

**Η ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ  
ΤΕΦΡΑΣ  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΕΣΚΙΟΓΛΟΥ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΑΣΙΚΗΣ ΟΔΟΠΟΙΑΣ**

Επίσημοι προσκεκλημένοι  
Κυρίες και κύριοι

Η απόρριψη κάθε είδους υπολειμμάτων από τη μία και η εξάντληση των φυσικών πόρων από την άλλη είναι δύο από τα σύγχρονα προβλήματα που αντιμετωπίζει η κοινωνία και η κατασκευαστική κοινότητα. Για τον λόγο αυτόν οι ανά την υφήλιο αντίστοιχοι ερευνητές, επηρεαζόμενοι από την παγκόσμια ενεργειακή κρίση στράφηκαν στη διερεύνηση δυνατότητας χρησιμοποίησης διάφορων βιομηχανικών αποβλήτων με σκοπό και το περιβάλλον να προστατεύσουν από την μη επιβλαβή απόθεσή τους αλλά και να προχωρήσουν σε οικονομικές λύσεις κατασκευής τεχνικών έργων με παράλληλη εξοικονόμηση φυσικών πόρων.

Για παράδειγμα η οδοστρωσία και κατά συνέπεια η κατασκευή δρόμων ενώ αρχικά σήμαινε διάστρωση και συμπύκνωση τυποποιημένου τύπου υλικών, σήμερα διερευνάται η δυνατότητα της εν μέρει αντικατάστασης των αδρανών με την εισαγωγή παραπροϊόντων (industrial by-products) με στόχο και την οικονομικότητα σε σχέση με την ανθεκτικότητα. Τα παραπροϊόντα που μελετήθηκαν παγκοσμίως ήταν οι σκωρίες χαλυβουργίας, η ερυθρά ιλύς, η μαρμαρόσκονη, τα τρίμματα ελαστικών και κυρίως η ιπτάμενη τέφρα.

Λέγοντας τέφρα εννοούμε το λεπτό υπόλειμμα που προέρχεται από την καύση στερεών καυσίμων(παραπροϊόν καύσης κονιορτοποιημένου άνθρακα στους Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας).

Ειδικά για την χρήση της ιπτάμενης τέφρας συνηγορούν η μεγάλη διαθεσιμότητά της και το χαμηλό κόστος της με αποτέλεσμα να αποτελεί ένα πρώτης τάξης εναλλακτικό προϊόν. Ταυτόχρονα όμως πρέπει να αναφερθεί και το οξύτατο πρόβλημα της διάθεσης της, αν ληφθούν υπόψιν η περιεκτικότητά της σε ραδιενεργά στοιχεία, όπως ραδόνιο 222 και ότι η υποβάθμιση των υπογείων υδάτων επιτείνεται από την εντατική άντληση για την προστασία των ορυχείων.

Προηγούμενοι ομιλητές θα έχουν προφανώς αναφερθεί στο τι περιέχεται στην τέφρα και από πού προέρχεται. Πληροφοριακά θα λεχθεί ότι η Ι.Τ αποτελεί το 80-90% από το σύνολο της τέφρας που παράγεται, ότι στη χώρα μας έχουμε την τέφρα Μεγαλόπολης στην οποία υπερέχει το οξείδιο πυριτίου 55% και αυτήν της Πτολεμαΐδας στην οποία πλεονεκτεί το οξείδιο του ασβεστίου 24%. Πληροφοριακά επίσης να ειπωθεί ότι η ετήσια παραγόμενη ποσότητα στη χώρα μας ανέρχεται περίπου στους 12 εκατ. τόνους όταν η αντίστοιχη ποσότητα στις ΗΠΑ ανέρχεται στα 70 εκ. τόν.

***Φωτογραφία 1.Κόκκοι ιπτάμενης τέφρας σε διάφορες μεγεθύνσεις (Πηγή Ν. Ηλιού)***

## 1.ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ

Συγκρίνοντας το ποσοστό αξιοποίησης της χώρας με τον αντίστοιχο μέσο όρο της Ευρώπης, αντιλαμβάνεται κανείς ότι υπάρχει σημαντική υστέρηση. Στην Ευρώπη αξιοποιείται διπλάσιο **ποσοστό από την παραγόμενη** τέφρα από το ποσοστό που αξιοποιούμε στη χώρα μας .

Θα μπορούσαμε να αξιοποιήσουμε όλη την τέφρα διοχετεύοντας την στην κατασκευή και στην Οδοποιία πράγμα που θα οδηγούσε σε τριπλασιασμό του ποσοστού αξιοποίησης. Όσο αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, οι ερευνητές πιστεύουν ότι η αντικατάσταση πρώτων υλών και κυρίως ασβεστόλιθου οδηγεί με την σειρά της σε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Από την οικονομική σκοπιά η μεγιστοποίηση της χρήσης της ιπτάμενης τέφρας μέσω μιας λελογισμένης αντικατάστασης του τσιμέντου, θα βοηθούσε σημαντικά στη βιώσιμη ανάπτυξη των δομικών υλικών, μειώνοντας το κόστος της κατασκευής».

Παγκοσμίως και στη χώρα μας η ιπτάμενη τέφρα, ως υλικό με πουζολανικές ιδιότητες τυγχάνει ευρύτατης χρήσης. Αρχικά σαν υποκατάστατο του σκυροδέματος, σαν συνθετικό στοιχείο σταθεροποίησης προβληματικών δρόμων (αντικαθιστώντας υλικά ακριβά όπως τσιμέντο και ασβέστη) αλλά και σαν υλικό κατασκευής και σταθεροποίησης υψηλών επιχωμάτων. Σε αυτό συνηγορεί η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων συνεκτικών υλικών με σημαντική πλαστικότητα , ελαχιστοποιώντας τη διόγκωση των αργιλικών εδαφών , τις καθιζήσεις και τις ολισθήσεις πρανών (Ηλιού 2004)

Έχει αποδειχθεί ότι η προσθήκη τέφρας στο σκυρόδεμα ή η χρήση ως υποκατάστατο του τσιμέντου, σηματοδοτεί μεγαλύτερη αντοχή , ελάττωση της θερμότητας ενυδάτωσης που εκλύεται, μείωση της διαπερατότητας και κυρίως μείωση του κόστους

Η βιβλιογραφία αναφέρει έναν τεράστιο αριθμό μεγάλων κατασκευαστικών έργων. Από τον προηγούμενο αιώνα όταν σταθεροποιήθηκαν χωματόδρομοι για να χρησιμοποιηθούν για στρατιωτικούς σκοπούς και για πρόχειρα αεροδρόμια εκστρατείας .

Πριν εισέλθω στο αντικείμενο που διακονώ αυτό της σταθεροποίησης δρόμων με ιπτάμενη τέφρα, στο οποίο θα καταδείξω τα οικονομικά αλλά και τεχνικά οφέλη, νομίζω ότι είναι αναγκαίο να σας παρουσιάσω κάποια σημαντικά έργα που έγιναν στην χώρα μας.

Πρώτο και χαρακτηριστικότερο αυτό του φράγματος της Πλατανόβρυσης

### **Φωτογραφία 2. Φράγμα Πλατανόβρυσης**

Η κατασκευή του φράγματος του Υδροηλεκτρικού Σταθμού Πλατανόβρυσης στη Δράμα συνιστά την πρώτη αξιόλογη εφαρμογή με απευθείας χρήση ιπτάμενης τέφρας. Το υδροηλεκτρικό φράγμα της Πλατανόβρυσης είναι το πρώτο τέτοιου τύπου στην Ελλάδα (RCC, Roller Compacted Concrete) και το δεύτερο σε ύψος στη Ευρώπη (95 μέτρα). «Για την πραγματοποίησή του χρησιμοποιήθηκαν 135.000 τόνοι ιπτάμενης τέφρας σε ποσοστό 80% στο μίγμα της κονιάς», Δηλαδή η ιπτάμενη τέφρα που χρησιμοποιήθηκε για το σκυρόδεμα του φράγματος είχε αναλογία περίπου 225 κιλά προς 50 κιλά

τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος. Παρότι υπήρχε κόστος μεταφοράς (400χιλ.) η συνολική κατασκευή του φράγματος ήταν οικονομικά συμφέρουσα, συγκρινόμενη με συμβατική κατασκευή - από κονίες . Μετά από τόσα χρόνια (14) από τότε που ολοκληρώθηκε το έργο , δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα(Τσίμας) Έτσι λοιπόν αντί αυτές οι ποσότητες τέφρας να απορριφθούν στο περιβάλλον με τα γνωστά άσχημα αποτελέσματα, χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του φράγματος της Πλατανόβρυσης και κατά συνέπεια την παραγωγή «καθαρής» ηλεκτρικής ενέργειας. Το φράγμα κατασκευάστηκε με τη μέθοδο βαρύτητας RCC εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην Ελλάδα από την ΑΕΓΕΚ, σύμφωνα με την μελέτη που εκπόνησε η ΔΕΗ, ως ιδιοκτήτης του YHE Πλατανόβρυσης.

**Βιβλιογραφικά** Το RCC είναι ένα ύφυργο μίγμα το οποίο προκύπτει από την βίαιη ανάμιξη διαβαθμισμένων αδρανών υλικών με υδραυλικές κονίες και μικρή ποσότητα νερού ώστε να παρουσιάζει μηδενική κάθιση. Γι' αυτό το λόγο τόσο η διάστρωση του όσο και η συμπύκνωσή του γίνεται με χωματουργικό εξοπλισμό, ενώ τα αποτελέσματα αντοχών που αναπτύσσει είναι εφάμιλλα των συμβατικών σκυροδεμάτων και συνεχίζουν να βελτιώνονται έως την ηλικία των 360 ημερών αγγίζοντας τα 450 κιλά/τ.εκ. σε θλίψη.

Η υψηλή περιεκτικότητα του RCC Πλατανόβρυσης σε υδραυλικές κονίες (275 κιλά/κ.μ.) το κατατάσσει στην κατηγορία των πλουσίων σκυροδεμάτων σε πάστα. Οι υδραυλικές κονίες αποτελούνται από 18% τσιμέντο τύπου Ι-45 και 82% ιπτάμενη τέφρα. Αυτή η σχέση 4,5:1 ιπτάμενης τέφρας : τσιμέντου θεωρείται από τις μεγαλύτερες που έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα στον κόσμο και καθιστά την τέφρα το βασικότερο συνδετικό υλικό του RCC. Συνεπώς στο φράγμα της Πλατανόβρυσης οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της τέφρας είναι οι καθοριστικοί παράγοντες της συμπεριφοράς του RCC.

Μετά από εργαστηριακές έρευνες προέκυψε το συμπέρασμα ότι η τέφρα ενεργοποιούμενη με υψηλή άλεση σε μία λεπτότητα κατά Blaine μεγαλύτερη των 4.500 τ.εκ./γραμ. εμφανίζει υδραυλικές ιδιότητες και μπορεί να αξιοποιηθεί προστιθέμενη στα μίγματα σκυροδεμάτων ως υποκατάστατο του τσιμέντου. Για το λόγο αυτό η εταιρία ΑΕΓΕΚ μέσα στον ευρύτερο χώρο του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, κατασκεύασε για λογαριασμό της ΔΕΗ ειδικό συγκρότημα άλεσης και επεξεργασίας, όπου η τέφρα εκτός από την λειοτρίβησή της υφίσταται και έναν υδροψεκασμό ώστε το ελεύθερο CaO να περιορίζεται κάτω του 3%. Το εν λόγω εργοστάσιο έχει δυνατότητα παραγωγής 500 τόνων ημερησίως επεξεργασμένης τέφρας, μετά την ολοκλήρωση του φράγματος της Πλατανόβρυσης σταμάτησε τη λειτουργία του και έκτοτε παραμένει αναξιοποίητο.

Χαρακτηριστικό είναι ότι ο συνολικός όγκος τεφροσκυροδεμάτων του φράγματος, που ανέρχεται στις 460.000 κ. μ., διαστρώθηκε εντός 293 ημερών.

Η μέση ημερήσια παραγωγή και τοποθέτηση τεφροσκυροδέματος στα φράγμα ήταν 1570 κ.μ. ανά ημέρα με μέγιστη τοποθέτηση την 1/5/1996 (4.600 κ.μ.).

Η χρήση για πρώτη φορά στην Ελλάδα ιπτάμενης τέφρας για την κατασκευή ενός μεγάλου τεχνικού έργου και η εμπειρία που αποκτήθηκε είναι πράγματα πολύ σημαντικά για την προώθηση της μελλοντικής αξιοποίησης της ιπτάμενης τέφρας από την οποία θα

προκύψουν οφέλη οικονομικά (μείωση κόστους κατασκευών και εξοικονόμηση ενέργειας), αλλά και περιβαλλοντικά.

Άλλη έρευνα πραγματοποιήθηκε για την παρασκευή ελαφροβαρούς κονιάματος χωρίς επεξεργασία των αδρανών καθώς και η διερεύνηση του ρόλου του φυσικού ζεόλιθου στα παραγόμενα κονιάματα. Εδώ το τσιμέντο αντικαταστάθηκε από ακατέργαστη ιπτάμενη τέφρα και η άμμος από φυσικό ζεόλιθο. Διαπιστώθηκε ότι αυτή η αντικατάσταση μειώνει το φαινόμενο βάρος όλων των δοκιμών γραμμικά και την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (Βογιατζής)

## 2.ΧΡΗΣΗ Ι.Τ ΣΕ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Η χρήση της τέφρας σε έργα οδοποιίας ερευνήθηκε από την δεκαετία του 60.Ο Κόλιας κ.α. ανέμιξαν διάφορα υλικά και με τα 2 είδη τέφρας και απέδειξαν ότι η ανάμιξη αυτή βελτιώνει τα φυσικά τους και μηχανικά χαρακτηριστικά όπως αντοχή σε θλίψη, πλαστικότητα και κοκκομετρική διαβάθμιση. Επίσης κατέδειξαν ότι μπορεί επιτυχώς να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο στην κατασκευή βάσεων και υποβάσεων και στην βελτίωση της βατότητας του επαρχιακού και αγροτικού οδικού δικτύου. Απέδειξαν επίσης ότι σημαντική είναι και η δυνατότητα χρήσης της στην κατασκευή επιχωμάτων, ειδικά όταν εδράζονται σε συμπιεστά εδάφη.

Οι Τσώχος ,Ηλιού (2004) διεπίστωσαν την αύξηση της θλιπτικής και διατμητικής αντοχής του εδάφους και το έλεγχο του φαινομένου της συρρίκνωσης- διόγκωσης εδαφών υψηλής πλαστικότητας, ύστερα από την προσθήκη Ι.Τ.

Ο Σκέιρ(2004) βρήκε ότι στη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων πλεονεκτεί η τέφρα Πτολεμαΐδας, η αντοχή φτάνει τα 50-70% των αντίστοιχων δοκιμών με τσιμέντο, ενώ μειώνεται η ξηρά πυκνότητα και βελτιώνεται η βέλτιστη υγρασία.

Τέλος ο Μουρατίδης (2004) διαπίστωσε ότι μίγματα με αδρανή ή φυσικό αμμοχάλικο παρουσίασαν αυξημένες τιμές αντοχής σε θλίψη και εφελκυσμό

Με βάση τα συμπεράσματα των ερευνητών προχωρήσαμε σε έρευνες για low-volume road στα Δασικά οικοσυστήματα

## 3.ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΕΦΡΑ ΣΤΗΝ ΔΑΣΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

Η πρώτη απόπειρα σταθεροποίησης δασικού δρόμου με τέφρα πραγματοποιήθηκε το 1977 στο Περτούλι από το εργαστήριό μας υπό την διεύθυνση του αείμνηστου καθηγητή κ. Στεργιάδη, εντελώς εμπειρικά με κάποια θεαματικά αποτελέσματα για μία τουλάχιστον 5ετία, χωρίς όμως να συνεχιστεί το ενδιαφέρον και να προστεθεί νέο υλικό.

### ***Φωτογραφία 3. Διάστρωση τέφρας στο Περτούλι***

Αιτία της ερευνητικής δραστηριότητας αξιοποίησης της τέφρας στους δασικούς δρόμους αποτέλεσε η συνεργασία μου με τους Καθηγητές , Hirt και Bourlet του Πολυτεχνείου ΕΤΗ της Ζυρίχης. Η όλη έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη δοκό Benkelman και μέσα από μία σειρά σχέσεων και νομογραφημάτων υπολογίζονται η λειτουργικότητα των οδοστρωμάτων

,ο υπολειπόμενος χρόνος ζωής του, η τιμή αντοχής της κάθε στρώσης, η ενίσχυση και ο αριθμός των κυκλοφορούντων αξόνων

### **1<sup>η</sup> Ερευνητική παρουσίαση**

Από έρευνες που έγιναν στην Ελβετία και στην Ελλάδα (Eskioglou, Hirt και Bourlet, 1995 ) για τη δυνατότητα ενίσχυσης υφισταμένων οδοστρωμάτων στα δάση της χώρας μας, βρέθηκε πως όταν σταθεροποιείται αμμοχαλικώδες έδαφος με ιπτάμενη τέφρα, αυξάνεται η φέρουσα ικανότητά του κατά 40%, ο συντελεστής αντοχής των στρώσεων επίσης αυξάνεται από  $a_i = 0.1$  σε  $a_i = 0.14$  , ενώ μειώνεται 35% η μέση παραμόρφωση του υπό την επίδραση των κυκλοφορούντων φορτίων. Ειδικότερα εδαφική στρώση σταθεροποιημένη με 7% τσιμέντο και 20% τέφρα , παραμορφώνεται - υπό την επίδραση κυκλοφοριακού φόρτου- 2.6 φορές λιγότερο από ισοπαχή στρώση αμμοχάλικου και 1.7 φορές λιγότερο από στρώση σταθεροποιημένη με 8% ασβέστου και 30% τέφρα. Επίσης η σταθεροποιημένη με τσιμέντο και τέφρα στρώση αντέχει 3.5 φορές περισσότερο φορτίο από την σταθεροποιημένη στρώση με ασβέστη και τέφρα και 7 φορές περισσότερο από στρώση αμμοχάλικου.. Κατά τη σταθεροποίηση λεπτόκοκκων εδαφών με συνδυασμό σταθεροποιητών βρέθηκε ότι το ιδανικό ποσοστό σταθεροποιητών είναι 8% ασβέστου και 30% τέφρας. Αυτά τα ποσοστά στο έδαφος μειώνουν την μέγιστη ξηρά πυκνότητα και τον δείκτη πλαστικότητας κατά 60%, ενώ αυξάνουν τη βέλτιστη υγρασία 25% , με αποτέλεσμα το έδαφος να διατηρεί την ευστάθειά του με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας .

Η αύξηση της βέλτιστης υγρασίας στις δοκιμές συμπίκνωσης, οφείλεται στη μεγάλη ειδική επιφάνεια της. Το γεγονός αυτό βρίσκει εφαρμογή σε εδάφη που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία με αποτέλεσμα η συμπίκνωσή τους να είναι δυνατή μετά από εξάτμιση ποσότητας του περιεχόμενου ύδατος. Στα επιχώματα , λόγω του μικρού ειδικού της βάρους και σε σχέση με την μείωση της ξηράς πυκνότητας που προκύπτει, συντελεί στην μείωση του φορτίου που μεταβιβάζεται στην επιφάνεια έδρασης του επιχώματος.

Όσον αφορά την αύξηση της αντοχής των σταθεροποιημένων εδαφών, παρατηρείται μία θεαματική αλλά όχι και ικανοποιητική - βάσει των Π.Τ.Π. - αύξηση της φέρουσας ικανότητας του σταθεροποιημένου εδάφους. Παρατηρείται ότι η αντοχή θλίψης αυξάνει ανάλογα του ποσοστού της τέφρας και του χρονικού διαστήματος συντήρησης των δοκιμών, φθάνοντας σε τιμή  $2.2 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  (αύξηση 135% ) μετά από συντήρηση 7 ημερών και στην τιμή  $3.2 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  (αύξηση 220% ) ύστερα από συντήρηση 28 ημερών.

Η αντοχή αυξάνεται τόσο με την αύξηση του ποσοστού της τέφρας όσο και με την αύξηση της διάρκειας συντήρησης

### **2<sup>η</sup> Ερευνητική παρουσίαση**

Σε αυτήν σταθεροποιήθηκαν με τέφρα χονδρόκοκκα (αμμοχαλικώδη ) εδάφη που χρησιμοποιούνται για θεμελίωση και παρατηρήθηκε αύξηση της αντοχής ενώ μειώθηκε κατά 35% η μέση παραμόρφωση από την επίδραση των κυκλοφορούντων φορτίων. ( Από  $d_m = 528 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$  σε  $d_m = 350 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ )

Κατά την ίδια έρευνα με τη δοκό του Benkelman διαπιστώθηκε ότι η παραμόρφωση της σταθεροποιημένης με τσιμέντο και τέφρα στρώσης και αυτή της στρώσης σταθεροποιημένης με ασβέστη και τέφρα, κινείται στα ίδια επίπεδα.

### 3<sup>η</sup> Ερευνητική παρουσίαση

Σε ένα δασικό χωματόδρομο στο Untervaz της Ελβετίας, σταθεροποιήθηκαν τμήματα μήκους 500m το καθένα, στην αρχή μηχανικά με την προσθήκη υλικού 3Α και στη συνέχεια με μίγμα ασβέστη ή τσιμέντο με τέφρα. Υπολογίστηκε η επιτρεπόμενη παραμόρφωση και για κάθε στρώση - με τη δοκό του Benkelman - οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις. Στη συνέχεια εξετάστηκε η επίδραση που μπορεί να έχουν οι σταθεροποιημένες εδαφικές στρώσεις στην αύξηση της αντοχής του οδοστρώματος και στον υπολοιπόμενο αριθμό ισοδυνάμων αξόνων.

ΠΙΝΑΚΑΣ. Υπολογισθείσες παραμορφώσεις με τη δοκό του Benkelman

| Θέσεις<br>Μέτρησης<br>(m) | Υπάρχον<br>Οδόστρωμα<br>d <sub>i</sub><br>(10 <sup>-2</sup> mm) | Στρώση με<br>3Α<br>d <sub>i</sub><br>(10 <sup>-2</sup> mm) | Σταθερό με Ασβ<br>+τέφρα<br>d <sub>i</sub><br>(10 <sup>-2</sup> mm) | Σταθερό με<br>Τσ. + τέφρα<br>d <sub>i</sub><br>(10 <sup>-2</sup> mm) |
|---------------------------|---|--|---|--|
| 0                         | 245   | 220  | 230   | 180  |
| M.O. " d "                | <b>308</b>  | <b>241</b>   | <b>223</b>  | <b>176</b>   |
| s                         | <b>44</b>   | <b>35</b>  | <b>8.5</b>  | <b>6</b>   |
| d <sub>m</sub> =d+1.3s    | <b>365</b>  | <b>286</b>   | <b>234</b>  | <b>184</b>   |

ΠΙΝΑΚΑΣ. Τιμές επιτρεπόμενης ( d<sub>zul</sub> ), πραγματικής ( d<sub>m</sub> ) παραμόρφωσης, τοπικού παράγοντα R και αριθμού επιτρεπόμενων διελεύσεων αξονικών φορτίων ( W<sub>επιτρ.</sub> ) στα 6 πειραματικά οδοστρώματα.

| ΜΕΓΕΘΗ              | Υπάρχον<br>Οδόστρωμα | Στρώση με<br>3Α | Σταθερό με<br>Ασβ +τέφρα | Σταθερό με<br>Τσ. + τέφρα |
|---------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| d <sub>zul</sub>    | 143                  | 143             | 143                      | 143                       |
| d <sub>m</sub>      | 365                  | 286             | 234                      | 184                       |
| R                   | 2                    | 2               | 2                        | 2                         |
| W <sub>επιτρ.</sub> | 903                  | 2838            | 7774                     | 23188                     |

Οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις στο υπάρχον οδόστρωμα είναι διπλάσιες των αναπτυσσόμενων στη σταθεροποιημένη στρώση με τσιμέντο και τέφρα, αυξημένες κατά 45% σε σχέση με τη σταθεροποιημένη στρώση με τσιμέντο, 35% από τη

σταθεροποιημένη στρώση με ασβέστη και τέφρα και μόνο 22% από τη στρώση με αμμοχάλικο 3A.

Όσον αφορά στην οικονομία της μεταφοράς, αποδεικνύεται ότι στο υπάρχον οδόστρωμα μπορούν να κυκλοφορήσουν ακόμη μόνο 903 ισοδύναμοι άξονες, ενώ αν σταθεροποιηθεί μηχανικά με υλικό 3A η στρώση μπορεί να δεχτεί τριπλάσιο φόρτο δηλ. 2838 άξονες. Η σταθεροποιημένη με ασβέστη στρώση μπορεί να δεχτεί διπλάσιο φόρτο από την προηγούμενη στρώση ( $W_{ep} = 5785$ ). Μικρή αύξηση προκύπτει από την προσθήκη στον ασβέστη ποσότητας τέφρας, ενώ η σταθεροποιημένη με τσιμέντο δέχεται 13500 άξονες και αν προσθέσουμε και ιπτάμενη τέφρα τότε ο υπολοιπόμενος κυκλοφοριακός φόρτος(23138) είναι κατά 7 φορές αυξημένος σε σχέση με τον φόρτο που μπορεί να δεχτεί η στρώση με 3A.

Είναι φανερό λοιπόν πόσο σοβαρά επιδρά η σταθεροποίηση των εδαφικών στρώσεων επί της αντοχής και επί του υπολοιπόμενου κυκλοφοριακού φόρτου. Από τους σταθεροποιητές την μεγαλύτερη επίδραση παρουσιάζει το τσιμέντο και ακόμη μεγαλύτερη μίγμα τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας. Η αυξημένη δυνατότητα υποδοχής κυκλοφοριακού φόρτου σε σχέση με την σταθεροποιημένη με αμμοχάλικο 3A, μεταφράζεται σε επιπλέον διέλευση 20000 αξονικών φορτίων που αντιστοιχεί στην επιπλέον κίνηση - στη διάρκεια της 20ετίας - 4000 φορτηγών οχημάτων ή στη μεταφορά 80000 m<sup>3</sup> ξυλείας.

#### 4<sup>η</sup> ερευνητική παρουσίαση

Άλλη έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δασικούς δρόμους που σταθεροποιήθηκαν, εκτός του παραδοσιακού αμμοχάλικου 3<sup>A</sup>, με μίγμα φρεζαρισμένης ασφάλτου και 10% ιπτάμενης τέφρας. Από την διεξαχθείσα έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε δασικό δρόμο της περιοχής Νυμφαίας και χρησιμοποιήθηκε φρεζαρισμένη ασφαλτος από αποξηλωθέντες δρόμους της Κομοτηνής εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Μεταβολή της παραμόρφωσης στις τρεις πειραματικές στρώσεις

| Θέσεις Μέτρησης (m)    | Υπάρχων χωματόδρομος di (10 <sup>-2</sup> mm) | Στρώση με 3A di (10 <sup>-2</sup> mm) | Στρώση με ασφαλτο φρεζαρισμένη di (10 <sup>-2</sup> mm) | Άσφαλτος + Ιπτ. Τέφρα di (10 <sup>-2</sup> mm) |
|------------------------|---|---------------------------------------|---|--|
| 0                      | 325   | 290                                   | 270   | 260  |
| M.O. " d "             | <b>313,7</b>                                  | <b>287</b>                            | <b>265,8</b>  | <b>253</b>                                     |
| s                      | <b>17,3</b>                                   | <b>10,3</b>                           | <b>10,4</b>   | <b>11,3</b>                                    |
| d <sub>m</sub> =d+1.3s | <b>336,2</b>                                  | <b>300,4</b>                          | <b>279,3</b>  | <b>267,7</b>                                   |

Η παραμόρφωση των σταθεροποιημένων στρώσεων, μειώθηκε αντίστοιχα 10%, 16% και 20% σε σχέση με την παραμόρφωση του αρχικού χωματόδρομου. Επίσης βρέθηκε ότι αυξήθηκαν ο δείκτης πάχους SN και ο συντελεστής αντοχής a<sub>i</sub> της κάθε ισοπαχούς στρώσης σε ποσοστά 9%, 15% , 20% και 18%, 26% , 37% αντίστοιχα. Σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε και στον αριθμό των Ισοδύναμων αξόνων που μπορούν να κυκλοφορήσουν από τις νέες στρώσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Τιμές παραμόρφωσης  $d_m$ , δείκτη πάχους, επιτρεπόμενων αξονικών φορτίων και συντελεστών αντοχής στις 3 πειραματικές στρώσεις

| ΜΕΓΕΘΗ      | Υπάρχων<br>χωματόδρομος | Στρώση με<br>3A | Στρώση με ασφαλτο<br>ανακυκλωμένη | Ανακ. Ασφαλτος<br>+Σκωρίες | +Τέφρα |
|-------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------|--------|
| $d_m$       | 336                     | 300             | 279                               |                            | 268    |
| SN          | 3,45                    | 3,78            | 4                                 |                            | 4,15   |
| $W_{επιτρ}$ | 1177                    | 1981            | 2654                              |                            | 3470   |
| ai          | 0,1                     | 0,12            | 0,13                              |                            | 0,14   |

Κάθε βελτιωμένη στρώση έχει την ικανότητα να δέχεται και μεγαλύτερο (αυξημένο) αριθμό κυκλοφορούντων Ισοδύναμων Αξόνων από ότι μπορεί να δεχτεί η αρχική στρώση. Βρέθηκε λοιπόν ότι ενώ από τον αρχικό δρόμο μπορούν να διέλθουν μόνο 1177 Ισοδύναμοι Άξονες μέχρι την ελαχιστοποίηση της λειτουργικότητάς του, με κάθε προσθήκη υλικού βρέθηκε θεαματική αύξηση, μέχρι τριπλασιασμού τους όταν προστίθεται μίγμα φρεζαρισμένης ασφάλτου και τέφρας.

#### 5<sup>η</sup> Ερευνητική παρουσίαση

Κατά την ερευνητική αυτή εργασία μελετήθηκε η μεταβολή ξηράς πυκνότητας και βέλτιστης υγρασίας και της αντοχής διάφορων τύπων εδαφών σταθεροποιημένων σε διάφορες ημέρες συντήρησης

ΠΙΝΑΚΑΣ.Μεταβολή ξηράς πυκνότητας και βέλτιστης υγρασίας

| Μίγματα<br>αργίλου<br>+ I.T.(%) | Αποτελέσματα τροποποιημένης μεθόδου Proctor |                         |                                     |      |
|---------------------------------|---|-------------------------|-------------------------------------|------|
|                                 | Μέγιστη ξηρή πυκνότητα Kg/m <sup>3</sup>    |                         | Βέλτιστη υγρασία %                  |      |
| I.T%                            | έδαφος CL <sub>I</sub>                      | έδαφος CL <sub>II</sub> | CL <sub>I</sub><br>II               | CL   |
| 4                               | 1750  | 1720                    | 16,5                                | 15,4 |
| 6                               | 1720  | 1680                    | 16,7                                | 15,8 |
| 8                               | 1670  | 1630                    | 17,2                                | 16,5 |
| 10                              | 1620  | 1580                    | 17,9                                | 16,9 |
| I.T%                            | έδαφος CH <sub>I</sub>                      | έδαφος CH <sub>II</sub> | CH <sub>I</sub><br>CH <sub>II</sub> |      |
| 5                               | 1580  | 1630                    | 19,7                                | 20,5 |
| 8                               | 1540  | 1600                    | 20                                  | 21,4 |
| 10                              | 1510  | 1570                    | 20,6                                | 21,8 |
| 15                              | 1470  | 1550                    | 21                                  | 22   |



ΠΙΝΑΚΑΣ Αντοχή διαφόρων σταθεροποιημένων σε διάφορες ημέρες συντήρησης

| Έδαφος          | I.T.% | Αντοχή (MPa) για ημέρες συντήρησης |      |      |
|-----------------|-------|------------------------------------|------|------|
|                 |       | 7                                  | 28   | 90   |
| CL <sub>1</sub> | 5     | 0,4                                | 0,7  | 1    |
|                 | 10    | 0,45                               | 1,1  | 1,6  |
|                 | 20    | 0,48                               | 1,5  | 2,8  |
| CL <sub>2</sub> | 5     | 0,48                               | 0,7  | 1,2  |
|                 | 10    | 0,5                                | 1,1  | 1,9  |
|                 | 20    | 0,57                               | 1,6  | 3,1  |
| CH <sub>1</sub> | 5     | 0,1                                | 0,2  | 0,38 |
|                 | 10    | 0,3                                | 0,45 | 0,6  |
|                 | 20    | 0,7                                | 1,2  | 1,8  |
| CH <sub>2</sub> | 5     | 0,2                                | 0,35 | 0,65 |
|                 | 10    | 0,3                                | 0,5  | 1,3  |
|                 | 20    | 0,4                                | 0,75 | 1,9  |

ΠΙΝΑΚΑΣ.Μεταβολή ξηράς πυκνότητας και βέλτιστης υγρασίας

| Μίγματα αμχ/λκου<br>+ I.T.(%) | Αποτελέσματα τροποποιημένης μεθόδου Proctor |            |                    |            |
|-------------------------------|---|------------|--------------------|------------|
|                               | Μέγιστη ξηρή πυκνότητα Kg/m <sup>3</sup>    |            | Βέλτιστη υγρασία % |            |
| I.T%                          | Θραυστό I                                   | Θραυστό II | Θραυστό I          | Θραυστό II |
| 4                             | 2238  | 2212       | 6,4                | 6,3        |
| 6                             | 2278  | 2275       | 7,5                | 7,1        |
| 8                             | 2242  | 2262       | 8,2                | 7,6        |
| 10                            | 2195  | 2200       | 9,1                | 8,4        |
| I.T %                         | Φυσικό I                                    | Φυσικό II  | Φυσικό I           | Φυσικό II  |
| 5                             | 2145  | 2154       | 5,1                | 5,6        |
| 8                             | 2180  | 2187       | 5,5                | 6,0        |
| 10                            | 2150  | 2161       | 5,9                | 6,8        |
| 15                            | 2123  | 2124       | 6,4                | 7,4        |

ΠΙΝΑΚΑΣ Αντοχή διαφόρων σταθεροποιημένων σε διάφορες ημέρες συντήρησης

| Αμμοχάλικο           | I.T.% | Αντοχή (MPa) για ημέρες συντήρησης |     |     |
|----------------------|-------|------------------------------------|-----|-----|
|                      |       | 7                                  | 28  | 90  |
| Θραυστό <sub>1</sub> | 5     | 4                                  | 5   | 7   |
|                      | 10    | 5                                  | 5,8 | 7,5 |
|                      | 20    | 5,5                                | 6,3 | 7,8 |
| Θραυστό <sub>2</sub> | 5     | 4                                  | 5,1 | 6   |
|                      | 10    | 5                                  | 6,5 | 7   |
|                      | 20    | 7,5                                | 8,1 | 8,3 |
| Φυσικό <sub>1</sub>  | 5     | 2                                  | 2,2 | 2,2 |
|                      | 10    | 2,7                                | 3   | 3   |
|                      | 20    | 3,1                                | 3   | 3   |
| Φυσικό <sub>2</sub>  | 5     | 2,2                                | 2,3 | 2,4 |
|                      | 10    | 3                                  | 3,2 | 3,6 |
|                      | 20    | 3,4                                | 3,5 | 3,6 |

Από τα παραπάνω αποτελέσματα της διεξαχθείσας έρευνας, εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα :

Τα εδάφη που ερευνήθηκαν δεν θεωρούνται , λόγω της πλαστικότητάς τους, κατάλληλα για επιχώματα ούτε για υλικά θεμελίωσης οδοστρωμάτων. Η προσθήκη τέφρας αύξησε τη βέλτιστη υγρασία στις δοκιμές συμπίκνωσης, πράγμα που οφείλεται στη μεγάλη ειδική επιφάνεια της, και μείωσε τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα επειδή οι κόκκοι της έχουν μικρό ειδικό βάρος. Το γεγονός αυτό βρίσκει εφαρμογή σε εδάφη που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία με αποτέλεσμα η συμπίκνωσή τους να είναι δυνατή μετά από εξάτμιση ποσότητας του περιεχόμενου ύδατος.

Η αύξηση της βέλτιστης υγρασίας συντελεί και στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας του σταθεροποιημένου εδάφους.

Θεαματική, όχι όμως και ικανοποιητική, υπήρξε η αύξηση της αντοχής σε θλίψη των σταθεροποιημένων εδαφικών δοκιμών. Παρατηρείται ότι η αντοχή αυξάνει ανάλογα με το ποσοστό της τέφρας και το χρονικό διάστημα συντήρησης των δοκιμών. Τη μεγαλύτερη αύξηση την συναντούμε στον τύπο του εδάφους CH<sub>1</sub>,όπου για 90 ημέρες συντήρησης, το σταθεροποιημένο έδαφος με 20% τέφρα παρουσιάζει 5πλάσια αντοχή από το ίδιο έδαφος που σταθεροποιείται με 5% ιπτάμενη τέφρα. Ομοίως στα ίδια εδαφικά δείγματα , με ίδια ποσοστά σταθεροποιητή (20%) , η αντοχή αυξάνεται περίπου 4 φορές όταν το δείγμα σταθεροποιείται για 90 ημέρες αντί για σταθεροποίηση 7 ημερών. Παρ' όλα αυτά όπως προαναφέρθηκε η αύξηση της αντοχής δεν είναι ικανοποιητική διότι η φέρουσα ικανότητά τους μετά την σταθεροποίησή τους δεν αποκτά την αποδεκτή από τις Π.Τ.Π τιμή ,που είναι τα 17Kg / cm<sup>2</sup> , τιμή που πετυχαίνεται μόνο από την προσθήκη τσιμέντου ή ασβέστη στο μίγμα έδαφος-τέφρα.

Από την άλλη τα αμμοχάλικα όταν σταθεροποιούνται, παρουσιάζουν μεν μία μικρή αύξηση σε συνάρτηση με τις ημέρες συντήρησης , πλην όμως πέραν του ποσοστού 10% της τέφρας δεν παρουσιάζεται εμφανής αύξηση της αντοχής τους. Πέραν του ποσοστού αυτού η σταθεροποίηση είναι μία αντιοικονομική επέμβαση που δεν έχει να προσφέρει κάτι παραπάνω.

Τελικά από τα παραπάνω διαπιστώνεται πως η χρησιμοποίηση αυτούσιας ιπτάμενης τέφρας για σταθεροποίηση των αργιλικών ιδιαίτερα εδαφών, είναι μία επιτυχής επέμβαση με την οποία αρχικά δημιουργείται ένα δομικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βελτίωση της βατότητας του δασικού δικτύου με χαμηλό κόστος. Σε συνδυασμό δε με την οικονομία των αδρανών υλικών αφενός και την εκμετάλλευση των επιβλαβών βιομηχανικών παραπροϊόντων αφετέρου διαφαίνεται η σημασία μιας τέτοιας επέμβασης στην προστασία των Δασικών Οικοσυστημάτων και του Φυσικού περιβάλλοντος.

Η οικονομικότητα αλλά και η ανταγωνιστικότητα των εναλλακτικών υλικών και των παραπροϊόντων **είναι δεδομένη**. Η χρησιμοποίηση των παραπροϊόντων αυτών σηματοδοτεί μείωση των απορριπτόμενων υλικών και των χώρων απόθεσης, μείωση κατανάλωσης ενέργειας και αξιοποίηση υλικών μηδενικής αξίας. Από την άλλη σε σχετικά πειράματα leaching test στα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν διαπιστώθηκε η μη τοξικότητά τους όταν προστίθεται ιλύς ή ασβέστης

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και που έρχονται σε πλήρη συμφωνία με αποτελέσματα άλλων ερευνητών θα αποτελέσουν την απαρχή της εφαρμογής της σταθεροποίησης απευθείας στο έδαφος για την κατασκευή νέων οικονομικών και ανθεκτικών οδοστρώσεων.

### **6<sup>η</sup> ερευνητική παρουσίαση**

Εδώ διερευνήθηκε εργαστηριακά η δυνατότητα σταθεροποίησης αργιλικών εδαφών χαμηλής φέρουσας ικανότητας με διάφορες ποσότητες τέφρας και τσιμέντου χωριστά , αλλά και με κοινή προσθήκη μίγματος τέφρας –τσιμέντου , ώστε να καταγραφούν οι όποιες μεταβολές των μηχανικών ιδιοτήτων τους . Τελικός στόχος της εργασίας ήταν να διερευνηθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την έρευνα αυτή, ώστε να αποτελέσουν την απαρχή της εφαρμογής της σταθεροποίησης απευθείας στο έδαφος για την κατασκευή νέων οικονομικών και ανθεκτικών οδοστρώσεων.

Βρέθηκε ότι με τη χρήση τόσο μεμονωμένων όσο και σε μίξη των σταθεροποιητών με το δασικό έδαφος, έχουμε μία σαφή βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών αυτών.Ο δείκτης πλαστικότητας και η μέγιστη ξηρά πυκνότητα μειώθηκαν -σε έδαφος CH- μέχρι 52% και 7% αντίστοιχα. Η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη αυξάνεται με το χρόνο και με την προσθήκη τσιμέντου. Η αντίστοιχη αύξηση λόγω της προσθήκης τσιμέντου είναι περίπου 23%. Η αντοχή σε κάμψη αυξήθηκε σε σχέση με το χρόνο .Ο συνδυασμός τσιμέντου Π35 μαζί με ιπτάμενη δίνει στο εδαφικό δείγμα σημαντικά μεγάλη αντοχή σε κάμψη (0,648MPa). Η αντίστοιχη αύξηση λόγω της προσθήκης τσιμέντου είναι περίπου 23%. Επιπλέον το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη αυξάνεται με το χρόνο και με την προσθήκη τσιμέντου.

Από την εργασία αυτή συμπεράναμε ότι η χρησιμοποίηση της Ι.Τ. για την σταθεροποίηση αργιλικών εδαφικών υλικών παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον από άποψη τεχνική και οικονομική. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά βελτιώνονται σε τέτοιο βαθμό που καθιστούν τις σταθεροποιημένες στρώσεις για περιπτώσεις οδοστρωμάτων με βαριά κυκλοφορία κατάλληλες για στρώση έδρασης με υψηλή φέρουσα ικανότητα γεγονός που μειώνει σημαντικά το απαιτούμενο πάχος του οδοστρώματος.

### **7<sup>η</sup> ερευνητική παρουσίαση**

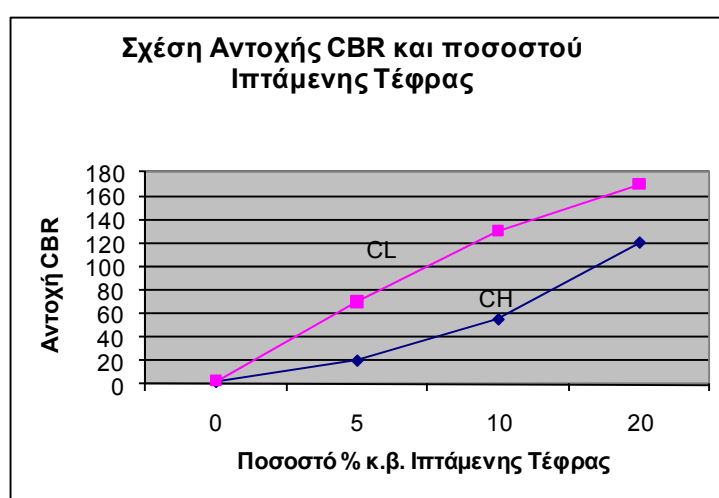
Για λόγους οικονομίας χρησιμοποιήσαμε τοπικά τα 2 είδη τέφρας σε περίξ περιοχές. Σε δασικούς δρόμους των Γρεβενών σε έδαφος άργιλο και αμμοχάλικο προσθέσαμε 50% τέφρα Πτολεμαΐδας ,ενώ σε εδάφη ιλαιοαργιλώδη της Βυτίνας 40% τέφρα Μεγαλόπολης. Βρέθηκε ότι η παραμόρφωση μειώθηκε κατά 25%

### **8<sup>η</sup> ερευνητική παρουσίαση**

Στην εφαρμογή αυτή διαπιστώθηκε ότι αυξανόμενου του ποσοστού τέφρας, μειώθηκε το % ποσοστό της ελεύθερης διόγκωσης από 27,5% χωρίς τέφρα στα 13,5% για προσθήκη 12% τέφρας. Αντίστοιχα αυξήθηκε η πίεση διόγκωσης για αντίστοιχες τιμές τέφρας από 370KPa σε 1230KPa

Επίσης μελετήθηκε η αύξηση της αντοχής των δειγμάτων σε τιμές CBR και έδειξε ότι εδάφη CH, σταθεροποιημένα με 20% Ι.Τ. καταλήγουν να έχουν αντοχή 120 , ενώ τα εδάφη CL τιμή αντοχής CBR=170

| Ποσοστό Υδροσβέστη (%) | Ελεύθερη Διόγκωση (%) | Πίεση διόγκωσης ΚΡα | Ποσοστό Ιπτ. Τέφρας (%) | Ελεύθερη Διόγκωση (%) | Πίεση διόγκωσης ΚΡα |
|------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| 0                      | 27,5                  | 370                 | 0                       | 27,5                  | 370                 |
| 4                      | 24,3                  | 710                 | 4                       | 18                    | 730                 |
| 6                      | 17                    | 1010                | 6                       | 17                    | 1080                |
| 8                      | 16,8                  | 1700                | 8                       | 16                    | 1150                |
| 10                     | 13,5                  | 1920                | 12                      | 13,3                  | 1230                |



Σχήμα Μεταβολή της αντοχής (CBR)των εδαφών έρευνας κατόπιν σταθεροποίησής τους με διάφορες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τόσο από τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών όσο και από αυτά που πραγματοποιήσαμε σε δασικούς δρόμους, τα μηνύματα είναι πολύ ενθαρρυντικά για ορισμένα είδη αργίλων και η χρήση σταθεροποιημένων στρώσεων με ιπταμένη τέφρα ή και τσιμέντο για την κατασκευή στρώσεων έδρασης ή και υπόβασης παρουσιάζει σημαντικά οικονομικά οφέλη λόγω του γεγονότος των βελτιωμένων μηχανικών χαρακτηριστικών των στρώσεων αυτών που συνεπάγονται μειωμένο σημαντικά συνολικό πάχος οδοστρώματος. (Κόλλιας 2002, Μουρατίδης 2004)

Ξεκάθαρο είναι ότι

-Μειώνεται το απαιτούμενο πάχος του οδοστρώματος -αφού αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους- και ταυτόχρονα το κόστος κατασκευής.

-Μειώνεται επίσης το κόστος κατασκευής από την ελαχιστοποίηση της ανάγκης προμήθειας δάνειων εδαφικών υλικών.

Οι εργαστηριακοί έλεγχοι και οι αναλυτικοί υπολογισμοί διαστασιολόγησης κατέληξαν σε μία πρόταση κατασκευής ενός σταθεροποιημένου οδοστρώματος πάχους 20εκ. από αμμοχαλικώδες έδαφος με προσθήκη 5% Ι.Τ. επί του φυσικού εδάφους όπως

ακριβώς προτείνει (Μουρατίδης 2004). Η δημιουργία ενός τέτοιου οδοστρώματος θα επιτρέψει την ομαλή λειτουργία-κυκλοφορία της οδού καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση συνιστάται η επιφανειακή απόξεση του υφιστάμενου σώματος-οδοστρώματος σε βάθος 10εκ., προσθήκη τέφρας 5% (κατά βάρος αδρανών) και νέου υλικού, επί τόπου αναμόχλευση, επαναδιάστρωση και συμπύκνωση. Το πάχος της σταθεροποιημένης στρώσης είναι 20εκ. ενώ στην κατασκευή προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί ακατέργαστη τέφρα. Η διατομή του οδοστρώματος αποτελείται από υπόβαση πάχους 10εκ. σταθεροποιημένη βάση 20 εκ. και όπου απαιτείται, ασφαλτοτάπητας μέχρι 10εκ (Μουρατίδης).

Σταθεροποιώντας τα εδαφικά υλικά με τον κατάλληλο σταθεροποιητή και σε κατάλληλο ποσοστό, δημιουργείται ένα μίγμα που σε σχέση με το αρχικό εδάφος, έχει βελτιωμένα χαρακτηριστικά και γεωτεχνικές ιδιότητες.

Ειδικότερα, μειώνονται η υδατοχωρητικότητα ( $w$ ) του μίγματος και το φαινόμενο βάρος του ( $\gamma_d$ ), αυξάνεται η βέλτιστη υγρασία του ( $W_{opt}$ ) κατά 2% - 5%, μεταβάλλονται οι ιδιότητες πλαστικότητας και κυρίως μειώνεται η τιμή του δείκτη πλαστικότητας. Σημαντική δε είναι και η αύξηση της αντοχής στη δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης.

Από όλα τα παραπάνω ερευνητικά αποτελέσματα συνάγεται ότι το σταθεροποιημένο δείγμα γίνεται α. υλικό ικανό για υποδομή, υπόβαση, βάση ή και επιφανειακή στρώση, β. ανθεκτικότερο στις καιρικές επιδράσεις και στην κυκλοφοριακή φόρτιση, και γ. μπορεί να δεχθεί περισσότερες αξονικές διελεύσεις.

Είναι φανερό λοιπόν ότι η χρησιμοποίηση της ιπτάμενης τέφρας σε έργα οδοποιίας συνεπάγεται σημαντικά τεχνικά και οικονομικά οφέλη. Το κόστος των έργων μειώνεται αισθητά και γίνεται σημαντική εξοικονόμηση πρώτων και προφυλάσσονται τα διαθέσιμα αποθέματα αδρανών για άλλες εργασίες. Με τον τρόπο αυτόν χρησιμοποιούνται υλικά που στη φυσική τους κατάσταση θα ήταν ακατάλληλα για έργα οδοποιίας ενώ τώρα δημιουργούνται οικονομικές και ανθεκτικές στρώσεις για την κίνηση πολύ μεγαλύτερου κυκλοφοριακού φόρτου και έτσι η χρησιμοποίηση της τέφρας, ως τεχνικό αλλά και ως βιολογικό μέτρο, είναι ένα βήμα για μια οδοποιία που σέβεται το περιβάλλον

Θα πρέπει να σταθούμε και σε κάποια μειονεκτήματα.

1 Ένα πρόβλημα που προκύπτει με τη χρήση της είναι ότι υπάρχει εύρος τιμών των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της και έτσι χωρίς έλεγχο δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μαζικά

2. Επεδή πρέπει να κυριαρχεί η θεώρηση ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΝΑΙ ΑΛΛΑ ΜΕΣΩ ΚΥΡΙΩΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΟΧΙ ΤΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ. πρώτιστο σημείο μελέτης θα αποτελέσει η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας από την έκλυση των ραδιενεργών συστατικών και την μόλυνση των υδροφόρων οριζόντων. Η χρήση πρέπει να γίνεται με περίσκεψη σε κατασκευές χωρίς συμπύκνωση και ιδίως όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μικρό βάθος, λόγω απόπλυσης των περιεχομένων μετάλλων τους.

Για το λόγο αυτό η έρευνα αξίζει να προωθηθεί, όχι μόνο για τα τεχνικά πλεονεκτήματα αλλά κυρίως για τα σοβαρά οικολογικά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση της.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ