I42.5[6]. Εν τούτοις η χρήση της ακατέργαστης τέφρας στην οδοποιία ή σε δάπεδα είναι περιορισμένη. Το 1986 το Υπουργείο Δημοσίων Έργων διερεύνησε τη σταθεροποίηση υπόβασης με ακατέργαστη ασβεστούχα τέφρα. Ένα τμήμα δρόμου κατασκευάστηκε αναμιγνύοντας τέφρα και αδρανή επί τόπου[7]. Σύμφωνα με τους συναδέλφους που επέβλεψαν το έργο, τα κύρια προβλήματα ήταν: η πρόωμη πήξη της κονιάς, η μεγάλη απαίτηση σε νερό του αναμίγματος, η δυσκολία χειρισμού του υλικού, η διακύμανση της σύστασης του υλικού, ενώ οι απαιτήσεις αντοχών επιτεύχθηκαν.

Κατά την περίοδο 2000-2002 το Εργαστήριο Οδοποιίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου χρησιμοποίησε ανάμιγμα ακατέργαστης τέφρας περιοχής Πτολεμαΐδας και αδρανών για την κατασκευή υποβάσεων σε δυο πιλοτικά προγράμματα[8]. Στα συμπεράσματα των συγγραφέων για τις σχετικές εφαρμογές αναφέρονται ως παρατηρήσεις η δυσκολία στις συνθήκες αποθήκευσης, η απώλεια εργασιμότητας στα αναμίγματα μεγάλης περιεκτικότητας σε τέφρα, η διακύμανση του απαιτούμενου νερού, η επιρροή των κλιματικών συνθηκών και ιδιαίτερα των υψηλών θερμοκρασιών, η ανάγκη υγρής συντήρησης μετά το στρώσιμο, η ελάχιστη πρόωμη αντοχή των αναμιγμάτων. Η επιτευχθείσα αντοχή των αναμιγμάτων ακατέργαστης τέφρας με αδρανή ήταν περίπου 50-70% των αντίστοιχων μιγμάτων με υδραυλική κονία σκέτο τσιμέντο και θεωρήθηκε ικανοποιητική για το σχεδιασμό των συγκεκριμένων υποβάσεων του προγράμματος.

Σχολιάζοντας τα προηγούμενα πιλοτικά έργα πρέπει να λεχθεί ότι οι πληροφορίες που δίνονται για την ακατέργαστη τέφρα που χρησιμοποιήθηκε όσον αφορά τη χημική σύσταση, τα φυσικά χαρακτηριστικά και γενικά τις δοκιμασίες ελέγχου της τέφρας πριν χρησιμοποιηθεί είναι σχετικά περιορισμένες και δεν επιτρέπουν μια συσχέτιση της συμπεριφοράς των αναμιγμάτων στην πράξη με τα χαρακτηριστικά της τέφρας.

Το 2003 στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Α.Π.Θ στα πλαίσια του ΕΠΑΝ για πιλοτικές εφαρμογές της ιπτάμενης τέφρας ελέγχθηκε ακατέργαστη ιπτάμενη τέφρα που φαίνεται στον Πίνακα 1 ως σταθεροποιητικό υλικό για δύο τύπους εδαφών' ενός τύπου Α κατηγορίας CL κατά Casagrande ταξινόμηση και ενός τύπου Β που συνίστατο από μη συνεκτική άμμο. Τα εδάφη αποτελούσαν υποστρώματα τμημάτων υπό κατασκευήν οδών. Ο δεύτερος τύπος αποτελούσε υπόστρωμα χάραξης Εγνατίας Οδού στη θέση Κλειδί Βέροιας. Τα χαρακτηριστικά των δυο τύπων Α και Β εδαφών δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Ιδιότητες ακατέργαστης ασβεστιτικής ιπτάμενης τέφρας (IT) που χρησιμοποιήθηκε για σταθεροποίηση εδαφών

Χημική σύσταση (%)		Αρχικός χρόνος πήξης (min)	
SiO ₂	27.5	100% IT	30% IT + 70% CEM
Al ₂ O ₃	17.5	150	138
CaO	33.8	Σταθερότητα (Le Chatelier) (mm)	
Fe ₂ O ₃	3.50	100% IT	30% IT + 70% CEM
CaO _{free}	11.13	2.40	1.95
SO ₃	6.31		
Απώλεια πύρωσης	4.20	Λεπτότητα R ₄₅ % w/w	
Υγρασία	0.30	38.5	

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά των εδαφών που σταθεροποιήθηκαν με IT

Τύπος A		Τύπος B	
Χημική σύσταση (%)		(φυσική άμμος)	
SiO ₂	67.4	δραστικό SiO ₂	10%
Al ₂ O ₃	13.8	Ισοδύναμο άμμου (AASHO)	SE 85
Fe ₂ O ₃	5.15		
CaO	1.48	Τροποποιημένη Proctor	P _d = 1.59 Mg/m ³ w = 4.7%
MgO	1.52		
Αλκαλικά	3.13	CBR	2.89
Κοκκομετρική ανάλυση (%)		Κατηγοριοποίηση	
Άργιλος <4μm	9.49	AASHO	A3
Silt 4÷63μm	23.54	ASTM D2487	SP
Άμμος >63μm	66.97		
Όρια Atterberg	Κατηγορία CL		
Τροποποιημένη Proctor	P _d = 1.94 Mg/m ³ w = 12.6%		

Παρασκευάστηκαν δύο μίγματα της ιπτάμενης τέφρας με το έδαφος Α (προσθήκη 20% και 40% κατά βάρος ξηρού μίγματος) και διάφορα μίγματα τέφρας με την άμμο (προσθήκη 0-13% κατά βάρος ξηρού μίγματος). Η τροποποιημένη μέθοδος Proctor χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της max πυκνότητας γ_d , του απαιτούμενου ποσοστού νερού και των ογκομετρικών μεταβολών. Τα δοκίμια των μιγμάτων (κατά τη μέθοδο Proctor) συντηρήθηκαν κατάλληλα (18°C και 90% σχετική υγρασία) και φορτίστηκαν σε ανεμπόδιστη μονοαξονική θλίψη σε ηλικία 7 και 28 ημερών. Μετρήθηκαν επίσης οι παραμορφώσεις λόγω συστολής. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 3.

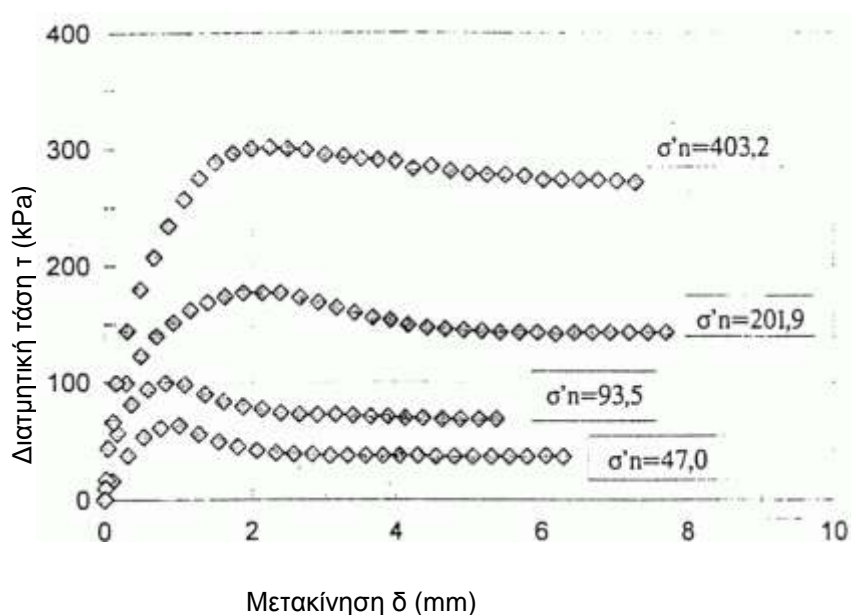
Πίνακας 3. Αποτελέσματα δοκιμής Τροποποιημένης Proctor σε κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 10.15x11.57 cm

Μίγμα	P_d (Mg/m ³)	w (%)	Μονοαξονική θλιπτ. αντοχή			Μεταβολή όγκου		
			R_{c1} (MPa)	R_{c7} (MPa)	R_{c28} (MPa)	Χρονική περίοδος	Μετ.όγκου (%)	Μετ. βάρους (%)
100% έδαφος	1.94	12.6	0.241	0.241	0.241	0-28d	8.0	6.4
20% IT + 80% έδαφος	1.78	15.8	1.00	3.78	3.98	0-28d	2.4	9.7
40% IT + 60% έδαφος	1.66	18.5	1.90	2.50	3.00	0-28d	5.5	12.0

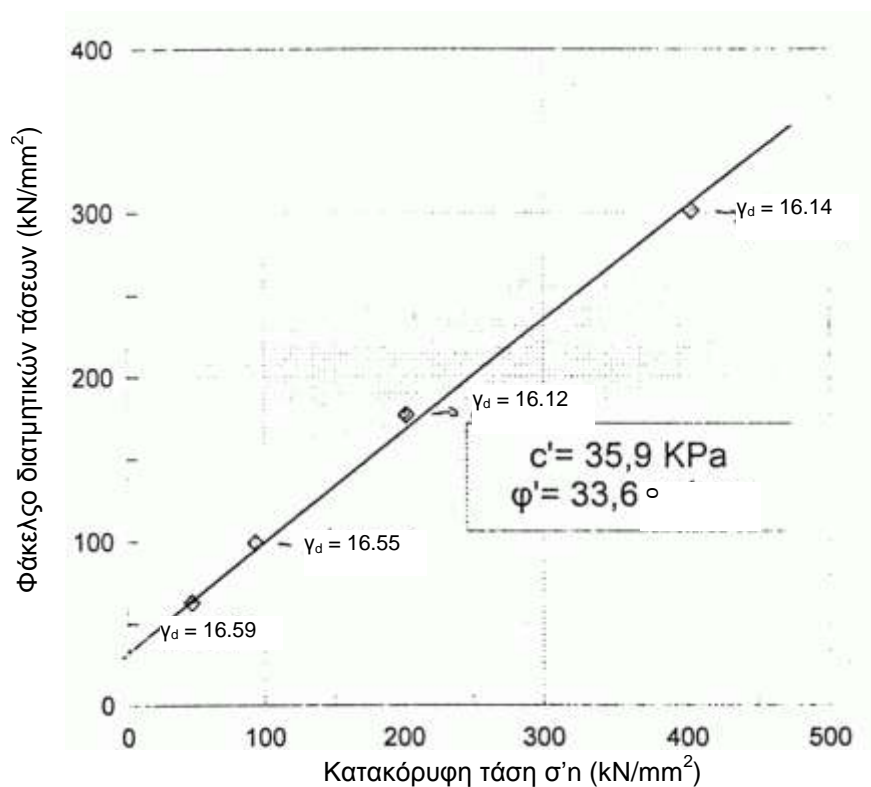
Στην περίπτωση των μιγμάτων τέφρας-άμμου έγιναν μετρήσεις CBR και αντοχής σε διάτμηση υπό διάφορα επίπεδα κύριας τάσης με τη συνεργασία του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής Α.Π.Θ. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4 και η σχέση διατμητικών τάσεων-μετατοπίσεων δίνεται στην εικόνα 1 και 2.

Πίνακας 4. Τιμές Proctor και CBR μιγμάτων ΙΤ και εδάφους τύπου Β

μίγμα	Προσθήκη ΙΤ (%)	P_d (Mg/m ³)	w (%)	CBR μετά από συντήρηση σε υγρασία για 7 ημέρες	Μεταβολή όγκου (%)
1	0	1.59	4.7	2.89	0
2	4	1.60	7.6	7.55	0
3	7	1.62	7.8	19.43	0
4	10	1.67	8.5	25.15	0
5	13	1.68	11.6	34.91	0



Εικόνα. 1 Διάγραμμα διατμητικής τάσης – μετακίνησης



Εικόνα 2. Φάκελος διατμητικής τάσης

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 η ακατέργαστη τέφρα έχει ένα υψηλό ποσοστό διαθέσιμης ασβέστου (CaO 11,13% κατά βάρος) και θεικών (SO₃ 6.13% κατά βάρος) και αναμένονταν μεγάλες μεταβολές όγκου των μιγμάτων εδάφους-τέφρας. Εν τούτοις και για τους δυο τύπους εδαφών η σταθερότητα όγκου βελτιώθηκε με την προσθήκη τέφρας. Επιπλέον διερεύνηση έδειξε ότι οι τύποι A και B εδαφών περιείχαν 5% και 10% δραστικό πυρίτιο, αντίστοιχα.

Έτσι, έγινε η υπόθεση ότι στη σταθερότητα αυτή των μιγμάτων συνετέλεσε η δέσμευση της ασβέστου από το πυρίτιο των εδαφικών υλικών. Αυτή η ενδιαφέρουσα παρατήρηση θέτει θέμα συμβατότητας μεταξύ σταθεροποιητή και εδαφικών μιγμάτων. Για παράδειγμα σε περίπτωση εδαφών πλούσιων σε άμορφο δραστικό πυρίτιο η τέφρα συνεισφέρει στη σταθερότητα και συνεκτικότητα των εδαφών. Πρέπει να ληφθεί επίσης ότι υπάρχει μια optimum προσθήκη στην οποία εμφανίζεται η χαμηλότερη ογκομετρική μεταβολή του μίγματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση που ελέγχθηκε η προσθήκη 20% ιπτάμενης τέφρας παρουσίασε τη χαμηλότερη ογκομετρική μεταβολή.

Έλεγχος ασβεστούχας ιπτάμενης τέφρας σύμφωνα με EN 14227 ως συστατικό υδραυλικών μιγμάτων.

Στα σχετικά πρότυπα EN 14227 και EN 13286 προδιαγράφονται οι απαιτήσεις για τις συνδετικές κονίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μίγματα υποβάσεων καθώς και οι μέθοδοι δοκιμασίας για την καταλληλότητά τους. Στο EN 14227-4 §4,3 οι απαιτήσεις που αφορούν στην ασβεστούχα τέφρα αφορούν την κοκκομετρική διαβάθμιση (ποσοστό >95% να

διέρχεται το 315μm κόσκινο και >70% να διέρχεται το 90μm κόσκινο, στη σταθερότητα όγκου βάσει του προτύπου των τσιμέντων EN196-3 και στο ποσοστό δραστικού CaO που πρέπει να είναι όχι λιγότερο από 5% κ.β και στο δείκτη υδραυλικής δραστηριότητας(σε προαιρετική βάση). Σε σύγκριση με τις απαιτήσεις του προτύπου για τις μη ασβεστούχες πυριτικές τέφρες δεν υπάρχουν όρια για το ποσοστό των θεικών και επιτρέπεται πιο χονδρόκοκκο υλικό ασβεστούχας τέφρας να χρησιμοποιείται. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των μιγμάτων με ασβεστούχα τέφρα είναι πιο χονδρόκοκκη σε σύγκριση με αυτή που προτείνεται αντίστοιχα για μίγματα με πυριτικές τέφρες.

Ακολουθώντας τα υποδειγματικά αναμίγματα που προτείνονται στο Annex C του EN 14227-3:2004, σχεδιάστηκαν τέσσερα αναμίγματα έχοντας συνδετική υδραυλική κονία δύο τύπους ακατέργαστης ασβεστούχας τέφρας που συλλέχθηκαν από τους λιγνιτικούς σταθμούς έτσι ώστε να διαφέρουν στο ποσοστό διαθέσιμης ασβέστου, CaO, στα θεικά (SO₃) και στη λεπτότητα των κόκκων. Στον πίνακα 5 φαίνονται οι αναλογίες των αναμιγμάτων και στον Πίνακα 6 τα χαρακτηριστικά των τεφρών τύπου Α και Β.

Πίνακας 5. Μίγματα με Ασβεστιτική Ιπτάμενη Τέφρα

Συστατικά (kg/m ³)	Μίγμα 1	Μίγμα 2	Μίγμα 3	Μίγμα 4
Ασβεστιτική Ιπτάμενη Τέφρα	1625.4	1775.5	137.8	184.0
Τσιμέντο CEM I42.5 N	180.6	-	-	46.0
Λεπτόκοκκο αδρανές (0-4mm)	-	-	971.2	930.2
Χονδρόκοκκο αδρανές (4-16 mm)	-	-	1187.0	1136.9
Νερό	270.9	266.3	137.8	138.0

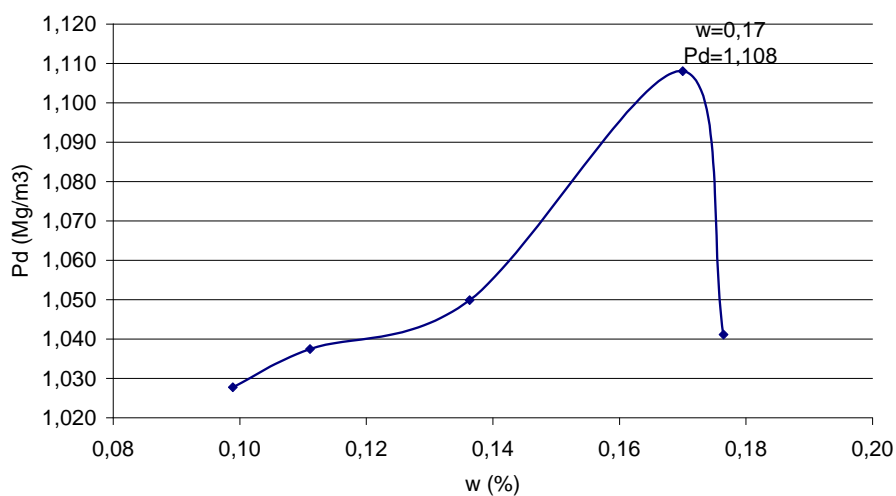
Πίνακας 6. Ιδιότητες Ασβεστιτικής Ιπτάμενης Τέφρας Α και Β

Είδος IT	Χημική σύσταση		Λεπτότητα	Σταθερότητα όγκου	Κοκκομετρία	
	CaO _{διαθ}	SO ₃	R ₄₅	30% IT + 70%CEM	315μm	90μm
	w/w (%)	(%)	w/w (%)	(mm)	(% διερχόμενο κ.β.)	
A	5.60	3.80	45.8	1.95	99.0	72.6
B	11.5	6.31	38.0	2.75	97.2	71.1

Το ποσοστό υγρασίας και για τις δυο τέφρες ήταν κάτω από 0,5%. Κατ' αρχήν η max ξηρή πυκνότητα και το αντίστοιχο optimum ποσό υγρασίας μετρήθηκαν για τα αναμίγματα του πίνακα 5 με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor σύμφωνα με EN13286-2. Οι τιμές που προσδιορίστηκαν φαίνονται στον πίνακα 7 και ένα τυπικό διάγραμμα Proctor δίνεται στην εικόνα 3.

Πίνακας 7. Τιμές ελέγχου Proctor για τα μίγματα Ασβεστιτικής Ιπτάμενης Τέφρας και μηχανικές αντοχές R_c , R_{it}

Μίγματα	P_d (Mg/m^3)	w (%)	R_{c7} (MPa)	R_{c28} (MPa)	R_{it} (MPa)	E_c (MPa)
1 (IT + CEM)						
IT Τύπος Α	1.195	13.8	-	-	-	-
IT Τύπος Β	1.200	14.3	-	-	-	-
2 (IT)						
IT Τύπος Α	1.108	17.0	-	-	-	-
IT Τύπος Β	1.190	17.9	-	-	-	-
3 (IT + Αδρ.)						
IT Τύπος Α	2.200	7.6	4.8	8.8	-	-
IT Τύπος Β	2.220	8.6	5.2	10.1	-	-
4 (IT + CEM + Αδρ.)						
IT Τύπος Α	2.230	6.6	11.8	18.5	1.42	125
IT Τύπος Β	2.240	6.8	10.5	22.5	1.57	200



Εικόνα 3. Διάγραμμα τροποποιημένης Proctor για το μίγμα Νο.2

Μετρήσεις θλιπτικής αντοχής έγιναν σε κύβους 150x150x150mm που συμπυκνώθηκαν με δονητική τράπεζα σύμφωνα με το πρότυπο EN 13286-5. Τα δοκίμια συντηρήθηκαν σε υγρό περιβάλλον 98% σχετικής υγρασίας (δεν εμβαπτίσθηκαν σε νερό). Άλλες δοκιμασίες όπως είναι CBR, έμμεσης εφελκυστικής αντοχής, μέτρου ελαστικότητας και σταθερότητας όγκου είναι σε εξέλιξη. Βάσει των μέχρι τώρα αποτελεσμάτων μπορεί να λεχθεί ότι οι Ελληνικές ασβεστούχες ιπτάμενες τέφρες στο μεγαλύτερο ποσοστό πληρούν τις απαιτήσεις του EN14227-4 για χρήση σε μίγματα υποβάσεων και αναπτύσσουν σχετικά ικανοποιητικό επίπεδο αντοχής της τάξεως Rc 15/20 ή Rc 18/24. Φαίνεται επίσης ότι με την αύξηση του ποσοστού της τέφρας στο ανάμιγμα, το απαιτούμενο ποσό νερού για μέγιστη ξηρή πυκνότητα αυξάνεται. Περαιτέρω, η χημική σύσταση και ειδικότερα το ποσοστό της ασβέστου και των θεικών καθώς και η λεπτότερη κατανομή κόκκων φαίνεται ότι επηρεάζουν το απαιτούμενο ποσό νερού για max ξηρή πυκνότητα.

Συζήτηση με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα και την εμπειρία.

Θεωρώντας την επιτελεστικότητα ως σταθεροποιητή της ακατέργαστης ασβεστούχας τέφρας σε μίγματα εδάφους για υποβάσεις οδοποιίας μπορεί να λεχθεί ότι η τέφρα αυτή παρουσιάζει πλεονεκτήματα όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκέτη ως κονία ή σε συνδυασμό με πολύ μικρά ποσοστά τσιμέντου ειδικά όταν απαιτείται πρώιμη αντοχή. Σε σύγκριση με τις πυριτικές τέφρες η συνεισφορά των ασβεστούχων στην ανάπτυξη αντοχής είναι μεγαλύτερη επιτρέποντας να χρησιμοποιείται το υλικό από μόνο του. Εν τούτοις η πράξη έδειξε ότι αντιμετωπίζονται θέματα υψηλής απαίτησης σε νερό και απώλειας εργασιμότητας, τα οποία μπορούν να αντιμετωπισθούν με κατάλληλα μέτρα. Όπως φάνηκε από την έρευνα η χημική σύσταση (CaO διαθέσιμο, SO₃) και η λεπτότητα παίζουν τον κύριο λόγο στην αύξηση της απαίτησης σε νερό των μιγμάτων με τέφρα. Οι ασβεστοαργιλικές και θειοασβεστοαργιλικές ενώσεις συντελούν επίσης στην πρώιμη πήξη. Έτσι συνίσταται εκτός από το optimum ποσό νερού κατά Proctor να μετράται η απαίτηση σε νερό της ιπτάμενης τέφρας κατά EN 196 ώστε να μπορεί να υπάρχει έγκαιρη αντιμετώπιση στην πράξη. Η χημική σύσταση φαίνεται ότι παρεμβαίνει και στη σταθερότητα όγκου των μιγμάτων. Σύμφωνα με το EN 14227 η σταθερότητα όγκου ελέγχεται σε μίγμα τσιμέντου-τέφρας. Ο έλεγχος αυτός όμως δεν καλύπτει την περίπτωση όπου η ασβεστούχα τέφρα χρησιμοποιείται από μόνη της ή σε μεγάλο ποσοστό. Μια πρώτη ένδειξη βέβαια σταθερότητας όγκου λαμβάνεται de facto όταν κατά τη δοκιμασία CBR μετράται η γραμμική διόγκωση, αλλά ένα περισσότερο αντιπροσωπευτικό των αιτίων αποσταθεροποίησης των μιγμάτων βραχύχρονο τεστ θα ήταν προτιμότερο.

Γενικά, τα πλαίσια των σχετικών Ευρωπαϊκών προτύπων που έχουν αναφερθεί είναι αρκετά ανοικτά και παρέχουν ευκαμψία στο σχεδιασμό των μιγμάτων. Εν τούτοις εστιάζοντας στις ασβεστούχες τέφρες υπάρχουν θέματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν καλύτερα με τροποποίηση των απαιτήσεων ώστε να διευκολύνονται οι μηχανικοί και να αναπτυχθεί εμπιστοσύνη στο υλικό.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ακατέργαστη ασβεστούχα τέφρα έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στη σταθεροποίηση αργιλικών και αμμωδών εδαφών βελτιώνοντας σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα, τη διατμητική αντοχή και άλλους σχετικούς δείκτες των εδαφών. Η συμβατότητα των εδαφικών υλικών και της τέφρας συνεισφέρει σε καλύτερα αποτελέσματα.

Οι ελληνικές ασβεστούχες ιπτάμενες τέφρες παρόλο που είναι μεγάλης διακύμανσης ως προς τη σύσταση, πληρούν στην πλειονότητά τους τις απαιτήσεις των σχετικών προτύπων EN και προσδίδουν ικανοποιητική αντοχή σε υδραυλικά συνδεδεμένα αναμίγματα της τάξης Rc 15/20 έως Rc 18/24. Μερικές ιδιότητες ή χαρακτηριστικά όπως η σχετικά αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό καθώς και η σταθερότητα όγκου δεν αντιμετωπίζονται επαρκώς στα υπάρχοντα πρότυπα και επιπρόσθετες απαιτήσεις ή τροποποιήσεις στις υπάρχουσες θα βοηθούσαν στο να δημιουργηθεί η εμπιστοσύνη στο υλικό και να διερευνηθεί η εφαρμογή του σε σχετικά έργα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] <http://www.ecoba.com/>

[2] Spiekermann K. & Wegener M. “The role of transport infrastructure for regional development in southeast Europe” SEER SouthEast Europe Review for Labour and Social Affairs, 01, 2006, pp 51-61.

[3] Dobie T.R., Ng S.Y. & Henning N.E. “A laboratory evaluation of lignite fly ash as a stabilization additive for soils and aggregates” Final report No.9-5373 for North Dakota Dept of Highways and Federal Highway Administration by Twin City Testing Inc., St. Paul, MN, January 1975, p 145.

[4] Papayianni I. “An investigation on the pozzolanicity and hydraulic reactivity of a High Calcium Fly Ash” Mag. of Conc. Research, Vol. 39, No 138, March 1987, pp 19-28.

[5] Papayianni I. “Strength and bond data for Greek High Lime Fly Ash Concrete” ACI SP-91, Editor V.M. Malhotra, Vol. 1, Detroit 1986, pp 367-386.

[6] Papayianni I. “Performance of a High Calcium Fly Ash in Roller Compacted Concrete” ACI SP-132, Editor V.M. Malhotra, Vol. 1, Detroit 1992, pp 367-386.

[7] Marsellos N., Christoulas S. & Koliass S. “Use of Fly Ash in Road construction” Deltion KEDE, Buletin 3-4, 1986 (in Greek).

[8] AUTH, Laboratory of Highways Engineering. “Proceedings of seminar on the Use of Industrial By-products in Road Construction” May 13, 2004, Thessaloniki (in Greek).