

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΒΟΥΚΥΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (Α.Μ. 3898)
ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ ΙΑΣΩΝ (Α.Μ. 3799)
ΤΡΙΓΩΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ (Α.Μ. 3749)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ - ΜΑΪΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές μας, κ. Σαράνταπουλο Ανδρέα, ο οποίος ανέλαβε να εισηγηθεί την πτυχιακή μας, και κ. Χρήστου Ζαχαρία που χωρίς την εμπνευσμένη τεχνική και πνευματική του καθοδήγηση, η πτυχιακή αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί. Εξίσου σημαντικός στη διαδικασία της δημιουργίας της εργασίας αυτής στάθηκε ο κ. Γιάννης Βασιλειάδης, του οποίου τη γνώση και τεχνογνωσία χρησιμοποιήσαμε καθ'όλη τη διάρκεια της συγγραφής της. Τους κ. Γρηγορίου Δημήτρη και Κωνσταντίνο, την διδα Περσεφόνη Πετούση και τον κ. Μπιζά Νικόλαο για την παροχή των τεχνικών τους γνώσεων και τη βοήθειά τους. Ακόμη θέλουμε να ευχαριστήσουμε την εταιρία γεωτεχνικών μελετών και ερευνών ΔΟΜΟΕΡΕΥΝΑ και συγκεκριμένα την κυρία Καπογιάννη Χρυσούλα. Τέλος, ευχαριστούμε το Τ.Ε.Ι. Πατρών και το Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής που μας έδωσε την ευκαιρία, παρακολουθώντας τα μαθήματά του, να γνωριστούμε και να συνεργαστούμε σε αυτήν την πτυχιακή, καθώς επίσης και να συμπράττουμε σε διάφορες πτυχές της ζωής μας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κύριος άξονας της εργασίας αυτής είναι το πρόβλημα και η προτεινόμενη λύση του ζητήματος που προκύπτει από την εξόρυξη αδρανών υλικών σε διάφορες περιστάσεις, όπως εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις

Κίνητρο μας για αυτή την πτυχιακή εργασία ήταν η ιδέα της ανακύκλωσης των υλικών που μπορούμε να αντλήσουμε από την κατάργηση ήδη υπαρχόντων τεχνικών έργων όπως έργα οδοστρωσίας και δομικών κατασκευών όπως οικοδομές. Όπως αναλύουμε εκτενέστερα παρακάτω αυτή η ιδέα χρησιμοποιείται κυρίως για την μείωση των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων από τις λειτουργίες των τεχνικών έργων την μείωση του κόστους για την προμήθεια πρώτων υλών για το έργο και την προστασία του πεπερασμένου αριθμού πρώτων υλών.

Δεύτερο σκέλος είναι η εξόρυξη αδρανών που χρειάζονται για έργα υποδομής (ή οικοδομής) όπως χαλίκι σκύρο, 3 Α τα όποια λαμβάνονται από λατομεία υποβαθμίζοντας το φυσικό περιβάλλον και ουσιαστικά «λιγοστεύοντας το». Επιπλέον μέσω της προδιαλογής του σιδήρου από τα προϊόντα κατεδαφίσεων βρίσκομαι και από εκεί ένα επιπλέον ανακυκλούμενο προϊόν. Οι λύσεις των δύο αυτών προβλημάτων αποτελούν ουσιαστικά τις δύο όψεις του ίδιου νομίσματος.

Η ανακύκλωση των φαινομενικά άχρηστων προϊόντων εξόρυξης ή κατεδάφισης θα μειώσει σε ικανοποιητικό βαθμό την αλόγιστη εξόρυξη και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την μετατροπή των υλικών σε μπάζα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναλύεται το θέμα της ανακύκλωσης των αδρανών υλικών που προέρχονται από έργα υποδομής ή οικοδομής, όπως εκσκαφές και κατεδαφίσεις. Αρχικά, επιχειρείται μία παρουσίαση των ειδών των αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται. Εν συνεχεία, γίνεται μία περιγραφή της διαδικασίας της ανακύκλωσης των αδρανών υλικών, περιλαμβανομένων των μεθόδων και του απαραίτητου εξοπλισμού. Ακόμα, αναφερόμαστε στη μελλοντική χρήση των υλικών που είναι αποτέλεσμα ανακύκλωσης, με επίκεντρο στον κύκλο ζωής των ανακυκλούμενων υλικών, τα γενικότερα οφέλη από τη διαδικασία της ανακύκλωσης και, τέλος, παρουσιάζοντας τις προδιαγραφές του Ινστιτούτου Οικονομίας Κατασκευών σχετικά με τα ανακυκλωμένα υλικά.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	3
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	3
1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	8
1.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	9
1.3.1 Αδρανή Υλικά Σκυροδέματος	11
1.3.2 Αδρανή Υλικά Οδοποιίας	12
2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	19
2.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	19
2.1.1 Αυτοφερόμενα Συγκροτήματα Ανακύκλωσης	20
2.1.2 Μόνιμα Συγκροτήματα Ανακύκλωσης	21
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ – ΚΟΣΚΙΝΙΣΜΑΤΟΣ	22
2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	27
2.3.1 Επιφανειακή ανακύκλωση	30
2.3.1.1 Φρέζα	31
2.3.1.2 Λεπίδοφόρο μηχάνημα	33
2.3.1.3 Αναμοχλευτής επιφανείας	34
2.3.2 Ανακύκλωση εν θερμώ	34
2.3.2.1 Ανακύκλωση εν θερμώ επί της οδού	35
2.3.2.2 Επαναδιάστρωση (repave)	35
2.3.2.3 Επανάμιξη (Remix)	37
2.3.2.4 Αναμόρφωση (Reshape)	39
2.3.2.5 Ανακύκλωση εν θερμώ σε μόνιμη εγκατάσταση	39
2.3.2.6 Παραγωγή σε συγκρότημα ανά παρτίδες	42
2.3.2.7 Παραγωγή σε συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής	43
2.3.3 Ανακύκλωση εν ψυχρώ	45
2.3.3.1 Ανακύκλωση εν ψυχρώ επί της οδού (ή ψυχρής επιτόπου ανακύκλωσης)	46
2.3.3.2 Πλεονεκτήματα της μεθόδου ανακατασκευής οδοστρωμάτων με ψυχρή ανακύκλωση	49
2.3.3.3 Ανακύκλωση εν ψυχρώ σε μόνιμη εγκατάσταση	55
2.4 ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	56
2.4.1 Υπολογισμός κόστους σπαστήρα	57
2.4.2 Υπολογισμός κόστους Εκσκαφέα (Τσάπας)	57
2.4.3 Υπολογισμός κόστους Φορτωτή	58
2.4.4 Υπολογισμός κόστους παρελκόμενων εξαρτημάτων του σπαστήρα	58
2.4.5 Κόστος Εγκαταστάσεων που θα γίνουν στο χώρο της εγκατάστασης	59
2.4.6 Υπολογισμός κόστους διαμόρφωσης του υπάρχοντος χώρου	59
2.4.7 Περίφραξη	60
2.4.8 Εγκατάσταση προκατασκευασμένου ακινήτου	60
2.4.9 Προσδιορισμός της συνολικής επένδυσης	60
2.4.10 Αποδοτικότητα της επένδυσης	61
2.4.11 Προσδιορισμός Άμεσου Κόστους Παραγωγής	61
2.4.12 Προσδιορισμός Έμμεσου Κόστους Παραγωγής	61
2.5 ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕ ΣΠΑΣΤΗΡΑ	62
2.5.1 Στάδιο Πρώτο: Εκσκαφή	63
2.5.2 Στάδιο Δεύτερο: Λατομείο	67
2.5.3 Αντιμετώπιση Προβλημάτων	75
2.5.4 Τελειοτάιο Στάδιο: Δειγματοληψία και Έλεγχος	78
2.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ)	79
3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	85

3.1 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ (LIFE CYCLE) ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	89
3.2 ΟΦΕΛΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	93
3.2.1 Περιβαλλοντική Διάσταση Κατασκευής	93
3.2.2 Η έννοια του περιβάλλοντος	93
3.2.2.1 Περιβαλλοντικές εκτιμήσεις	95
3.2.3 Οικονομική εκτίμηση	95
3.2.4 Τύποι περιβαλλοντικών επιπτώσεων	96
3.2.4.1 Κοινωνικό περιβάλλον	97
3.2.4.2 Φυσικό τοπίο – Αισθητική	98
3.2.4.3 Νερό και έδαφος	99
3.2.4.4 Οικολογικό περιβάλλον (πανίδα-χλωρίδα)	99
3.2.4.5 Επιπτώσεις κατά την κατασκευή	100
3.2.4.6 Ρύπανση της ατμόσφαιρας	101
3.2.4.7 Πολιτιστική κληρονομιά	102
3.2.5 Συμπεράσματα – Προτάσεις (Τι προσφέρει η Ανακύκλωση)	103
3.2.5.1 Προστασία και εξοικονόμηση των αποθεμάτων σε αδρανή, ασφαλτο και ενέργεια	103
3.2.5.2 Προστασία του περιβάλλοντος	105
3.2.5.3 Μείωση του κόστους κατασκευής	105
3.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΙΟΚ ΓΙΑ ΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	106
3.3.1 Καταλληλότητα ασφαλτομιγμάτων προς ανακύκλωση	107
3.3.2 Σύνθεση ανακυκλωμένου εν θερμώ ασφαλτομίγματος	109
3.3.3 Ανακύκλωση δύσκαπτων οδοστρωμάτων	109
3.3.3.1 Ιδιότητες αδρανών από ανακυκλωμένο δύσκαπτο οδόστρωμα	111
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	113

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση, τη μέθοδο και τα αποτελέσματα – οφέλη από τη διαδικασία της ανακύκλωσης των φαινομενικά άχρηστων προϊόντων εξόρυξης ή κατεδάφισης, η οποία δύναται να μειώσει σε ικανοποιητικό βαθμό τόσο το οικονομικό κόστος της διαδικασίας κατασκευής όσο και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της.

Στο πρώτο κεφάλαιο, ορίζουμε την έννοια των αδρανών υλικών, των οποίων αρχικά προσδιορίζουμε τις πηγές προέλευσής τους, διαιρώντας τες σε φυσικές και τεχνητές, ενώ ακόμα τα κατατάσσουμε σε κατηγορίες ανάλογα με τη διαβάθμισή τους (λεπτόκοκκα – χοντρόκοκκα κ .α.) και ανάλογα με τη χρήση τους (σκυρόδεμα – οδοποιία).

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφερόμαστε στον απαιτούμενο εξοπλισμό για τη διαδικασία, διαχωρίζοντας τα συκροτήματα ανακύκλωσης σε αυτοφερόμενα και μόνιμα. Ακόμη, περιγράφουμε τη διαδικασία διαχωρισμού και κοσκίνισματος των αδρανών υλικών, πριν ανακυκλωθούν. Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε εκτενώς τις επικρατούσες μεθόδους ανακύκλωσης, δηλαδή την επιφανειακή, την εν θερμώ και την εν ψυχρώ ανακύκλωση, την οποία και χρησιμοποιούμε στη συνέχεια της εργασίας. Παρουσιάζουμε τα εργαστηριακά αποτελέσματα μιας εν ψυχρώ ανακύκλωσης καθώς και εκπονούμε μια τεχνικοοικονομική ανάλυση της λειτουργίας ενός σπαστήρα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, δείχνουμε τις χρήσεις των ανακυκλωμένων υλικών, αναφερόμενοι κυρίως στον κύκλο ζωής των αδρανών υλικών, και παρουσιάζοντας τους προβληματισμούς που οδηγούν στην ανάγκη για ανακύκλωση υλικών και τα τελικά οφέλη της ανακύκλωσης σε επίπεδο περιβάλλοντος, κόστους και εξοικονόμησης

αποθεμάτων. Τέλος, συνοψίζουμε τις τεχνικές προδιαγραφές του Ινστιτούτου Οικονομίας Κατασκευών (ΙΟΚ) σχετικά με την καταλληλότητα των ανακυκλωμένων υλικών.

1. Αδρανή Υλικά

1.1 Ορισμός Αδρανών Υλικών και Προέλευση

Με τον όρο αδρανή υλικά χαρακτηρίζονται όλα τα κοκκώδη υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται αυτούσια (βάσεις και υποβάσεις οδοστρωμάτων, έρμα σιδηροδρομικών γραμμών) είτε με κάποιο συγκολλητικό μέσο (στα κονιάματα, στο σκυρόδεμα, στα ασφαλτικά μίγματα) στις διάφορες κατασκευές. Αυτά προέρχονται από κατάτμηση ή θραύση των διαφόρων πετρωμάτων ή βιομηχανικών υπολειμμάτων (π.χ. σκουριές υφικαμίνων). Τα υλικά αυτά είναι κατά κανόνα ανόργανα και ονομάστηκαν αδρανή γιατί δεν αντιδρούν χημικά με τις συγκολλητικές ύλες. Στον πίνακα 1.1 δίνονται τα κυριότερα πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αδρανών υλικών, ενώ στον πίνακα 1.2 δίνονται διάφορα άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Τα κυριότερα πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αδρανών

Είδος πετρώματος	Ειδικό βάρος (t/m^3)	Αντοχή σε θλίψη (kg/cm^2)	Δείκτης Los Angeles (μέσος όρος)
Γρανίτης	2,60-2,80	1600-2400	38%
Γάββρος	2,80-3,00	1700-3000	18%
Βασάλτης	2,95-3,00	2500-4000	14%
Διαβάσης	2,80-2,90	1800-2500	18%
Χαλαζίτης	2,60-2,65	1500-3000	28%
Χαλαζιακός ψαμμίτης	2,00-2,65	1200-2000	38%
Συμπαγής ασβεστόλιθος	2,65-2,85	800-1800	25%
Αμφιβολίτης	2,70-3,10	1700-2800	35%
Γνεύσιος	2,65-3,00	1600-2800	45%

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: Διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αδρανών

Υλικό	Ειδικό βάρος t/m ³
Σκωρίες χρωμίου	3,40
Σκωρίες μολύβδου	3,60
Σκωρίες χαλκού	3,30
Σκωρίες τιτανίου	3,60
Βαρύτης	4,20
Λειμωνίτης	3,40-3,80
Μαγνητίτης	4,80-5,10
Αιματίτης	4,50

Τα αδρανή υλικά προέρχονται από τριών ειδών πηγές, εκ των οποίων οι δύο θεωρούνται φυσικές και η άλλη τεχνητή. Αυτές είναι:

Φυσικές πηγές αδρανών υλικών

Οι κύριες πηγές από όπου προέρχονται τα φυσικά αδρανή είναι τα πετρώματα και τα προϊόντα αποσαθρώσεως αυτών. Οι φυσικές τοποθεσίες, στις οποίες βρίσκονται και από όπου μπορούν να εξαχθούν σημαντικές ποσότητες αδρανών υλικών, είναι τα ορυχεία και τα λατομεία.

Ορυχεία: Οι φυσικές κοκκώδων υλικών (συνήθως αμμοχάλικων) κατάλληλων για τεχνικά έργα καλούνται ορυχεία. Αυτά υποδιαιρούνται ως εξής:

- *Δανειοθάλαμοι*: Τοποθεσίες οι οποίες περιέχουν κατάλληλα υλικά για επιχώματα, οδοστρώματα και παρόμοιες κατασκευές, τα οποία μπορούν να μετακινηθούν με χωματουργικά μηχανήματα. Οι εργασίες στους δανειοθαλάμους γίνονται πάντα εν ξηρώ.

- *Χαλικορουχεία*: Τα χαλικορουχεία ή ορυχεία χαλικιών είναι πηγές χοντρόκοκκων εδαφών στα οποία επικρατούν οι μεγέθους χαλικιών κόκκοι. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως για επιστρώσεις δευτερευόντων δρόμων. Τα καλύτερης ποιότητας συχνά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή υποβάσεων και βάσεων οδοστρωμάτων δρόμων, διαδρόμων και τροχοδρόμων αεροδρομίου μέχρι και για την παρασκευή αδρανών υλικών προοριζόμενων για σκυροδέματα ή και για ασφαλιστικά μίγματα καθώς και σε ασφαλτικές κατασκευές.

- *Αλλουβιακές αποθέσεις αμμοχάλικων (ρεύματα ή χειμάρροι)* : Το όνομα του τύπου αυτού των ορυχείων προέρχεται από την προέλευση των υλικών τα οποία αποτίθενται σε χειμάρρους. Τα χαλίκια ή τα αμμοχάλικα τα οποία λαμβάνονται από την πηγή αυτή, συνήθως είναι πολύ καθαρά και ελεύθερα από άργιλο και οργανικές προσμίξεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι κατάλληλα για ασφαλιστικές εργασίες και για σκυροδέματα. Τα υλικά λαμβάνονται από τις πηγές είτε σε υγρή είτε σε ξηρή κατάσταση, αναλόγως πού διεξάγονται οι εργασίες σε σχέση με τη στάθμη των υδάτων των χειμάρρων.

- *Φυσικές αποθέσεις αμμοχάλικων* : Αυτές είναι αποθέσεις αμμοχάλικων οι οποίες έχουν σχηματισθεί σε προγενέστερες εποχές και συναντώνται σε λόφους, όχθες χειμάρρων ή ποταμών και οπουδήποτε αλλού. Είναι συνήθως αργιλώδη χαλίκια ή αργιλώδη αμμοχάλικα. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται για

επιφανειακές επιστρώσεις οδών και για την κατασκευή ερεισμάτων, λόγω των συνδετικών ιδιοτήτων τους. Οι εργασίες στα ορυχεία αυτά γίνονται εν ξηρώ.

- *Αμμορυχεία*: Υπό τον όρο αυτόν καλούνται τα διαφόρου τύπου ορυχεία, από τα οποία λαμβάνεται η άμμος. Τα σπουδαιότερα αμμορυχεία βρίσκονται στις εκβολές των ποταμών, στις ακτές των λιμνών και θαλασσών, στις ερήμους κ.α.

Λατομεία : Καλούνται λατομεία, οι τοποθεσίες από τις οποίες λαμβάνονται τα κατάλληλα από απόψεως ποιότητας, ποσότητας και μεγέθους για τις κατασκευές πετρώματα. Αυτά υποδιαιρούνται σε λατομεία σκληρών και μαλακών πετρωμάτων.

- *Λατομεία σκληρών πετρωμάτων*: Ο τύπος αυτός των πετρωμάτων συνίσταται από το πέτρωμα για την λήψη του οποίου απαιτούνται εργασίες διατρήσεων και ανατινάξεων. Αν και τα παραγόμενα αδρανή υλικά από αυτά τα λατομεία είναι τα καλύτερα, από άποψη ποιότητας, αυτά είναι τα πλέον δαπανηρά από απόψεως εργασίας, μηχανικού εξοπλισμού και ποσότητας εκρηκτικών υλών.

- *Λατομεία μαλακών πετρωμάτων*: Ο τύπος αυτός των λατομείων αποτελείται από αρκετά μαλακά πετρώματα, τα οποία μπορούν να χαλαρωθούν μέσω ενός εκριζωτού (rooter) και στη συνέχεια να μετακινηθούν σε χωματοσυλλέκτη (scraper) ή με ένα μηχανικό προωθητή (bulldozer) και στη συνέχεια να φορτωθούν με υδραυλικά πτύα (power shovels).

Στον πίνακα 1.3 δίνεται η κατάταξη των ορυχείων και των λατομείων ανάλογα με τον τύπο των παραγόμενων αδρανών και των τρόπων εργασίας.

Τεχνητές πηγές αδρανών υλικών

Το κυριότερο αδρανές υλικό από την πηγή αυτή είναι η σκουριά, η οποία είναι παραπροϊόν της μεταλλουργίας σιδήρου. Αυτή ορίζεται ως «το μη μεταλλικό προϊόν που αποτελείται από πυριτικές και αργλικές ενώσεις του ασβεστίου και από άλλες βάσεις, το οποίο παράγεται ταυτόχρονα με τον σίδηρο στην υψικάμινο». Το λεπτόκοκκο υλικό το οποίο προκύπτει από τη θραύση της σκουριάς ονομάζεται άμμος σκουριάς, ενώ η χρήση των σκουριών περιορίζεται στα έργα οδοποιίας κοντά στα εργοστάσια παραγωγής.

Άλλες τεχνητές πηγές αδρανών υλικών είναι οι εξής:

- *Απορρίμματα ορυχείων:* Είναι τα στείρα υλικά που παράγονται κατά τη διαδικασία εξόρυξης μεταλλεύματος ή μετάλλευμα με πολύ μικρή περιεκτικότητα σε χρήσιμο συστατικό το οποίο απορρίπτεται κατά το στάδιο του εμπλουτισμού. Παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι η χρησιμοποίηση των στείρων ασβεστολιθικών κοιτασμάτων που παράγονται από τα μεταλλεία βωξίτη στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας-Ελικώνας.
- *Τεχνητά αδρανή:* Παράγονται κυρίως από τη διαπύρωση πετρωμάτων όπως βωξίτη, σχιστόλιθου, κλπ. Ορισμένα, όπως ο πεφρυγμένος βωξίτης, χαρακτηρίζονται για την υψηλή σκληρότητά τους και χρησιμοποιούνται ως σκληρά αδρανή σε αντιστοιχισθρούς τάπητες. Άλλα τεχνητά αδρανή χαρακτηρίζονται από το μικρό ειδικό βάρος και χρησιμοποιούνται κυρίως στην παραγωγή ελαφρομπετόν.
- *Κονιορτοποιημένα υλικά παλαιών οδοστρωμάτων και υλικά κατεδαφίσεως (μπάζα):* Τα κονιορτοποιημένα υλικά παλαιών οδοστρωμάτων μετά από

προεπιλογή και θραύση, χαρακτηρίζονται ως ανακυκλωμένα υλικά και χρησιμοποιούνται κυρίως σε υποβάσεις και βάσεις. Τα υλικά κατεδαφίσεως χρησιμοποιούνται, όπως και τα απορρίμματα ορυχείων, σε στρώσεις υποβάσεων ή βάσεων, αφού γίνει κάποια προεπιλογή και θραύση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3: Κατάταξη ορυχείων και λατομείων

Τύπος	Αδρανές υλικό	Συνήθης χρησιμοποίηση του υλικού	Συνθήκες από αποψης νερού	Απαιτούμενες εργασίες και μηχανολογικός εξοπλισμός
ΟΡΥΧΕΙΑ				
Δανειοθάλαμοι	Εκλεκτό έδαφος εκτός των άμμων και των χαλικιών	Επιχώματα	Ξηρό	Προωθητήρες γαιών
Αμμοχάλικα (α) φυσικές αποθέσεις	Αμμοχάλικα με άργιλο	Επιστρώσεις οδών, ερείσματα, υποβάσεις και επιχώματα	Ξηρό	Εκσκαφείς, φορτωτές
(β) Αλλουβιακές αποθέσεις	Καθαρά αμμοχάλικα	Σκυροκονιάματα, ασφαλτικά μίγματα	Υγρό (ή ξηρό)	Εκσκαφείς
(γ) Διάφορα	Σκωρίες, τέφρες κλπ αποθέσεις	Αδρανή υλικά, επιστρώσεις οδών	Ξηρό	Φορτωτές
ΛΑΤΟΜΕΙΑ				
Σκληρών πετρωμάτων	Αδρανή υλικά	Σκυροκονιάματα, ασφαλτικά μίγματα, βάσεις και επιστρώσεις οδών	Ξηρό	Ανατίναξη, θραύση, κοσκίνιση
Μαλακών πετρωμάτων	Συγκολλούμενα υλικά	Βάσεις και επιστρώσεις οδών	Ξηρό	Εκσκαφείς, φορτωτές

1.2 Κατηγορίες Αδρανών Υλικών

Τα αδρανή υλικά, ανεξαρτήτως αν είναι φυσικής ή τεχνητής προέλευσης, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν (α) με βάση το ειδικό τους βάρος και (β) με βάση το μέγεθος των κόκκων τους.

Με βάση το ειδικό τους βάρος:

- Ελαφροβαρή είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος μικρότερο των 2 mgr/m^3 .
- Κανονικού ειδικού βάρους είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος $2-3 \text{ mgr/m}^3$ (gr/cm^3) και αποτελούν τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα αδρανή για τεχνικά έργα (ασφαλτικά, οδοστρώσεως, παραγωγή σκυροδέματος, κονιαμάτων, κλπ.).
- Βαρέα είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος μεγαλύτερο των 3 mgr/m^3 και τα οποία έχουν ειδικές χρήσεις (π.χ. κατασκευές από σκυρόδεμα για προστασία από την ακτινοβολία κ.α.)

Με βάση το μέγεθος των κόκκων τους:

Σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών Υλικών ταξινομούνται σε:

- Χοντρόκοκκα, τα οποία είναι τα αδρανή με μέγεθος κόκκων $D > 2 \text{ mm}$.
- Λεπτόκοκκα είναι τα αδρανή με μέγεθος κόκκων $2 > D > 0,063 \text{ mm}$.
- Παιπάλη είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό, το οποίο διαχωρίζεται με κόσκινο μεγέθους $0,063 \text{ mm}$, δηλαδή $D < 0,063 \text{ mm}$.

1.3 Χρήσεις Αδρανών Υλικών

Τα αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιούνται είτε αυτούσια, είτε με κάποιο συγκολλητικό μέσο, στην εκτέλεση κάθε τεχνικού έργου. Έχει υπολογιστεί ότι καταλαμβάνει το 80 ως 85% περίπου, του όγκου των διαφόρων κατασκευών. Ανάλογα με την κατασκευή στην οποία χρησιμοποιούνται διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Αδρανή υλικά σκυροδέματος και κονιαμάτων:

1. Σκύρα
2. Χοντρό γαρμπίλι
3. Λεπτό γαρμπίλι
4. Χοντρόκοκκη άμμος ή ρυζάκι
5. Λεπτόκοκκη άμμος

• Αδρανή υλικά οδοποιίας, συνήθη:

1. Υλικό για την κατασκευή βάσεων και υποβάσεων οδοστρωμάτων.

Αυτό είναι γνωστό ως υλικό οδοστρωσίας (3Α).

2. Υλικό για την παρασκευή των ασφαλικών μιγμάτων.

- Αδρανή υλικά οδοποιίας, αντιολισθητικά.
- Αδρανή υλικά σιδηροδρόμων (railway ballast).
- Ελαφρά αδρανή διαχωρισμάτων.
- Υλικά κοινών επιχωμάτων.

Στα αδρανή υλικά επιπλέον περιλαμβάνονται:

- Ογκόλιθοι διαστασιολογημένοι
- Πλάκες επικάλυψης
- Υλικά παραγωγής τσιμέντου, άργιλοι, ασβεστόλιθος ή μάργες
- Υλικά κεραμοποιίας
- Υλικά παραγωγής άσβεστου
- Άμμοι, χαλίκια και άργιλος για διάφορες εφαρμογές
- Υλικά κατασκευής και αντιδιαβρωτικής προστασίας χωμάτων και λιθόριπτων φραγμάτων κλπ.

Στην παρούσα εργασία, θα ασχοληθούμε κυρίως με τα αδρανή υλικά σκυροδέματος και τα αδρανή υλικά οδοποιίας.

1.3.1 Αδρανή Υλικά Σκυροδέματος

Το *σκυρόδεμα* αποτελείται από αδρανή με συγκεκριμένη κοκκομετρική διαβάθμιση και τσιμέντο ως συγκολλητικό υλικό. Τα αδρανή υλικά αποτελούν το σκελετό του σκυροδέματος, επηρεάζουν καθοριστικά τις ιδιότητές του, τόσο στη νωπή όσο και στη σκληρυμένη μορφή. Η ανθεκτικότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα επιτυγχάνεται με την αντίσταση του σκυροδέματος στις φθορές από φυσικά ή χημικά αίτια και από την προστασία του σπλισμού από τη διάβρωση. Οι κύριες αιτίες της αποσάθρωσης του σκυροδέματος (και άρα της μείωσης της ανθεκτικότητας) είναι: α) Φθορές που οφείλονται στη δράση του περιβάλλοντος (αέρας, νερό, διάβρωση εξαιτίας της επίδρασης της θάλασσας κλπ.) και στη δράση του ανθρώπινου παράγοντα (π.χ. κίνηση οχημάτων). Πετρώματα τα οποία αποσαθρώνονται εύκολα όπως οι αργιλικοί σχιστόλιθοι, είναι ακατάλληλα για αδρανή. β) Αποσάθρωση λόγω πανετού: οφείλεται στην εναλλαγή ψύξης-απόψυξης του σκυροδέματος παρουσία νερού. γ) Αποσάθρωση από χημικές προσβολές: οφείλεται στη χημική δράση διαφόρων ουσιών στο σκυρόδεμα, όπως ενώσεις θείου, σιδήρου, μολύβδου, ψευδαργύρου, χλωριούχες, φωσφορικές, νιτρικά άλατα και αλογόνα κλπ. δ) Αποσάθρωση λόγω αλκαλοπυριτικής αντίδρασης: οφείλεται σε αντίδραση των αλκαλίων του τσιμέντου με πυριτικά αδρανή που περιέχουν άμορφο SiO_2 . Η αντίδραση αυτή προκαλεί διόγκωση στην οποία οφείλεται η αποσάθρωση του σκυροδέματος. Τέτοια πετρώματα μπορεί να είναι οι δολομίτες, ζεόλιθοι, υαλώδεις έως κρυσταλλικοί ρυόλιθοι, δακίτες, λατίτες και

ανδεσίτες. Επικίνδυνα ορυκτά είναι ο σπάλιος, χαλκηδόνιος, τριδυμίτης και χριστοβαλίτης (ΕΛΟΤ 408). Ο κίνδυνος για τη χώρα μας είναι πολύ μειωμένος, γιατί κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούμενα ασβεστολιθικά αδρανή και επιπλέον όπου χρησιμοποιούνται πυριτικά αδρανή αυτά δεν είναι ενεργά. Οι ισχύουσες προδιαγραφές για τα αδρανή σκυροδέματος είναι ο ΚΤΣ-97 Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997 και το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408 Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα. Σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος ΕΛΟΤΕΝ 12620 ως αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνητά και ανακυκλωμένα αδρανή. Επιπλέον το νέο πρότυπο εισάγει την ονοματολογία του αδρανούς και την ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση.

1.3.2 Αδρανή Υλικά Οδοποιίας

Στο σημείο αυτό γίνεται ανάλυση των τμημάτων που αποτελούν το οδόστρωμα. *Οδόστρωμα* ορίζεται το σύνολο των επάλληλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Το οδόστρωμα είναι μια σύνθεση κατασκευή που έχει επιτελέσει διάφορες λειτουργίες οι οποίες είναι ανόμοιες μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό κάνει την κατασκευή του αρκετά πολύπλοκη.

Η επιφάνεια του δρόμου είναι συνήθως το μόνο ορατό του μέρος. Αυτή είναι η άνω στρώση της δομής του, η οποία αποτελείται από πολλές στρώσεις διαφορετικών υλικών, που συχνά φθάνουν σε βάθος μέχρι 1m. Από κάτω βρίσκονται η βάση και η υπόβαση του δρόμου που είναι οι στρώσεις που μεταβιβάζουν τα φορτία της επιφανείας, δηλαδή τα φορτία των οχημάτων, στην επιφάνεια θεμελίωσης που είναι το

φυσικό έδαφος. Συνήθως η επιφάνεια θεμελίωσης έχει μικρή φέρουσα ικανότητα για αυτό και τα φορτία διαχέονται σε μια μεγάλη έκτασή της.

Το οδόστρωμα λοιπόν διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες στρώσεων: **τις επιφανειακές στρώσεις, τη βάση και την υπόβαση**. Αναφορά γίνεται επίσης και στο **υπέδαφος**, επειδή επηρεάζει τη δομή του οδοστρώματος.

(i) Οι επιφανειακές στρώσεις αποτελούνται από τον τάπητα κυκλοφορίας ή την επιφανειακή στρώση και τη συνδετική στρώση. Ο τάπητας κυκλοφορίας είναι η ασφαλική στρώση που έρχεται σε άμεση επαφή με τους τροχούς των οχημάτων και πρέπει να παρέχει άμεση και ασφαλή επιφάνεια κύλισης. Η συνδετική στρώση είναι μια ενδιάμεση στρώση μεταξύ τάπητα κυκλοφορίας και ασφαλικής βάσης. Κατασκευάζεται για να παρέχει μια καλή επίπεδη επιφάνεια, με τις επιθυμητές κλίσεις, επί της οποίας θα διαστρωθεί ο τάπητας κυκλοφορίας.

(ii) Η βάση και η υπόβαση είναι συγγενικές στρώσεις με παραπλήσιες ιδιότητες. Και οι δύο έχουν σκοπό να μεταφέρουν τα φορτία από την επιφάνεια στο υπέδαφος. Τα φορτία διαχέονται σε μια μεγάλη έκταση στο υπέδαφος.

Η βάση στο σύνολό της είναι η βασικότερη δομική στρώση ενός εύκαμπτου οδοστρώματος και κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης ή του υπεδάφους και των επιφανειακών ασφαλικών στρώσεων. Αναλυτικότερα επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες:

⇒ Παρέχει τη βασική δομική στρώση η οποία παραλαμβάνει και κατανέμει τα φορτία κυκλοφορίας στις υποκείμενες στρώσεις.

⇒ Μειώνει τις κάθετες θλιπτικές τάσεις που ασκούνται στο υπέδαφος (και διαμέσου της υπόβασης, εάν υπάρχει) σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορούν να παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μην προκαλούν ανεπίτρεπτα μεγάλες παραμορφώσεις.

⇒ Παρέχει στο οδόστρωμα δυσκαμψία και αντοχή στην κόπωση.

⇒ Παρέχει μια καλή επιφάνεια έτοιμη να δεχθεί τις επιφανειακές ασφατικές στρώσεις.

⇒ Οι στρώσεις της βάσης από ασύνδετα ή σταθεροποιημένα αδρανή συμβάλουν στην αποτελεσματικότερη συμπύκνωση των υπερκείμενων ασφατικών στρώσεων.

Η υπόβαση είναι η πρώτη στρώση που τοποθετείται, εάν κριθεί αναγκαίο, πάνω στο υπέδαφος ή την εξυγιαντική στρώση και επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες.

⇒ Μεταβιβάζει τα φορτία στο υπέδαφος.

⇒ Εξασφαλίζει την άνετη κυκλοφορία των εργοταξιακών οχημάτων.

⇒ Προστατεύει τα υλικά της βάσης από «μόλυνση» αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλος, ίλος, οργανικά υλικά κλπ).

⇒ Μπορεί να λειτουργήσει και ως στρώση αποστράγγισης των υδάτων που πιθανόν να διαπεράσουν τις υπερκείμενες στρώσεις προστατεύοντας το υπέδαφος. Αυτό είναι πολύ πιθανόν να συμβεί στις

περιπτώσεις που οι υπερκείμενες ασφαλτικές στρώσεις είναι πολύ μικρού πάχους ή/και τα χρησιμοποιηθέντα ασφαλτομίγματα όχι και τόσο κλειστής υφής.

Η βάση και η υπόβαση αποτελούνται από στρώσεις διαφορετικών υλικών με ποικίλα χαρακτηριστικά. Κάθε στρώση μεταφέρει τα φορτία που αναλαμβάνει από τις υπερκείμενες στρώσεις στις υποκείμενες, διαχέοντάς τα σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Οι άνω στρώσεις καταπονούνται από μεγαλύτερα φορτία για αυτό κατασκευάζονται από ισχυρότερα υλικά. Στον πίνακα 1.4 φαίνονται τα κυριότερα είδη υλικών που χρησιμοποιούνται στη δομή του δρόμου, ανάλογα με τη στρώση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4: Χρήση Υλικών ανάλογα με τη στρώση

Επιφανειακές στρώσεις	Ασφαλτόμγμα
Βάση	Ασφαλτόμγμα / υλικά σταθεροποιημένα με άσφαλτο ή τσιμέντο / ασύνδετα αδρανή
Υπόβαση	Υλικά σταθεροποιημένα με άσφαλτο ή τσιμέντο / ασύνδετα αδρανή
Υπέδαφος	(Εξυγιαντική στρώση: Κοκκώδη υλικά / σταθεροποίηση εδαφικού υλικού) Εδαφικό υλικό

Η αντίδραση των υλικών αυτών στα επιβαλλόμενα φορτία εξαρτάται κυρίως από τις ελαστικές ιδιότητες των υλικών και τα χαρακτηριστικά των φορτίων (ποσότητα, ποσοστό φόρτισης, κλπ). Η συμπεριφορά των κυριοτέρων υλικών είναι η εξής:

- Τα κοκκώδη υλικά, όπως χαλίκια, μεταφέρουν τα επιβαλλόμενα φορτία μέσα από τα ανεξάρτητα σωματίδιά τους. Κάτω από τις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις (συχνά σχετίζονται και με την αύξηση της υγρασίας) τα κοκκώδη υλικά αυξάνουν την πυκνότητά τους καθώς μετακινούνται από κοντά. Αυτό προκαλεί παραμόρφωση της επιφάνειας ανεξάρτητα από την στρώση που συμβαίνει. Τέτοιες παραμορφώσεις εμφανίζονται ως τροχοαυλακώσεις.

- Τα συνδεδεμένα υλικά, τα οποία περιλαμβάνουν κυρίως το ασφαλτόμιγμα και τα σταθεροποιημένα υλικά, συμπεριφέρονται σαν πλάκες. Η εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στην επιφάνεια μιας τέτοιας πλάκας, αναπτύσσει οριζόντιες θλιπτικές δυνάμεις στο άνω μισό τμήμα της πλάκας και εφελκυστικές στο κάτω μισό, με μέγιστη τιμή στο κάτω άκρο. Κυρίως η εφελκυστική ένταση στο κάτω άκρο οδηγεί σε αστοχία τύπου κόπωσης ύστερα από αρκετές διελεύσεις. Οι ρωγμές που αναπτύσσονται στη βάση των στρώσεων αυτών διαδίδονται κατακόρυφα καθώς οι φορτίσεις επαναλαμβάνονται.

Η παραμόρφωση που παρατηρείται στα αδρανή και οι ρωγμές στις σταθεροποιημένες στρώσεις σχετίζονται με τις επαναλήψεις των κινητών φορτίων. Αυτά προσδιορίζουν τη λειτουργική ζωή του οδοστρώματος, το οποίο ύστερα από κάποιο αριθμό φορτίσεων αστοχεί. Αυτό λέγεται **φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος**.

(iii) Το υπέδαφος είναι το διαμορφωμένο και συμπυκνωμένο έδαφος επί του οποίου κατασκευάζεται το οδόστρωμα, εκτεινόμενου μέχρι βάθους τόσο όσο θα επηρεάσει τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος. Αποτελεί κυρίως από τα φυσικά

κατά τόπους υλικά, ενώ μερικές φορές χρησιμοποιούμε μια εξυγιαντική στρώση. Τα χαρακτηριστικά αντοχής αυτών των υλικών υπαγορεύουν τον τύπο της δομής του οδοστρώματος που απαιτείται για να διαχέονται τα επιβαλλόμενα επιφανειακά φορτία σε μια επιφάνεια ικανή να τα αναλάβει χωρίς παραμόρφωση.

Ένα από τα παλαιότερα εργαλεία σχεδιασμού οδοστρωμάτων, είναι ο **Καλιφορνιακός δείκτης (California Bearing Ratio CBR)** που χρησιμοποιεί μόνο τη φέρουσα ικανότητα της επιφάνειας θεμελίωσης για τη διαστασιολόγηση της δομής του δρόμου. Γενικά, πυκνή δομή οδοστρώματος απαιτείται για να προστατεύσει φτωχές επιφάνειες θεμελίωσης.

Συνοψίζοντας την ανάλυση των τμημάτων του οδοστρώματος, επιχειρούμε να δείξουμε την χρησιμότητα των αδρανών υλικών στην οδοποιία. Σε αυτόν τον τομέα χρησιμοποιούνται αδρανή υλικά για την κατασκευή στρώσεων βάσεων ή υποβάσεων. Σκοπός του οδοστρώματος είναι να παραλάβει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα κατανείμει στο υπέδαφος.

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται σε βάσεις ή υποβάσεις μπορεί να είναι φυσικά αδρανή ή θραυστά (αδρανή λατομείων). Σύμφωνα με την ΠΤΠ Ο-150 (1966) και ΠΤΠ Ο-155 (1966) (Ελληνικές Προδιαγραφές που ισχύουν μέχρι σήμερα δίχως καμία αναθεώρηση) τα αδρανή της υπόβασης μπορούν να είναι φυσικά ή θραυστά, ενώ τα αδρανή της βάσης πρέπει να είναι μόνο θραυστά. Σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13242, τα αδρανή της βάσης και της υπόβασης μπορεί, εκτός από φυσικά και θραυστά, να είναι τεχνητά και ανακυκλωμένα. Μια ουσιαστική αλλαγή είναι ότι εισάγει την ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση του προοριζόμενου πετρώματος

για χρήση αδρανών, η οποία μπορεί να δώσει σαφείς πληροφορίες για τη συμπεριφορά του πετρώματος σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Μη επιθυμητά πετρώματα είναι ο σχιστόλιθος, ο φυλλίτης, η κιμωλία, η μάργα, ο αργιλικός σχιστόλιθος και πετρώματα συνδεδεμένα χαλαρά μεγαλύτερο αργιλικά ορυκτά.

2. Ανακύκλωση

Τα απορρίμματα από κατεδάφιση κτιρίων και αποξήλωση δρόμων χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλη την Ευρώπη για έργα οδοποιίας και για χρησιμοποίησή σαν αδρανών. Αυτό διευκολύνεται από την γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας ανακύκλωσης που επιτρέπει την ακριβή εξαγωγή διαφόρων υλικών από μίγματα απορριμμάτων κατεδάφισης

2.1 Εξοπλισμός για την Ανακύκλωση

Τα συγκροτήματα ανακύκλωσης διακρίνονται σε συγκροτήματα παραγωγής αυτοφερόμενα για χρησιμοποίηση μέσα στο εργοτάξιο, και *μόνιμα συγκροτήματα* εγκατεστημένα σε οργανωμένες κεντρικές μονάδες δημόσιες, κοινοτικές ή ιδιωτικές, οι οποίες ανταποκρίνονται στις νέες τεχνολογικές εξελίξεις.

Τα υλικά τα οποία συλλέγονται από την καθαίρεση σκυροδέματος, την αποξήλωση δρόμων ή εκσκαφές μεταφέρονται στο κέντρο ανακύκλωσης και αρχικά τροφοδοτούνται στο θραυστήρα πρόθραυσης. Μπορεί τα προϊόντα αυτά να περιέχουν διάφορα άλλα υλικά όπως ξύλα, τούβλα, χαρτιά, πλαστικά, και ακαθαρσίες. Τα μηχανήματα θραύσεως επεξεργάζονται μόνο προϊόντα που είναι απαλλαγμένα από τα ακατάλληλα αυτά υλικά, τα οποία απομακρύνονται με ειδικές διατάξεις. Μέταλλα όπως κομμάτια από ράβδους σπλισμού γίνονται δεκτά, αφού μπορεί να αφαιρεθούν με μαγνήτες ή άλλες διατάξεις διαχωρισμού και στη συνέχεια να ανακυκλωθούν με τήξη για άλλες χρήσεις.

2.1.1 Αυτοφερόμενα Συγκροτήματα Ανακύκλωσης

Η θραύση στο εργοτάξιο κατεδάφισης μπορεί να γίνει με αυτοφερόμενα θραυστικά συγκροτήματα, τα οποία μειώνουν το κόστος κατασκευής και την ατμοσφαιρική ρύπανση, που δημιουργείται από τη μεταφορά υλικών προς και από το λατομείο. Τα κινητά συγκροτήματα ανακύκλωσης τοποθετούνται μέσα στο εργοτάξιο του έργου. Έχουν συγκριτικά χαμηλό κόστος και μπορεί ένα συγκρότημα να αποσβεστεί σε ένα μεγάλο έργο. Τα μεγάλα αυτοφερόμενα συγκροτήματα μπορούν να επεξεργαστούν μέχρι 400 m³/h μπάζων. Τα συγκροτήματα αυτά αποτελούνται από ένα θραυστήρα μπάζων σκυροδέματος, πλευρικό μεταφορέα απόθεσης ακατάλληλων υλικών, θραυστήρα δευτερογενούς θραύσης, συγκρότημα κοσκίνισματος, και ταινιόδρομο επαναφοράς του υπερδιάστατου υλικού από το κόσκινο στο θραυστήρα για συμπληρωματική θραύση. Σε περίπτωση μικρών ποσοτήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρά αυτοφερόμενα συγκροτήματα μέχρι 100 m³/h, τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε στενούς χώρους μέσα σε πόλεις. Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης κατάλληλων αυτοφερόμενων συγκροτημάτων ανακύκλωσης είναι:

- Δεν υπάρχουν έξοδα απομακρύνσεως των μπάζων στη χωματερή και μεταφοράς αδρανών στο εργοτάξιο.
- Μειωμένοι άεργοι χρόνοι (αναμονή οχημάτων, προετοιμασία προσβάσεων κ.α.), αύξηση της παραγωγής, μειωμένο εργατικό κόστος.
- Με κατάλληλες προστατευτικές διατάξεις δεν υπάρχουν παράπονα από τους περιοίκους, ή αυτές μειώνονται στο ελάχιστο.
- Δεν ενοχλούν την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών, δεν ρυπαίνουν τους

δρόμους κυκλοφορίας, δεν προκαλούν ρύπανση από καυσαέρια ή θορύβους.

2.1.2 Μόνιμα Συγκροτήματα Ανακύκλωσης

Τα μόνιμα συγκροτήματα των *κέντρων ανακύκλωσης*, όπως χρησιμοποιούνται σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις, είναι ολοκληρωμένα εργοστάσια παραγωγής με εξελιγμένα μηχανήματα καθαρισμού, θραύσεως, μηχανικής διαλογής ή με μαγνήτες, διαχωρισμού, κοσκινίσματος, πλύσεως του λεπτόκοκκου υλικού και ελέγχου της παραγωγής. Η ποιότητα των παραγόμενων από την ανακύκλωση υλικών στα συγκροτήματα αυτά είναι εφάμιλλη ή και ανώτερη από τα συμβατικά υλικά, αφού η τελευταία βαθμίδα παραγωγής περιλαμβάνει και πλύσιμο της άμμου, δηλαδή τον έλεγχο του ανεπιθύμητου λεπτόκοκκου υλικού σε επιθυμητές τιμές.

Για τη διαλογή ανάμικτων υλικών και την απομάκρυνσή των ακατάλληλων χρησιμοποιείται οπτικό σύστημα, όπως είναι των εργοστασίων O.E.M. Recycling Equipment, γνωστό με το εμπορικό σήμα «Aquila» (= αετός). Το σύστημα έχει δοκιμαστεί με επιτυχία στη διαλογή μικτών υλικών, όπως ξύλα, χαρτιά, πλαστικά υλικά, PVC, γύψος, χώμα, και άλλα. Το οπτικό σύστημα εντοπίζει τα ακατάλληλα υλικά και τα διαχωρίζει, έτσι ώστε στο συγκρότημα να τροφοδοτούνται καθαρά υλικά.

Πολλοί παραγωγείς αδρανών υλικών, οι οποίοι εφαρμόζουν την ανακύκλωση, ακολουθούν και τις δύο μεθόδους: Την ανακύκλωση στο λατομείο με μόνιμο συγκρότημα, και την ανακύκλωση στο εργοτάξιο του έργου με κινητό συγκρότημα. Οι παραγωγείς ζητούν από τους εργολάβους να φέρουν τα μπάζα τους στο λατομείο. Το

υλικό αυτό είναι μία έτοιμη πρώτη ύλη, η οποία μετά την επεξεργασία μετατρέπεται σε χρησιμοποιήσιμα αδρανή υλικά. Οι εργολάβοι έχουν το πλεονέκτημα, ότι μπορούν να επιλέγουν το πλησιέστερο προς το εργοτάξίό τους λατομείο με κέντρο ανακύκλωσης και να επιστρέφουν τα φορτηγά τους με πρωτογενή ή ανακυκλωμένα αδρανή, αντί να επιστρέφουν άδεια από τη χωματερή, η οποία πολλές φορές είναι δυσεύρετη. Το κινητό συγκρότημα έχει το πλεονέκτημα της συγκριτικά χαμηλής επένδυσης, αλλά δεν έχει την ικανότητα με μόνο μηχανικά μέσα (κατάλληλα μηχανήματα πρωτογενούς και δευτερογενούς θραύσης) να ελέγχει το ποσοστό του ανεπιθύμητου λεπτού υλικού, όπως παιπάλη και διάφορες άλλες ρυπαντικές προσμίξεις. Εκτός αν το εργοτάξιο βρίσκεται κοντά σε ποτάμι και υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησής και απόρριψης του νερού πλύσεως στα κατάντι του πλυντηρίου, αν βέβαια αυτό επιτρέπεται. Τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κινητό συγκρότημα κόσκινου με καταιονισμό νερού και αποστραγγιστικό κοχλία.

2.2 Μέθοδοι Διαχωρισμού – Κοσκινίσματος

Το συγκρότημα ανακύκλωσης πρέπει να είναι κατάλληλο για την επεξεργασία μεγάλου εύρους μικτών υλικών που μπορεί να περιέχουν χαρτιά, πλαστικά, πολυστερίνες και σκουπίδια, όπως χώμα, άργιλο και ξύλα. Όταν το συγκρότημα δεν πλένει ανακυκλωνόμενα υλικά σε ποσότητα της τάξεως των 75 m³/h, τότε χρησιμοποιείται για το πλύσιμο των αποθεμάτων του εργοταξίου και για την αφαίρεση των ανεπιθύμητων λεπτόκοκκων προσμίξεων από την άμμο. Με τη μέθοδο αυτή ελέγχεται η ποιότητα της εργοταξιακής άμμου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του παραγόμενου σκυροδέματος.

Τα μικτά υλικά διαφόρων συστατικών φτάνουν στο εργοτάξιο ανακύκλωσης με φορητά οχήματα. Με την άφιξή τους στη γεφυροπλάστιγγα το φορτίο εξετάζεται με μία ευρυγώνιο κάμερα για τον έλεγχο της καταλληλότητας επεξεργασίας από το συγκρότημα πλύσεως. Τα ακατάλληλα φορτία οδηγούνται σε χωματερή για απόρριψη, ενώ τα κατάλληλα οδηγούνται στο συγκρότημα πλύσεως. Μεγάλα κομμάτια από κατεδαφίσεις τεμαχίζονται με κρουστικό σφυρί ή «ψαλίδι» που είναι προσαρμοσμένο στην άκρη του προβόλου υδραυλικού εκσκαφέα κατάλληλου μεγέθους. Τα ψαλίδια μπορούν να αναπτύξουν δυνάμεις μέχρι 600 t. Το μεγαλύτερο μέρος των υλικών μεταφέρεται με φορτωτή σε ένα σιαγονοφόρο θραυστήρα. Το τροφοδοτούμενο υλικό περνάει πρώτα από ένα δονητικό διαχωριστή πρώτης βαθμίδας για την αφαίρεση των υπερδιάστατων υλικών > 100 mm.

Ο θρυμματιστής σκυροδέματος, concrete cruncher, είναι κατάλληλος για την κατάτμηση σκυροδέματος σε μικρά κομμάτια στο δάπεδο του εργοταξίου. Με κατάλληλη διαμόρφωση των εσωτερικών οδόντων κόβει και διαχωρίζει το χαλύβδινο σπλισμό. Η εργασία αυτή αυξάνει την παραγωγικότητα του συγκροτήματος ανακύκλωσης.

Τα μεταλλικά αντικείμενα απομακρύνονται με ένα μαγνήτη που είναι τοποθετημένος πάνω από τον τροφοδοτικό ιμάντα. Ο ιμάντας μεταφέρει το υλικό σε ένα κόσκινο αποπλύσεως με καταιονισμό νερού. Πολτός υλικού <5 mm οδηγείται σε ένα συγκρότημα πλύσεως και επεξεργασίας άμμο με ενσωματωμένο υδροκυκλώνα, ο οποίος αφαιρεί τα αιωρούμενα υλικά, όπως παιπάλη και άργιλο. Η άμμος αφυδατώνεται σε ποσοστό υγρασίας μικρότερο του 12% και είναι απαλλαγμένη από μικροϋλικά κάτω των 40 micron (=10-3 mm). Η διαδικασία αυτή δίνει εμπορεύσιμη λεπτή άμμο χωρίς την

ανάγκη προκοσκινίσματος ή αφαιρέσεως φυτικής γης από το τροφοδοτούμενο υλικό, έτσι ώστε να βελτιώνεται σημαντικά η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, ιδιαίτερα της λεπτόκοκκης άμμου.

Όπως σε όλα τα συγκροτήματα πλύσεως, η ορθή διαχείριση του νερού αποπλύσεως είναι κρίσιμη για τη λειτουργία και την οικονομία της παραγωγής. Στα συγκροτήματα ανακύκλωσης αυτό είναι ένα τεχνικό πρόβλημα που οφείλεται στη μεταβαλλόμενη σύνθεση / ρύπανση του τροφοδοτούμενου υλικού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι μεταξύ των οποίων επικρατέστερη είναι η μέθοδος του «*πυκνωτή λάσπης*» με ενσωματωμένη πολυηλεκτρολυτική διάταξη οργανικής βάσης, η οποία υποστηρίζει τη διαχωριστική ικανότητα. Η διάταξη αυτή προκαλεί ταχύτατη καθίζηση των πλεοναζόντων στερεών υλικών (φαινόμενο *θρόμβωσης*), τα οποία ως πυκνή λάσπη μεταφέρονται με αντλίες λάσπης σε μία εξωτερική απόθεση σε απόσταση 300-400 μέτρων από το συγκρότημα. Το καθαρό νερό υπερχειλίζει τη δεξαμενή του πυκνωτή και φιλτράρεται για την αφαίρεση των υπόλοιπων αιωρούμενων ανεπιθύμητων προσμίξεων, όπως ελαιώδεις αφροί, και στη συνέχεια μεταφέρεται στη δεξαμενή νερού του συγκροτήματος. Από τη θέση αυτή το νερό επανακυκλοφορεί στην απαιτούμενη καθαρότητα και ποσότητα στο συγκρότημα πλύσεως. Με τον πυκνωτή λάσπης δεν χρειάζονται πλέον οι υπαίθριες δεξαμενές καθίζησης.

Τελευταία εξέλιξη στη διαχείριση του νερού και των αποβαλλόμενων στερεών είναι η *Φιλτρόπρεσα* με ενσωματωμένα φίλτρα (μήκους περίπου 16 m), η οποία τοποθετείται μετά τον πυκνωτή λάσπης. Λειτουργεί με πίεση 15 bar και έχει ικανότητα διαχείρισης,

ανάλογα με το συγκρότημα, μέχρι 30 t/h απόβλητων στερεών, τα οποία με τη βοήθεια της φιλτρόπρεσας διαμορφώνονται σε «πίτες» μικρού όγκου για εύκολη μεταφορά ως χρησιμοποιήσιμο υποπροϊόν. Το περιεχόμενο της πίτας σε στερεά είναι της τάξεως του 90%. Η λειτουργία του συγκροτήματος είναι αυτόματη και ελεγχόμενη από ηλεκτρονική διάταξη.

Τα αδρανή υλικά και οι ανεπιθύμητοι κόκκοι περνάνε κατ' ευθείαν από το πρωτογενές κόσκινο καταιονισμού σε ένα πλυντήριο με δίδυμους άξονες μήκους 8 μέτρων, οι οποίοι φέρουν πτερύγια από χρομομολυβδένιο μεγάλης διαμέτρου περίπου 1,5 μέτρων. Η ταχύτητα περιστροφής των αξόνων ρυθμίζεται εύκολα, έτσι ώστε να προσαρμόζεται στα μεταβλητά χαρακτηριστικά του υλικού. Διάφορα ελαφρά μολυσματικά υλικά, όπως σκουριά, πλαστικά και οργανικά υλικά, ξύλα και χόρτα αιωρούνται και μετακινούνται προς ένα κόσκινο αφαίρεσης απορριμμάτων, το οποίο επανακτά το νερό και τα λεπτόκοκκα υλικά, τα οποία οδηγούνται στη μονάδα πλύσεως άμμου. Διάφορα συντρίμματα που είναι προϊόντα τριβής μεταφέρονται σε ένα αποστραγγιστικό κόσκινο. Τα λεπτόκοκκα υλικά που απελευθερώνονται και το νερό οδηγούνται σε ένα φρεάτιο με υποβρύχια αντλία. Το φρεάτιο συλλέγει επίσης νερά αποπλύσεως και υπόγεια νερά, τα οποία τελικά αντλούνται στο κόσκινο καταιονισμού.

Τα πλυμένα και αποστραγγισμένα αδρανή υλικά μεγαλύτερα των 5 mm μεταφέρονται από το κόσκινο αποστραγγίσεως σε ένα κόσκινο δύο πλεγμάτων χωρίς νερό για την τελική κοκκομετρική διαβάθμιση. Η διεργασία παράγει πέντε εμπορεύσιμα προϊόντα: άμμος <5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm, 20-40 mm 40-100 mm, τα οποία

αναταποκρίνονται στις προδιαγραφές παραγωγής σκυροδέματος.

Ακόμη και τα προϊόντα της πρέσας σε μορφή πίτας, τα οποία είναι συμπιεσμένη λάσπη και άργιλος, θεωρούνται εμπορεύσιμα προϊόντα ως αργιλικό επίχρισμα για την επάλειψη καναλιών και οχετών νερού. Τα μεταλλικά υλικά, τα οποία συλλέγονται από το μαγνήτη πωλούνται ως παλιοσίδερα (scrap).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στους μαγνήτες αφαίρεσης των μετάλλων από το ρεύμα του υλικού. Οι μαγνήτες δεν χρησιμεύουν μόνο για την ανάκτηση μετάλλων αλλά και για να συμβάλλουν στην παραγωγή καθαρών υλικών, όπως αδρανών υλικών και ξύλων. Το κόσκινο της πρώτης βαθμίδας διαχωρίζει υλικά μεγέθους <30 cm. Το κόσκινο της δεύτερης βαθμίδας αφαιρεί από το υλικό αυτό τα ανεπιθύμητα λεπτά υλικά. Το υπόλοιπο υλικό οδηγείται με ταινιόδρομο στο μαγνήτη, ο οποίος εκτρέπει τα μεταλλικά αντικείμενα από το ρεύμα του υλικού. Με μαγνήτες δινορευμάτων είναι δυνατή και η εκτροπή μη μεταλλικών υλικών, όπως αλουμίνιο, χαλκός και μπρούντζος.

Χρησιμοποιούνται μόνιμοι και ηλεκτρικοί μαγνήτες. Οι μόνιμοι μαγνήτες δεν απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια, γι' αυτό προτιμώνται στα αυτοφερόμενα κινητά συγκροτήματα. Στα Μόνιμα Κέντρα Ανακύκλωσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί μαγνήτες, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη μαγνητική ισχύ, επομένως έχουν τη δυνατότητα να ανυψώνουν βαρύτερα και μεγαλύτερα αντικείμενα. Διακρίνονται επίσης επίπεδοι μαγνήτες πάνω από την κεφαλή του ταινιοδρόμου και μαγνήτες τυμπάνου.

Το πλύσιμο των αδρανών υλικών προσθέτει υψηλή αξία στο τελικό προϊόν από ότι ο «ξηρός» διαχωρισμός. Η ικανότητα της παραγωγής άμμου υψηλής ποιότητας, η οποία αλλιώς θα πεταγόταν σε χωματερή, είναι ακόμη ένα σοβαρό πλεονέκτημα. Οι νέες εγκαταστάσεις με την εφαρμογή της σύγχρονης τεχνολογίας πλύσεως, δείχνει ότι η διαθεσιμότητα νερού και η διαχείριση των λεπτόκοκκων υλικών δεν αποτελούν πλέον σοβαρά εμπόδια για την αποδοτική πραγματοποίηση εμπορεύσιμων υλικών από υλικά που στο παρελθόν εθεωρούντο σκουπίδια. Εναπόκειται τώρα στους διαχειριστές της ανακύκλωσης και των κατεδαφίσεων να αποφασίσουν πως θα επενδύσουν στις νέες αυτές τεχνολογίες για τις οποίες η πράξη δείχνει ότι είναι κερδοφόρες.

2.3 Μέθοδοι Ανακύκλωσης

Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων ανακύκλωσης γίνεται σύμφωνα με την τεχνική που χρησιμοποιείται, το είδος των υλικών που πρόκειται να ανακυκλωθούν και το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει (δηλαδή απλή συντήρηση ορισμένων φθορών, βελτίωση της ποιότητας οδήγησης, μετά ή άνευ ενίσχυσης της δομικής αντοχής του οδοστρώματος κλπ). Έτσι η ανακύκλωση διακρίνεται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: την *επιφανειακή ανακύκλωση*, την *ανακύκλωση εν θερμώ*, την *ανακύκλωση εν ψυχρώ* και την *ανακύκλωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων*. Πλην της πρώτης κατηγορίας οι υπόλοιπες τρεις διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες: την ανακύκλωση επί της οδού ή επί του έργου (recycle in place) και την ανακύκλωση σε μόνιμη εγκατάσταση (recycle in plant).

Επιφανειακή ανακύκλωση

Επιφανειακή ανακύκλωση ορίζεται η απόξεση και απομάκρυνση του ασφαλτομίγματος σε βάθος μικρότερο των 20-25 mm. Το υλικό που εξάγεται συγκεντρώνεται και επαναχρησιμοποιείται για σταθεροποιημένες ή μη σταθεροποιημένες βάσεις, για την κατασκευή ρείθρων ή ακόμη και επιφανειακών στρώσεων, αφού πρώτα στο ανακτώμενο υλικό προστεθεί νέο συνδετικό υλικό και νέα αδρανή. Στη θέση της λεπτής στρώσης που αποξηλώθηκε συνήθως διαστρώνεται νέο ασφαλτόμιγμα.

Ανακύκλωση εν θερμώ

Ανακύκλωση εν θερμώ, ή θερμή ανακύκλωση, ορίζεται η διαδικασία του κατακερματισμού ή απόξεσης (πλανίσματος) του οδοστρώματος σε βάθος μεγαλύτερο των 20-25 mm και εν συνεχεία της ανάμιξης αυτού εν θερμώ επί της οδού, μετά ή άνευ προσθήκης νέων υλικών, ή σε μόνιμη εγκατάσταση με την προσθήκη νέων υλικών.

Ανακύκλωση εν ψυχρώ

Ανακύκλωση εν ψυχρώ, ή ψυχρή ανακύκλωση, ορίζεται η διαδικασία διάσπασης και κατακερματισμού του παλαιού οδοστρώματος σε βάθος μεγαλύτερο των 20-25 mm και εν συνεχεία ανάμιξης εν ψυχρώ επί της οδού, με την προσθήκη ασφαλτικού

γαλακτώματος, ή σε μόνιμη εγκατάσταση με την προσθήκη νέων υλικών (αδρανή και ασφαλικό γαλάκτωμα).

Ανακύκλωση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Ανακύκλωση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων ορίζεται η διαδικασία θραύσης και κατακερματισμού της πλάκας του δύσκαμπτου οδοστρώματος και η χρησιμοποίηση του κατακερματισμένου σκυροδέματος ως χονδρόκοκκου αδρανούς για την παραγωγή νέου σκυροδέματος ή σταθεροποιημένη ή μη σταθεροποιημένης βάσης.

Μεταξύ των παραπάνω κατηγοριών ανακύκλωσης υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Αφού επιλεγεί η ανακύκλωση ως μέθοδος επέμβασης για τη συντήρηση, την αποκατάσταση, την ενίσχυση ή ακόμη και την ανακατασκευή του οδοστρώματος, η επιλογή της κατηγορίας και της υποκατηγορίας (μεθόδου) ανακύκλωσης που θα εφαρμοσθεί εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι κυριότεροι των παραγόντων αυτών είναι: η κατάσταση του οδοστρώματος, η κατηγορία της οδού, ο κυκλοφοριακός φόρτος, το ιστορικό του οδοστρώματος (έτος κατασκευής, αριθμός και είδος μεταγενέστερων συντηρήσεων, πάχος στρώσεων κλπ), το διαθέσιμο κεφάλαιο, ο διαθέσιμος μηχανικός εξοπλισμός, η συμπεριφορά του οδοστρώματος μετά την ανακύκλωση (αναμενόμενα αποτελέσματα) και η εξοικονόμηση ενέργειας. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανακύκλωσης δεν είναι εύκολη υπόθεση διότι εμπλέκονται πολλές παράμετροι οι οποίες σίγουρο είναι ότι μεταβάλλονται από έργο σε έργο.

2.3.1 Επιφανειακή ανακύκλωση

Η επιφανειακή ανακύκλωση διαφέρει από τις άλλες κατηγορίες ανακύκλωσης δεδομένου ότι ουσιαστικά πρόκειται περί απόξεσης της επιφανειακής στρώσης σε βάθος όχι μεγαλύτερο των 25 mm, για να επιδιορθωθούν οι επιφανειακές κακώσεις όπως πτυχώσεις, αυλακώσεις, ανάδυση ασφάλτου, αποκόλληση αδρανών, έντονη οξειδωση της ασφάλτου και βελτίωση των εγκάρσιων και διαμηκών κλίσεων.

Επί της αποκαλυφθείσης επιφάνειας συνήθως διαστρώνεται νέο θερμό ασφαλτόμιγμα. Το ασφαλτόμιγμα που ανακτάται από την απόξεση συλλέγεται και χρησιμοποιείται ως υλικό βάσεων σταθεροποιημένου ή μη τύπου, σε ορισμένες περιπτώσεις ως υλικό για την κατασκευή επιφανειακών στρώσεων, αφού προηγουμένως προστεθεί σε αυτό συνδετικό υλικό και νέα αδρανή.

Με την επιφανειακή ανακύκλωση, ή καλύτερα λόγω της απόξεσης, βελτιώνεται η πρόσφυση της νέας στρώσης πάνω στην παλαιά επιφάνεια, ιδιαίτερα στην περίπτωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε περιπτώσεις όπου εμφανίζεται έντονη αυλάκωση, η επιφανειακή ανακύκλωση δεν είναι η πλέον αποτελεσματική επέμβαση. Επίσης με την επιφανειακή ανακύκλωση δεν επέρχεται ουσιαστική ενίσχυση του οδοστρώματος.

Η απόξεση της επιφάνειας γίνεται με ειδικά μηχανήματα όπως φρέζα (milling machine) ή λεπιδοφόρο μηχάνημα (όμοιο του grader) (planer) ή ειδικό αναμοχλευτή (scarifier). Ανάλογα με το μηχάνημα και την εποχή που εκτελούνται οι εργασίες, η επιφάνεια του οδοστρώματος θερμαίνεται με ειδικό σύστημα θέρμανσης. Το σύστημα θέρμανσης μπορεί να είναι προσαρτημένο στο μηχάνημα απόξεσης ή να είναι ανεξάρτητο και να αποτελεί από μόνο του ένα άλλο ειδικό μηχάνημα.

2.3.1.1 Φρέζα

Η φρέζα είναι το περισσότερο κοινό μηχάνημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε μορφή ανακύκλωσης τόσο των εύκαμπτων όσο και των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Κινείται πάνω σε τροχούς ή ερπύστριες και φέρει ένα οδοντωτό τύμπανο το οποίο με την περιστροφή του αποξύνει το οδόστρωμα. Το εύρος του τύμπανου κυμαίνεται, αναλόγως του μοντέλου, από περίπου 1 έως και 3,5 mm. Συνήθως προτιμάται το εύρος του τύμπανου να είναι από 1,3 έως 2,0 m.

Ανάλογα με την απόσταση του τύμπανου από την επιφάνεια του οδοστρώματος αλλά και από τον τύπο των κοπτικών εργαλείων (δόντια) που φέρει, καθορίζεται το βάθος του φρεζαρίσματος. Σήμερα υπάρχουν φρέζες που μπορούν να φρεζάρουν σε βάθος μέχρι και 30 cm περίπου. Η ταχύτητα κίνησης κατά τη λειτουργία του μηχανήματος, συνήθως 3 έως 20 m ανά λεπτό, έχει άμεση σχέση με το βάθος που φρεζάρεται. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος και κυρίως το βάθος που μπορεί να φρεζάρει το μηχάνημα τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος αγοράς και συντήρησης αυτού. Μια βέλτιστη λύση είναι ένα μηχάνημα που να μπορεί να φρεζάρει σε πλάτος 1,25 m ή 1,9 m και βάθος έως και 80 mm. Μεγαλύτερα πλάτη και πάχη μπορούν να φρεζαριστούν σε διαδοχικές διελεύσεις.

Το φρεζάρισμα μπορεί να γίνει με την επιφάνεια του οδοστρώματος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή αφού θερμανθεί η επιφάνεια με ειδικό σύστημα θέρμανσης. Το τελευταίο δεν είναι τόσο σύνηθες για την Ελλάδα, λόγω των σχετικά υψηλών θερμοκρασιών. Πλην όμως εργασίες που εκτελούνται σε χειμερινούς μήνες ή όταν ο τάπητας είναι πολύ παλιός και οξειδωμένος, πιθανόν να απαιτήσουν

προθέρμανση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Με τη θέρμανση τη επιφάνειας, που θα πρέπει να αναφερθεί ότι εφαρμόζεται στα εύκαμπτα οδοστρώματα, αυξάνεται ελαφρώς η απόδοση του μηχανήματος, μειώνεται η φθορά των κοπτικών εργαλείων και ελαχιστοποιείται η σκόνη που παράγεται κατά το φρεζάρισμα. Στην περίπτωση που το φρεζάρισμα γίνεται εν ψυχρώ, η σκόνη μπορεί να περιοριστεί με τη διαβροχή της επιφάνειας με νερό, λίγο πριν το φρεζάρισμα. Από τις δύο τεχνικές, παρόλο που το φρεζάρισμα εν θερμώ έχει τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, φαίνεται να προτιμάται η εν ψυχρώ, κυρίως λόγω του μικρότερου συνολικού κόστους της εργασίας φρεζαρίσματος.

Τα *μηχανήματα/συστήματα θέρμανσης* της επιφάνειας, τα οποία μπορεί να είναι ενσωματωμένα με τη φρέζα ή να αποτελούν ένα ξεχωριστό μηχάνημα, είναι βασικά δύο ειδών: α) του υπέρθερμου συμπιεσμένου αέρα και β) των υπέρυθρων ακτίνων (μικροκυμάτων). Στο πρώτο, ο υπέρθερμος αέρας που παράγεται από καύση προπανίου εμφυσάται διαμέσου μεταλλικού πλέγματος στην επιφάνεια του οδοστρώματος: Στο δεύτερο υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός πηγών εκπομπής υπέρυθρων ακτίνων οι οποίες θερμαίνουν την επιφάνεια του οδοστρώματος στην απαιτούμενη θερμοκρασία (συνήθως 80-150° C, αναλόγως της μεθόδου ανακύκλωσης που χρησιμοποιείται). Το σύστημα αυτό είναι σήμερα το συνηθέστερο. Η θερμοκρασία που απαιτείται ρυθμίζεται και για τα δύο συστήματα μεταβάλλοντας ανάλογα το ύψος της θερμαντικής εστίας (πλάκας), την ταχύτητα κίνησης του μηχανήματος ή τον αριθμό των θερμαντικών πηγών.

Τα μηχανήματα φρεζαρίσματος, τέλος, έχουν τη δυνατότητα να απομακρύνουν ταυτόχρονα τα υλικά που εξάγονται και να τα φορτώνουν επί αμάξης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια συστήματος μεταφορικών ταινιών.

2.3.1.2 Λεπιδοφόρο μηχάνημα

Το λεπιδοφόρο μηχάνημα είναι ένα *grader* με ειδικά σκληρυμένη λεπίδα. Η απόξεση με το μηχάνημα αυτό γίνεται σχεδόν πάντοτε αφού η επιφάνεια προθερμανθεί. Ορισμένες ημέρες μόνο του καλοκαιριού μπορεί να μην χρησιμοποιηθεί προθέρμανση της επιφάνειας, πλην όμως η απόδοση αλλά και η ποιότητα της εργασίας δεν είναι η ίδια με αυτή εάν είχε προθερμανθεί η επιφάνεια.

Η απόξεση με λεπιδοφόρο μηχάνημα χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις προσωρινής αποκατάστασης των πτυχώσεων, της παραμόρφωσης του οδοστρώματος ή της ανάδυσης της ασφάλτου, καθώς επίσης και στην αποξήλωση ασφαλικών επαλείψεων και ψυχρών ή θερμών λεπτοσαπτήτων.

Λεπιδοφόρα μηχανήματα για επιφανειακή ανακύκλωση διατίθενται ως μία μονάδα ή ως δύο, δηλαδή με το σύστημα θέρμανσης ενσωματωμένο ή ξεχωριστά. Επίσης σε ορισμένες χώρες διατίθενται τα μηχανήματα αυτά και με σύστημα δόνησης στη λεπίδα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα μηχανήματα αυτά να είναι σε θέση να αποξύσουν σε βάθος μέχρι και 50 mm, με μεγάλη ευκολία. Ένα άλλο πλεονέκτημα στην περίπτωση χρησιμοποίησης λεπίδας με δόνηση είναι ότι η αποκαλυφθείσα επιφάνεια είναι πιο αδρή με αποτέλεσμα να διασφαλίζεται η πρόσφυση της νέας επίστρωσης.

2.3.1.3 Αναμοχλευτής επιφανείας

Το ειδικό αυτό μηχάνημα χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση επιφανειακών ανωμαλιών του οδοστρώματος και λειτουργεί σχεδόν πάντοτε σε συνδυασμό με μηχάνημα θέρμανσης της επιφάνειας. Το μηχάνημα φέρει ειδικά κοπτικά εργαλεία που περιστρέφονται στον κάθετο άξονα. Ανάλογα με το ύψος αυτών από την επιφάνεια του οδοστρώματος ρυθμίζεται και το βάθος απόξεσης. Στο μηχάνημα αυτό μπορεί να προσαρμοστεί και σύστημα ταυτόχρονης φόρτωσης των ανακτημένων υλικών σε φορτηγό.

2.3.2 Ανακύκλωση εν θερμώ

Η ανακύκλωση εν θερμώ είναι μία από τις κατηγορίες ανακύκλωσης που στο στάδιο της ανάμιξης και της επαναδιάστρωσης των ανακυκλωμένων υλικών απαιτείται θέρμανση αυτών. Χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση και ποιοτική αναβάθμιση των παλαιών οδοστρωμάτων. Σε αντίθεση με τις άλλες μορφές ανακύκλωσης, με την ανακύκλωση εν θερμώ βελτιώνεται αισθητά και η αντοχή του οδοστρώματος. Η ανακύκλωση αυτής της μορφής συνήθως εκτελείται στις ασφαλικές στρώσεις, πλην όμως μπορεί να επεκταθεί και στις στρώσεις από ασύνδετα αδρανή. Στην περίπτωση αυτή, στα ασύνδετα αδρανή προστίθεται άσφαλτος και το μίγμα επανατοποθετείται ως σταθεροποιημένη βάση. Έτσι επέρχεται ουσιαστικότερη ενίσχυση του οδοστρώματος με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλάβει μεγαλύτερο αριθμό τυπικών αξόνων.

Η εν θερμώ ανακύκλωση, ουσιαστικά η ανάμιξη του παλαιού ασφαλτομίγματος με τα νέα υλικά, μπορεί να γίνει είτε επί της οδού, είτε σε μόνιμη εγκατάσταση.

2.3.2.1 Ανακύκλωση εν θερμώ επί της οδού

Η ανακύκλωση επί της οδού είναι η πλέον συνήθης μορφή ανακύκλωσης διότι με αυτήν εκμηδενίζεται ή μειώνεται αισθητά το κόστος μεταφοράς του μίγματος προς διάστρωση. Η εν θερμώ ανακύκλωση επί του έργου μπορεί να εκτελεστεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: α) της επαναδιάστρωσης (repave), β) της επανάμιξης (remix) και γ) της αναμόρφωσης (reshape).

2.3.2.2 Επαναδιάστρωση (repave)

Η μέθοδος αυτή κερδίζει συνεχώς έδαφος και είναι σήμερα η μέθοδος που προτιμάται από τους περισσότερους οργανισμούς έναντι των άλλων μεθόδων θερμής ανακύκλωσης επί της οδού. Η προτίμηση οφείλεται στο γεγονός ότι επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα κατασκευής, λόγω του ότι επί του αναμοχλευμένου παλαιού ασφαλτομίγματος διαστρώνεται και νέο ασφαλτόμιγμα.

Η επιφάνεια του παλαιού οδοστρώματος θερμαίνεται με ένα από τα μηχανήματα που προαναφέρθηκαν (συνήθως στους 110-130° C), κατόπιν αναμοχλεύεται σε βάθος συνήθως 20 έως 30 mm, εξομαλύνεται και επ' αυτού διαστρώνεται νέο ασφαλτόμιγμα σε ποσότητα τόση όση απαιτείται για την επίτευξη του τελικού επιθυμητού πάχους. Δηλαδή, εάν απαιτείται από τη μελέτη κατασκευή 50mm τάπητα και έχει αναμοχλευθεί ο παλιός τάπητας σε βάθος 25mm, η ποσότητα του νέου ασφαλτομίγματος είναι τόση όση χρειάζεται για την επίτευξη των επιπλέον 25mm. Αμέσως μετά τη διάστρωση το νέο και το παλιό ασφαλτόμιγμα συμπυκνώνονται μαζί και κατόπιν το οδόστρωμα δίνεται στην κυκλοφορία.

Το μηχάνημα που χρησιμοποιείται στην περίπτωση θερμής ανακύκλωσης με επαναδιάστρωση φέρει χοάνη υποδοχής του έτοιμου ασφαλτομίγματος, σύστημα θέρμανσης της επιφάνειας του οδοστρώματος, αναμοχλευτή ή φρέζα, λεπίδα για την εξομάλυνση της αναμοχλευθείσης επιφάνειας, σύστημα μεταφορικών ταινιών για τη μεταφορά του ασφαλτομίγματος στο διαστρωτήρα και έναν υδραυλικό διαστρωτήρα (finisher) όμοιο με αυτόν που χρησιμοποιείται σε κάθε εργασία διάστρωσης θερμού ασφαλτομίγματος.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι: α) επέρχεται ουσιαστική οικονομία σε υλικά (της τάξεως του 40% έως 50% περίπου), β) διασφαλίζεται η ποιότητα κατασκευής, γ) μπορεί να αποκατασταθεί πλήρως η αντιολισθηρή ικανότητα της επιφάνειας (εφ' όσον χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο μίγμα ή τεχνική), δ) επέρχεται ουσιαστική ενίσχυση του οδοστρώματος, ε) δεν εκπέμπονται τόσοι ρύποι στην ατμόσφαιρα (καπνός και σκόνη), όσοι στην περίπτωση της ανακύκλωσης με επανάμιξη, στ) επιτυγχάνεται άριστη συγκόλληση της νέας στρώσης με το παλαιό οδόστρωμα και ζ) μειώνεται το συνολικό κόστος μεταφοράς του ασφαλτομίγματος.

Το μόνο ίσως μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η παρεμπόδιση της κυκλοφορίας και το υψηλό κόστος κτήσης του ειδικού μηχανήματος που έχει τη μορφή συρμού.

Προαπαιτήσεις για την εφαρμογή της επαναδιάστρωσης

Βασική προϋπόθεση για την επιλογή και την αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής είναι το παλαιό οδόστρωμα, και κατ' επέκταση το παλαιό ασφαλτόμιγμα, να είναι

σε σχετικά καλή κατάσταση. Αυτό μπορεί να εκτιμηθεί οπτικά και να επιβεβαιωθεί εργαστηριακά. Οπτικά το οδόστρωμα δεν θα πρέπει να παρουσιάζει πρόωρες αυλακώσεις ή/και πτυχώσεις, όπως επίσης και κάθε είδους ρηγματώσεις, ανεξάρτητα του χρόνου εμφάνισης. Οι πρόωρες αυλακώσεις ή/και πτυχώσεις είναι ένδειξη ότι το ασφαλτόμιγμα έχει περίσσεια ασφάλτου ή ότι έχει κακή κοκκομετρική διαβάθμιση. Στην αντίθετη περίπτωση, οι ρηγματώσεις είναι ενδείξεις ότι στο μίγμα υπάρχει έλλειμμα ασφάλτου ή η άσφαλτος έχει οξειδωθεί υπερβολικά. Στη δεύτερη περίπτωση, που η άσφαλτος έχει οξειδωθεί σε μεγάλο βαθμό, περαιτέρω θέρμανση του τάπητα θα επιδεινώσει την κατάσταση.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται στο εργαστήριο εκτελώντας τους κατάλληλους ελέγχους, αφού προηγουμένως ληφθεί αντιπροσωπευτικός αριθμός δειγμάτων (καρότων) από τον παλαιό τάπητα. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι παραπάνω προϋποθέσεις ισχύουν για όλες τις μορφές θερμής ανακύκλωσης της οδού.

2.3.2.3 Επανάμιξη (Remix)

Στην περίπτωση αυτή στο ανακτώμενο παλαιό ασφαλτόμιγμα προστίθεται νέα άσφαλτος και αδρανή, αναμιγνύονται επί της οδού και επαναδιαστρώνονται. Η επανάμιξη χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση της επαναδιάστρωσης. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η ποιότητα και η ομοιομορφία του μίγματος που παράγεται, η οποία δεν είναι τόσο καλή σε σύγκριση με το μίγμα που παράγεται σε μόνιμη εγκατάσταση. Παράλληλα και ο ποιοτικός έλεγχος του τελικού μίγματος, στην περίπτωση που προστεθούν νέα υλικά, δεν μπορεί να είναι τόσο αποτελεσματικός. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όλες οι εργασίες και τα στάδια

κατασκευής γίνονται εν κινήσει, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ο απαιτούμενος χρόνος τροποποίησης της σύνθεσης σε περίπτωση που εξάγονται μη επιθυμητά αποτελέσματα. Έτσι, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, όταν η ανακύκλωση γίνεται επί της οδού, θα πρέπει απαραίτητα να γίνεται σχολαστικός προέλεγχος της κατάστασης του παλιού ασφαλτομίγματος και να διασφαλίζεται η καλή λειτουργία του μηχανήματος.

Το παλαιό ασφαλτόμιγμα, που εξάγεται μετά την απόξεση του οδοστρώματος, προωθείται με τη βοήθεια ατέρμονα κοχλία και λεπίδας με μεταφορική ταινία και μεταφέρεται στον αναμίκτη. Στον αναμίκτη, που συνήθως αποτελείται από δύο οριζόντιους άξονες με πτερύγια, προστίθενται οι προκαθορισμένες από τη σύνθεση ποσότητες αδρανών και ασφάλτου. Το τελικό μίγμα μεταφέρεται με κατάλληλο σύστημα, ή εκβάλλει απευθείας, στο διαστρωτήρα, από όπου διαστρώνεται και συμπυκνώνεται. Όλα τα στάδια των εργασιών γίνονται από ένα συρμό μηχανημάτων, ενώ η τροφοδοσία των αδρανών γίνεται από φορητά, τα οποία εκφορτώνουν στο εμπρόσθιο μέρος του συρμού. Η τροφοδοσία της ασφάλτου γίνεται από δεξαμενή που είναι τοποθετημένη σε κατάλληλο σημείο του συρμού. Επίσης ο συρμός φέρει και σύστημα θέρμανσης των αδρανών, πριν αυτά διοχετευθούν στον ανάμικτη. Το μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την ανακύκλωση με επανάμιξη είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται και στην επαναδιάστρωση, με μόνη τη διαφορά ότι σε αυτό προσαρμόζεται το σύστημα ανάμιξης.

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να υφίστανται για να εκτελεσθεί η επανάμιξη είναι όμοιες αυτών της επαναδιάστρωσης. Με την επανάμιξη μπορούν να αποκατασταθούν αποτελεσματικά οι κλίσεις, μειώνεται το κόστος μεταφοράς του ασφαλτομίγματος (η

μείωση είναι της ίδιας περίπου τάξεως όπως και στην επαναδιάστρωση), πλην όμως η παρενόχληση της κυκλοφορίας που επέρχεται είναι μεγαλύτερη.

2.3.2.4 Αναμόρφωση (Reshape)

Κατά την αναμόρφωση δεν προστίθεται κανένα νέο υλικό ή ασφαλτόμιγμα. Απλά η επιφανειακή στρώση αναμοχλεύεται σε βάθος 30-40mm περίπου και επαναδιαστρώνεται. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για την αποκατάσταση κατασκευαστικών κακοτεχνιών (κλίσεις, επιπεδότητα κλπ) με τη βασική προϋπόθεση ότι το ασφαλτόμιγμα είναι σύμφωνο με τη μελέτη σύνθεσης και η άσφαλτος δεν έχει οξειδωθεί υπερβολικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω των παραπάνω προϋποθέσεων η μέθοδος αυτή δεν είναι και τόσο διαδεδομένη όσο οι προηγούμενες δύο.

Η αναμόχλευση γίνεται με τα ίδια μηχανήματα που περιγράφηκαν παραπάνω, αφού η επιφάνεια θερμανθεί στους 130° C περίπου. Η διάστρωση γίνεται συνήθως με *grader*, όταν πρόκειται για μη κύριες οδούς, ή διαστρωτήρα (*finisher*) για όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες οδών. Το μηχάνημα που χρησιμοποιείται στη δεύτερη περίπτωση είναι αυτό που χρησιμοποιείται για την επαναδιάστρωση.

2.3.2.5 Ανακύκλωση εν θερμώ σε μόνιμη εγκατάσταση

Η ανακύκλωση εν θερμώ σε μόνιμη εγκατάσταση είναι η μέθοδος που εφαρμόστηκε με την εμφάνιση της ανακύκλωσης στις αρχές του εικοστού αιώνα. Ως εκ

τούτου, υπάρχει σήμερα μεγαλύτερη εμπειρία από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο θερμής ανακύκλωσης.

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή ποιότητα μίγματος και κατά συνέπεια καλή ποιότητα κατασκευής. Άλλα πλεονεκτήματα της θερμής ανακύκλωσης σε μόνιμη εγκατάσταση είναι: α) επιδιορθώνονται όλες οι επιφανειακές φθορές του τάπητα, β) επέρχεται ουσιαστική βελτίωση της δομικής ικανότητας του οδοστρώματος, γ) αποκαθίστανται οι κλίσεις του οδοστρώματος και δ) αποκαθίσταται πλήρως η αντιολισθηρή ικανότητα της επιφάνειας. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι αυξάνεται αισθητά το κόστος μεταφοράς του ασφαλτομίγματος και πιθανόν να προκαλεί μεγαλύτερη ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή που βρίσκεται η μονάδα παραγωγής. Επίσης η παρεμπόδιση της κυκλοφορίας είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους θερμής ανακύκλωσης.

Κατά τη μέθοδο αυτή, το παλαιό ασφαλτόμιγμα αποξηλώνεται, συνήθως με φρέζα, και μεταφέρεται στο χώρο όπου υπάρχει εγκατεστημένη η μόνιμη μονάδα παραγωγής ασφαλτομίγματος. Το παλαιό ασφαλτόμιγμα μπορεί να αποθηκεύεται σε σωρούς ή να ανακυκλώνεται αμέσως. Πριν την ανακύκλωση αυτού ελέγχεται εάν το μεγαλύτερο κομμάτι ασφαλτομίγματος ξεπερνά τα 37,5mm ή το πολύ τα 50mm, σε μέγιστη διάμετρο. Σε αντίθετη περίπτωση το παλαιό ασφαλτόμιγμα θραύεται και κοσκινίζεται έτσι ώστε όλα τα κομμάτια να διέρχονται από κόσκινο 50mm. Η περαιτέρω θραύση του παλιού ασφαλτομίγματος είναι απολύτως αναγκαία όταν η αποξήλωση γίνεται με grader.

Μετά την παραπάνω προετοιμασία του μίγματος ένα ποσοστό του παλιού ασφαλτομίγματος αναμιγνύεται με νέα άσφαλο και αδρανή, έτσι ώστε το τελικό μίγμα

να έχει τις ιδιότητες του επιθυμητού ασφαλτομίγματος. Το ποσοστό του παλαιού ασφαλτομίγματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέου ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες: α) την κατάσταση του παλιού ασφαλτομίγματος, β) το μίγμα που πρόκειται να παραχθεί, γ) τον τύπο της μονάδας παραγωγής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και δ) σε ποια στρώση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Συνήθως μικρότερο ποσοστό παλαιού ασφαλτομίγματος χρησιμοποιείται σε τάπητες κυκλοφορίας και μεγαλύτερο όταν αυτό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ασφαλική βάση. Επίσης τα συκροτήματα συνεχούς ροής (ανάμιξη με τύμπανο), μετά από κάποια τροποποίηση, μπορούν να αναμίξουν μεγαλύτερη ποσότητα παλιού ασφαλτομίγματος, σε αντίθεση με τα συκροτήματα παραγωγής ανά παρτίδες.

Ορισμένες χώρες, ανεξάρτητα με τα παραπάνω, για τη διασφάλιση του τελικού προϊόντος, επιβάλλουν και μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό παλαιού ασφαλτομίγματος που μπορεί να περιέχεται στο ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα. Έτσι στην Αγγλία το ποσοστό αυτό είναι 60% και στην Ολλανδία, ειδικά για επιφανειακές στρώσεις, είναι 25%.

Στις ΗΠΑ το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό μεταβάλλεται από πολιτεία σε πολιτεία, πλην όμως οι περισσότερες φαίνεται να χρησιμοποιούν το 70%, ιδιαίτερα όταν η παραγωγή γίνεται σε συγκρότημα συνεχούς παραγωγής με τύμπανο.

Γενικά στις υπόλοιπες χώρες που χρησιμοποιούν θερμή ανακύκλωση πλην των ΗΠΑ, το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό κυμαίνεται από 40% έως 60%.

2.3.2.6 Παραγωγή σε συγκρότημα ανά παρτίδες

Η παραγωγή του ανακυκλωμένου μίγματος σε συγκρότημα παραγωγής ανά παρτίδες γίνεται με την υπερθέρμανση των αδρανών και κατόπιν την προσθήκη του παλαιού ασφαλτομίγματος δίχως αυτό να θερμανθεί. Η προσθήκη του παλαιού ασφαλτομίγματος γίνεται είτε αμέσως μετά τον θερμαντήρα των αδρανών, είτε απευθείας μέσα στον ανάμικτη.

Και στις δυο περιπτώσεις η θέρμανση του παλαιού ασφαλτομίγματος γίνεται με εναλλαγή θερμοκρασίας. Ο τρόπος αυτός της παραγωγής έχει το πλεονέκτημα ότι εκμηδενίζει την πιθανότητα δημιουργίας του ρυπογόνου «μπλε» καπνού (blue smoke) που παράγεται κατά την υπερθέρμανση της ασφάλτου, πλην όμως έχει το μειονέκτημα να διατηρεί τα αδρανή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στον κύλινδρο μέχρι να υπερθερμανθούν, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ωριαία / ημερήσια παραγωγή του συγκροτήματος. Επίσης, δεδομένου ότι η θέρμανση του παλαιού ασφαλτομίγματος γίνεται έμμεσα με εναλλαγή της θερμότητας, η ποσότητα του παλαιού ασφαλτομίγματος που μπορεί να προστεθεί περιορίζεται. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να προστεθεί είναι το 50% του τελικού ασφαλτομίγματος που πρόκειται να παραχθεί ανά παρτίδα. Ένα άλλο μειονέκτημα που έχει αναφερθεί από τη χρήση αυτού του τύπου συγκροτήματος για τη θερμή παραγωγή ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος, είναι η γρήγορη φθορά που υφίσταται το τύμπανο θέρμανσης και τα φίλτρα, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται κατά τη λειτουργία.

Για να παρακαμφθούν τα παραπάνω προβλήματα, ορισμένοι παραγωγοί χρησιμοποιούν σήμερα ένα τροποποιημένο συγκρότημα παραγωγής ανά παρτίδες. Στο συγκρότημα αυτό υπάρχουν δύο τύμπανα, το ένα για την ξήρανση και θέρμανση των

αδρανών σε υψηλές θερμοκρασίες και το άλλο για την προθέρμανση του παλαιού ασφαλτομίγματος. Για την προθέρμανση του παλαιού ασφαλτομίγματος χρησιμοποιούνται τα καυσαέρια από το πρώτο τύμπανο.

2.3.2.7 Παραγωγή σε συγκρότημα παραγωγής συνεχούς ροής

Η παραγωγή ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος σε συγκρότημα παραγωγής ανά παρτίδες γίνεται με την προσθήκη του παλιού ασφαλτομίγματος απευθείας μέσα στο τύμπανο ξήρανσης / θέρμανσης των αδρανών. Αυτό έχει το μειονέκτημα της δημιουργίας «μπλε» καπνού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται.

Για την ανακύκλωση χρησιμοποιούνται δύο τύποι συγκροτημάτων συνεχούς ροής, της απευθείας θέρμανσης και της έμμεσης θέρμανσης.

α) Συγκρότημα παραγωγής απευθείας θέρμανσης

Στο συγκρότημα απευθείας θέρμανσης το προς ανακύκλωση ασφαλτόμιγμα προστίθεται μαζί με τα αδρανή στο περιστρεφόμενο τύμπανο θέρμανσης και όλα μαζί αναμιγνύονται μέσα στο τύμπανο. Το παλαιό ασφαλτόμιγμα έρχεται σε άμεση επαφή με τη θερμαντική φλόγα και τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να παράγονται ανεπιθύμητοι ρύποι («μπλε» καπνός). Για τον περιορισμό της ανάπτυξης του «μπλε» καπνού χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα μείωσης αυτού, όπως προστατευτική ασπίδα διασκορπισμού της θερμότητας, ή εισαγωγή ψυχρού αέρα για τη μείωση των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών σε θερμοκρασία κάτω των 450° C. Ο τύπος αυτός του

συγκροτήματος έχει τη δυνατότητα να παράγει ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα στο οποίο το ανακτημένο παλαιό ασφαλτόμιγμα συμμετέχει με ποσοστό πάνω από 70%.

Ένας άλλος τρόπος μείωσης των ρύπων είναι η τροφοδότηση του μίγματος προς ανακύκλωση στο μέσο του τύμπανου. Η τροποποίηση αυτή επιφέρει μικρή μείωση στο ποσοστό συμμετοχής του παλαιού ασφαλτομίγματος στο ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα (συνήθως 60% έως 70%).

Τροποποίηση του παραπάνω αρχικού συστήματος είναι η χρήση δύο ομόκεντρων τύμπανων (τύμπανο μέσα σε τύμπανο), όπου τα αδρανή ξηραίνονται, θερμαίνονται στο εσωτερικό μικρό τύμπανο και εκχέονται στο μεγάλο εξωτερικό τύμπανο όπου συναντούν το ανακτημένο ασφαλτόμιγμα. Το σύστημα αυτό μπορεί να παράγει ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα στο οποίο το παλαιό ανακτημένο συμμετέχει σε ποσοστό 50%-60%.

β) Συγκρότημα παραγωγής με έμμεση θέρμανση

Στο συγκρότημα παραγωγής με έμμεση θέρμανση χρησιμοποιούνται σωλήνες εναλλαγής θερμότητας οι οποίοι είναι περιμετρικά τοποθετημένοι στο τύμπανο. Στους σωλήνες κυκλοφορούν υπέρθερμα αέρια και έτσι το μίγμα δεν έρχεται σε άμεση επαφή με τη θερμαντική φλόγα. Το σύστημα αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι εκμηδενίζει την εκπομπή ρύπων και λέγεται ότι μπορεί να ανακυκλώσει ποσοστά παλαιού ασφαλτομίγματος μέχρι και 100%.

Τέλος, κατά τη θερμή ανακύκλωση και ανεξάρτητα του συγκροτήματος που χρησιμοποιείται, θα πρέπει η υγρασία του ανακτημένου ασφαλτομίγματος να είναι όσο

το δυνατόν χαμηλότερη ή μηδενική. Η υπερβολική υγρασία μειώνει την αποδοτικότητα της εναλλαγής της θερμότητας και επηρεάζει την ποιότητα του τελικού μίγματος.

2.3.3 Ανακύκλωση εν ψυχρώ

Η ανακύκλωση εν ψυχρώ είναι η κατηγορία της ανακύκλωσης στην οποία σε κανένα στάδιο των εργασιών δεν απαιτείται θέρμανση των υλικών. Τα εν ψυχρώ ανακυκλωμένα μίγματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως μίγματα για την κατασκευή υποβάσεων, βάσεων και συνδετικών στρώσεων, ανεξαρτήτως κυκλοφοριακού φόρτου, και ως μίγματα για επιφανειακές στρώσεις σε οδούς με μικρή έως μέση κυκλοφορία. Η συνηθέστερη εφαρμογή τους είναι να χρησιμοποιούνται ως μίγματα βάσεων και συνδετικών στρώσεων, επί των οποίων διαστρώνεται στρώση από θερμό ασφαλτόμιγμα. Επίσης στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ως μίγματα επιφανειακών στρώσεων, είναι αναγκαίο η επιφάνειά τους να καλύπτεται με απλή ασφαλική επάλειψη.

Με την ανακύκλωση εν ψυχρώ επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, μικρότερο κόστος κατασκευής και αποφεύγεται η ατμοσφαιρική ρύπανση. Το τελευταίο είναι και ο κυριότερος λόγος για τον οποίο συνήθως επιλέγεται προς αποκατάσταση ή συντήρηση των οδοστρωμάτων σε αστικές περιοχές. Όλα τα παραπάνω τεκμηριώνονται και από τα αποτελέσματα πρόσφατης εφαρμογής στην Αγγλία.

Το συνδετικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι κατ' αποκλειστικότητα το ασφαλικό γαλάκτωμα (κατά προτίμηση κατιονικού τύπου) και η ανακύκλωση μπορεί να γίνει είτε επί της οδού είτε σε μόνιμη εγκατάσταση.

2.3.3.1 Ανακύκλωση εν ψυχρώ επί της οδού (ή ψυχρής επιτόπου ανακύκλωσης)

Η ανακύκλωση εν ψυχρώ επί της οδού είναι η πλέον συνήθως μορφή ψυχρής ανακύκλωσης και συνιστάται στη διάσπαση και κατακερματισμό του οδοστρώματος (δίχως την προθέρμανση της επιφάνειας), την προσθήκη συνήθως μόνο ασφαλτικού γαλακτώματος, την ανάμιξη και τη διάστρωση του τελικού προϊόντος. Διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες: α) την ανακύκλωση σε βάθος και β) την ανακύκλωση σε μερικό βάθος.

Στην πρώτη περίπτωση, όλες οι ασφαλτικές στρώσεις και ένα μέρος της βάσης από ασύνδετα αδρανή, ήτοι συνολικό βάθος από 100mm έως 300mm, κατακερματίζονται σε τεμάχια μεγίστης διάστασης περίπου 50mm και επί αυτών ψεκάζεται ασφαλτικό γαλάκτωμα. Το τελικό προϊόν μετά την ανάμιξη λαμβάνεται ως υλικό για την κατασκευή σταθεροποιημένης βάσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πιθανόν να προστίθεται και μικρή ποσότητα νέων αδρανών.

Στην περίπτωση της ανακύκλωσης σε μερικό βάθος, μόνο ένα μέρος των ασφαλτικών στρώσεων, συνήθως 50mm έως 100mm, κατακερματίζεται και ανακυκλώνεται. Μετά την προσθήκη ασφαλτικού γαλακτώματος το τελικό προϊόν χρησιμοποιείται ως υλικό επιφανειακής στρώσης ή ως υλικό βάσης. Η υποκατηγορία αυτή της ανακύκλωσης κερδίζει συνεχώς έδαφος και είναι σήμερα η πλέον διαδεδομένη στην κατηγορία της ψυχρής ανακύκλωσης.

Κατασκευαστικά στάδια

Η εν ψυχρώ ανακύκλωση επί της οδού περιλαμβάνει τα εξής βασικά στάδια: α) κατακερματισμό του παλιού οδοστρώματος, β) προσθήκη ασφαλτικού γαλακτώματος, γ)

προσθήκη νέων αδρανών (συνήθως μόνο στην περίπτωση ανάμιξης σε μόνιμο συγκρότημα, δ) ανάμιξη, ε) διάστρωση, στ) αερισμό του μίγματος, ζ) συμπίκνωση, η) ωρίμανση και θ) διάστρωση τάπητα ή ασφαλικής επάλειψης.

1. Κατακερματισμός, ανάμιξη και διάστρωση

Τα στάδια (α) έως και (ε) μπορούν να εκτελεστούν μεμονωμένα από κατάλληλα μηχανήματα, αλλά και από ένα μόνο ειδικό μηχάνημα.

Στην περίπτωση που οι εργασίες γίνονται μεμονωμένα, τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη διάσπαση και κατακερματισμό του οδοστρώματος μπορεί να είναι ένα grader, ή μια μπουλντόζα με δόντια, ή ένα ρίπερ, μαζί με έναν αναμοχλευτή με κοπτικά εργαλεία που περιστρέφονται στον κάθετο άξονα και τεμαχίζουν το μίγμα σε μικρότερα κομμάτια, ή από μόνη της μία φρέζα.

Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την ανάμιξη και τη διάστρωση μπορεί να είναι στην απλούστερη περίπτωση ένα grader, ή ένα αυτοκινούμενο μηχάνημα παραγωγής και διάστρωσης με τροφοδοσία από χοάνη υποδοχής, ή ένα αυτοκινούμενο μηχάνημα ανάμιξης και διάστρωσης με τροφοδοσία από σειράδιο.

Επίσης, για την ανακύκλωση επί της οδού εν ψυχρώ υπάρχουν και ειδικές φρέζες οι οποίες παράλληλα με το φρεζάρισμα κάνουν και την ανάμιξη. Το παραγόμενο μίγμα βγαίνει από το μηχάνημα σε σειράδιο, το παραλαμβάνει η μηχανή διάστρωσης και το διαστρώνει. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα για την ανακύκλωση σε μερικό βάθος.

Τέλος, οι παραπάνω εργασίες μπορούν να γίνουν από ένα και μόνο μηχάνημα (γνωστό ως συρμός ή τρένο), το οποίο επιπλέον φέρει και ειδικό σπαστήρα για την περαιτέρω μείωση των τεμαχίων του ανακτώμενου ασφαλτομίγματος. Το μηχάνημα αυτό, εκτός του ότι είναι ογκώδες και συνεπώς δεν είναι τόσο ευέλικτο όσο όλα τα άλλα, έχει το μειονέκτημα ότι είναι πολύ ακριβό στην κτήση του και στο κόστος συντήρησής του.

2. Αερισμός και συμπίκνωση

Ορισμένα ψυχρά ανακυκλωμένα ασφαλτομίγματα, ιδιαίτερα αυτά που παρασκευάζονται με ανιονικό γαλάκτωμα, χρειάζονται αερισμό για την εξάτμιση κάποιας ποσότητας ύδατος πριν τη συμπίκνωση. Στις περιπτώσεις αυτές, το ανακυκλούμενο ασφαλτόμιγμα τοποθετείται σε σειράδια επί της οδού και με τη βοήθεια grader διαστρώνεται σε αλλητάλληλες λεπτές στρώσεις μέχρις ότου επιτευχθεί το επιθυμητό συνολικό πάχος. Το πάχος της κάθε στρώσης είναι συνήθως δύο φορές η μέγιστη διάμετρος του κόκκου στο μίγμα. Μίγματα στα οποία δεν απαιτείται αερισμός διαστρώνονται στο επιθυμητό συνολικό πάχος και κατόπιν συμπυκνώνονται.

Η συμπίκνωση των ψυχρών ανακυκλωμένων ασφαλτομιγμάτων γίνεται όπως και στα ψυχρά ασφαλτομίγματα με παρθένα υλικά. Σε όλες τις περιπτώσεις το συνολικό πάχος της στρώσης, για αποτελεσματική συμπίκνωση, συνιστάται να μην ξεπερνά τα 75mm, όταν τα μίγματα είναι κλειστού τύπου και τα 150mm, όταν τα μίγματα είναι ανοιχτού τύπου.

3. Ωρίμανση και διάσπρωση τάπητα ή ασφαλικής επάλειψης

Στα ανακυκλωμένα ψυχρά ασφαλτομίγματα απαιτείται πάντοτε η κάλυψη αυτών με θερμό ασφαλτοτάπητα, στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται σε περιοχές με βαριά κυκλοφορία, ή με απλή ασφαλική επάλειψη. Η εκτέλεση των παραπάνω εργασιών θα πρέπει να γίνεται μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος, κατά τη διάρκεια του οποίου η συνολική υγρασία που εμπεριέχεται στο μίγμα μειώνεται στο 1% με 2%. Το χρονικό αυτό διάστημα εξαρτάται από την εποχή εκτέλεσης των εργασιών ανακύκλωσης. Όταν αυτές εκτελούνται κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, η επικάλυψη της ανακυκλωθείσας επιφάνειας με τάπητα ή ασφαλική επάλειψη μπορεί να γίνει μετά από δύο εβδομάδες μετά την περάτωση των εργασιών. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις ή όταν βρέξει κατά το διάστημα αναμονής, το χρονικό διάστημα αυξάνει σε ένα περίπου μήνα. Ο λόγος που αφήνεται κάποιο διάστημα για να αποβάλλει το μίγμα την υγρασία του είναι αποκλειστικά και μόνο για να μπορέσει το μίγμα να ανακτήσει το μέγιστο της ευστάθειάς του. Το στάδιο αυτό είναι γνωστό ως στάδιο ωρίμανσης του μίγματος.

2.3.3.2 Πλεονεκτήματα της μεθόδου ανακατασκευής οδοστρωμάτων με ψυχρή ανακύκλωση

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου ανακατασκευής με την ψυχρή επί τόπου ανακύκλωση, του υπάρχοντος υλικού από το παλαιό οδόστρωμα, συνοψίζονται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με τα βασικά πλεονεκτήματα και όχι με το βαθμό σπουδαιότητας.

α. Υψηλή ποιότητα του τελικού οδοστρώματος

Τα προτερήματα αυτής της κατηγορίας γενικά σχετίζονται με την υψηλή ποιότητα άλεσης και ανάμιξης, η οποία εκτελείται από σύγχρονους ανακυκλωτές.

Έλεγχος του πάχους στρώματος

Μετά τη ρύθμιση, το βάθος κοπής του κυλίνδρου ανακυκλωτή ελέγχεται ηλεκτρονικά με μέγιστη απόκλιση $\pm 5\text{mm}$.

Σταθερότητα του ανακυκλούμενου υλικού και έλεγχος των ρωγμών συρρίκνωσης με σταθεροποιητικά υλικά (π.χ. τσιμέντο), αφού η ανάμιξη γίνεται μέσω ειδικού κυλίνδρου άλεσης. Η προσθήκη νερού και υγρού σταθεροποιητικού μέσου ελέγχεται ηλεκτρονικά και διαχέεται κατά μήκος όλου του πλάτους του κυλίνδρου με τη βοήθεια μιας σειράς ακροφυσίων.

Μη χρονική καθυστέρηση μεταξύ ανάμιξης και συμπύκνωσης, αφού η συμπύκνωση μπορεί να αρχίσει αμέσως μετά την ανακύκλωση αν το μηχάνημα ανακύκλωσης είναι εφοδιασμένο με δονητική πλάκα (finisher).

β. Μικρός χρόνος κατασκευής

Απαιτείται σημαντικά λιγότερος χρόνος για να ολοκληρωθεί ένα έργο όταν τεθεί σε λειτουργία η διαδικασία ανακατασκευής οδοστρωμάτων με τη μέθοδο ψυχρής ανακύκλωσης.

Άστατος καιρός

Η δουλειά μπορεί να προχωρήσει προσεκτικά σε μικρά τμήματα ακόμη και κατά τη διάρκεια περιόδων με άστατο καιρό.

Ευστάθεια υποδομής

Μόνο οι δύο πίσω ερπύστριες του ανακυκλωτή βρίσκονται σε επαφή με την επιφάνεια που ανακυκλώνεται. Οι ελαχιστοφόροι ανακυκλωτές έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του ανακυκλούμενου υλικού. Η ενόχληση της υποδομής είναι ελάχιστη.

Ελαχιστοποίηση καθυστερήσεων λόγω διακοπής της παροχής νερού

Τα περισσότερα μηχανήματα **ανακύκλωσης είναι εξοπλισμένα με ντεπόζιτα νερού** που επιτρέπουν να προχωρήσει η διαδικασία μόνο για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, χωρίς την παρουσία υδροφόρων.

γ. Χαμηλό κόστος ανά μονάδα κατά την πλήρη ανακατασκευή.

Τα χαρακτηριστικά που συμβάλλουν σε χαμηλότερο συνολικά κόστος ανακατασκευής, με τη μέθοδο της διαδικασίας ανακατασκευής, με τη μέθοδο της διαδικασίας οδοστρωμάτων με την ψυχρή ανακύκλωση, σχετίζονται με την **αποτελεσματικότητα της λειτουργίας ενός μόνο περάσματος.**

Τύπος οδοστρώσεως

Η αύξηση του πάχους της υπόβασης κατά μόνο 50mm επιτρέπει τη μείωση της στρώσης της ασφάλτου κατά τουλάχιστον 25mm χωρίς να μεταβληθεί ο προβλεπόμενος χρόνος ζωής του οδοστρώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σημαντική

εξοικονόμηση χρημάτων, εφόσον η σχέση κόστους της ασφάλτου για συμβατική ανακατασκευή προς τις απαιτήσεις της ψυχρής ανακύκλωσης είναι 2:1, ενώ σε μερικές χώρες φθάνει μέχρι το 10:1.

Μείωση της ποσότητας του σταθεροποιητικού μέσου

Λόγω της αποτελεσματικότητας στην ανάμιξη, κατά τη διαδικασία ανακατασκευής οδοστρωμάτων με ψυχρή ανακύκλωση, ο **συντελεστής ασφάλειας** που τυπικά εφαρμόζεται όταν καθορίζονται τα επίπεδα προσθήκης σταθεροποιητικών υλικών, **μπορεί να μειωθεί** σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους. Η οικονομία που επιτυγχάνεται όσον αφορά το κόστος του σταθεροποιητικού μέσου μπορεί να ξεπεράσει το 20%.

Ανακυκλωτής ψυχρής λειτουργία

Μεταβάλλοντας την ταχύτητα κίνησης, την ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου άλεσης και τη θέση του συστήματος ελέγχου διαβάθμισης, το επί τόπου υλικό διαβαθμίζεται σε μια κοκκομετρία αποδεκτή για επαναχρησιμοποίηση.

Ενώ με τη μέθοδο συμβατικών τύπων ανακατασκευής συνήθως προκύπτουν υπερμεγέθη υλικά ιδιαίτερα κατά την αναμόχλευση των ασφαλικών τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν.

Ο όγκος του υλικού που απομακρύνθηκε πρέπει να αντικατασταθεί από μεταφερόμενα αδρανή κατάλληλης ποιότητας.

δ. Ασφάλεια κυκλοφορίας και προστασία του κοινού

Τα στοιχεία που περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία σχετίζονται με τη φύση της μεθόδου, καθόσον όλα γίνονται σε ένα πέρασμα και με την ελαχιστοποίηση του αριθμού μηχανημάτων που απαιτούνται στον τόπο εργασίας.

ε. Προβλήματα μεταξύ παράλληλης κυκλοφορίας και ανακατασκευής οδοστρωμάτων

Στην μέθοδο ψυχρής ανακύκλωσης, αν εξαιρεθούν τα περιστασιακά οχήματα που μεταφέρουν νερό, σταθεροποιητικά μέσα και πρόσμιξη, το πρόβλημα στην ταυτόχρονη κυκλοφορία περιορίζεται μόνο στη στιγμή της αναστροφής των μηχανημάτων της ανακύκλωσης στο τέλος της διαδρομής άλεσης του οδοστρώματος. Η όλη διαδικασία της ανακύκλωσης μπορεί να διεκπεραιωθεί κατά πλάτος μιας λωρίδας κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης, η ανακύκλωση μπορεί να ολοκληρωθεί κατά μήκος μιας λωρίδας τη φορά κατά τη διάρκεια της ημέρας, έτσι ώστε και οι δύο κατευθύνσεις, συμπεριλαμβανομένης της ανακυκλωμένης λωρίδας, να δοθούν στην κυκλοφορία μέχρι το βράδυ.

Σε αντίθεση, στις συμβατικές μεθόδους επιπλέον των περιοδικών οχημάτων μεταφοράς νερού, σταθεροποιητικών μέσων και υλικών από λατομεία, κάθε μηχάνημα πρέπει να γυρίσει μετά από κάθε πέρασμα της πολλαπλής διαδικασίας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστα δυστυχήματα με τα επερχόμενα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν τις άλλες λωρίδες κυκλοφορίας.

στ. Διατήρηση των τμημάτων οδού που δεν ανακατασκευάζεται

Με τη χρήση του ανακυκλωτή οι άκρες του κυλίνδρου άλεσης εξασφαλίζουν τομές καθαρές και κατακόρυφες.

Αντίθετα με ανακατασκευή συμβατικού τύπου ο έλεγχος υπερεκκαφών ή τυχαίας μορφής αποξηλούμενων τμημάτων είναι αδύναμος ειδικά όταν γίνεται αναμόχλευση σε διάσπαρτα σημεία. Επίσης προβλήματα μπορούν να προκληθούν από τυχαίες υπερεκκαφές στις λωρ ίδες που δεν χρειάζονται ανακατασκευή με κινδύνους ατυχημάτων.

ζ. Μειωμένη ρύπανση

Με τη μέθοδο ψυχρής ανακύκλωσης όλα τα πρόσθετα, όπως υγρασία και σταθεροποιητικά μέσα παρέχονται και αναμιγνύονται με το υπάρχον υλικό σε ελεγχόμενο περιβάλλον στον προστατευόμενο χώρο άλεσης του ανακυκλωτή και έτσι ελαχιστοποιείται η περιβαλλοντική όχληση από θόρυβο και σκόνη. Σε αστικές περιοχές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αιώρημα τσιμέντου, πράγμα που εξαφανίζει την πιθανότητα προσβολής της δημόσιας υγείας.

Σε αντίθεση, στις συμβατικές μεθόδους λόγω της διαδικασίας πολλαπλών περασμάτων, είναι θορυβώδης και παράγεται αρκετή σκόνη και αιωρούμενα σωματίδια με όχληση στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία.

2.3.3.3 Ανακύκλωση εν ψυχρώ σε μόνιμη εγκατάσταση

Κατά την ανακύκλωση σε μόνιμη εγκατάσταση το μίγμα που αποξηλώθηκε μεταφέρεται στο χώρο που υπάρχει εγκαταστημένη η μονάδα παραγωγής, αναμιγνύεται με νέα αδρανή υλικά και γαλάκτωμα και επαναδιαστρώνεται. Ανάλογα με το μηχάνημα που χρησιμοποιείται κατά την αποξήλωση, το μίγμα πιθανόν να χρειαστεί περαιτέρω θραύση πριν το στάδιο της ανάμιξης. Περαιτέρω θραύση απαιτείται όταν η αποξήλωση γίνεται με grader ή με οδοντωτό μηχάνημα αποξήλωσης. Η αποξήλωση με φρέζα μπορεί να κατατεμαχίσει το μίγμα σε κομμάτια κατάλληλων διαστάσεων (όχι μεγαλύτερα των 50mm) έτσι ώστε να μην απαιτείται περαιτέρω θραύση. Σε περίπτωση που απαιτείται θραύση, ο κατάλληλος σπαστήρας είναι αυτός με σφυριά και όχι ο σιαγονοφόρος.

Η ανάμιξη του ανακτηθέντος ασφαλτομίγματος με νέο ασφαλτικό γαλάκτωμα και αδρανή υλικά γίνεται με συγκρότημα παραγωγής ψυχρών ασφαλτομιγμάτων. Οι ποσότητες των νέων υλικών που προστίθενται καθορίζονται μετά από ανάλυση του ανακτηθέντος ασφαλτομίγματος και σε συνδυασμό με τον τύπο του ασφαλτομίγματος που αποφασίζει να παραχθεί. Η διαδικασία ανάμιξης είναι ακριβώς όμοια με τη διαδικασία που ακολουθείται στα ψυχρά ασφαλτομίγματα.

Αερισμός του μίγματος στην περίπτωση αυτή δεν είναι τόσο συνήθως όσο στην ανάμιξη επί της οδού. Εάν απαιτηθεί, αυτή γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Η διάστρωση του ανακυκλωμένου ψυχρού ασφαλτομίγματος γίνεται συνήθως με τους συμβατικούς διαστρωτήρες (finishers). Η συμπίκνωση, τέλος, του ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως σε όλα τα ψυχρά ασφαλτομίγματα.

Με την ανακύκλωση σε μόνιμη εγκατάσταση επιτυγχάνεται καλύτερης ποιότητας ασφαλτόμιγμα. Αυτό οφείλεται όχι μόνο στο γεγονός ότι προστίθενται καινούργια υλικά, αλλά και στο ότι υπάρχει καλύτερος ποιοτικός έλεγχος τόσο του ανακτηθέντος μίγματος όσο και του τελικού προϊόντος.

Όπως σε όλα τα ψυχρά ανακυκλωθέντα ασφαλτομίγματα, συνιστάται η επικάλυψη αυτών με θερμό ασφαλτοτάπητα, στην περίπτωση εφαρμογής τους σε δρόμους βαριάς κυκλοφορίας, ή με απλή ασφατική επάλειψη.

2.4 Τεχνικοοικονομική Ανάλυση

Η παρούσα τεχνικοοικονομική μελέτη, αφορά την προμήθεια του μηχανολογικού εξοπλισμού, με τα υποστηριζόμενα μηχανήματα, για την ολοκληρωμένη λειτουργία της μονάδας παραγωγής αδρανών υλικών, σε έκταση εντός ή εκτός σχεδίου πόλεως, λαμβάνοντας ενδεικτικά υπόψη οικονομικά στοιχεία έτους 2010.

Τα παραγόμενα αδρανή υλικά θα είναι τα εξής:

- Σκύρα
- 3Α

Με δυνατότητα παραγωγής μετά τη διαλογή σε :

- Άμμος
- Ψηφίδα
- Χαλίκι

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 – Κόστος Κύριου Μηχανολογικού Εξοπλισμού

Μηχάνημα	Κόστος προμήθειας (€)
Σπαστήρας	210.000,00
Τσάπα Περιστρεφόμενη	55.000,00
Φορτωτής	55.000,00
Enviro Kit	5.900,00
Ψεκασμός νερού	2.350,00
Μαγνητικός Διαλογέας	5.000,00
Κόσκινο	19.000,00
Προδιαλογέας	5.000,00
Σύνολο	357.250,00

Στις τιμές δεν περιλαμβάνεται ο Φ.Π.Α.

2.4.1 Υπολογισμός κόστους σπαστήρα

Η επιλογή του σπαστήρα έγινε με βάση το μέγεθος του και την ποιότητα παραγωγής των αδρανών (από πλευράς διαβάθμισης). Ο σπαστήρας που επιλέχθηκε είναι ένας RumbleMaster RM80 αυτοκινούμενος με κόσκινα. Με βάση την ευελιξία σε σχέση με το υλικό που επεξεργάζεται και την ταχύτητα που μπορεί να επαναρρυθμιστεί από πρωτοβάθμιος σε δευτεροβάθμιος σπαστήρας είναι ο κατάλληλος για τις απαιτήσεις των μηχανικών που τους ενδιαφέρει το χαμηλό κόστος χωρίς να χάνουν σε ποιότητα. Η τελική του τιμή καθορίστηκε από την τιμή καταλόγου του κυρίως μηχανήματος από το κόστος μεταφοράς από την παραγωγό χώρα και τα κόστη εκτελωνισμού και εγκατάστασης.

2.4.2 Υπολογισμός κόστους Εκσκαφέα (Τσάπας)

Για τη λειτουργία του λατομείου είναι απαραίτητος ένας εκσκαφέας (τσάπα) ο οποίος θα τροφοδοτεί τον σπαστήρα με τα προς ανακύκλωση υλικά. Ο εκσκαφέας που

επιλέχθηκε είναι Liebherr R900 li περιστρεφόμενος, ερπηστριοφόρος με βάρος 23 τόνους και έχει επιλεγεί κουβάς 2m³ που είναι κοντά στο μέγιστο άνοιγμα της εισαγωγής του χώρου θραύσης του σπαστήρα ώστε οι όγκοι των προς ανακύκλωση υλικών να μην δημιουργούν πρόβλημα στην διαδικασία που συνεπάγεται παύση της λειτουργίας. Το κόστος του Εκσκαφέα καθορίστηκε από την τιμή καταλόγου του και το κόστος κατασκευής και εφαρμογής του κατάλληλου κουβά.

2.4.3 Υπολογισμός κόστους Φορτωτή

Επιλέχθηκε φορτωτής ATLAS E86 ελαστικοφόρος, αρθρωτός με χωρητικότητα κουβά 1,8 m³. Στο υδραυλικό σύστημα ανύψωσης της μπούμας έχει εφαρμοστεί ζυγηστιριο το οποίο μεταφέρει την ένδειξη στην καμπίνα και ο χειριστής έχει την δυνατότητα εκτύπωσης ζυγολογίου. Το κόστος του φορτωτή καθορίστηκε από την τιμή καταλόγου και την προμηθεια και εγκατάσταση του ζυγολογίου.

2.4.4 Υπολογισμός κόστους παρελκόμενων εξαρτημάτων του σπαστήρα

Κάθε ένα από τα παρακάτω εφαρμόζεται στον σπαστήρα και επιτελεί μια επικουρική λειτουργία που βελτιστοποιεί την λειτουργία του σπαστήρα.

- Το Enviro Kit μειώνει την εκπομπή θορύβων
- Ο ψεκασμός νερού μειώνει την εκπομπή σκόνης

- Ο μαγνητικός διαλογέας είναι ένας μεταφορικός ιμάντας τοποθετημένος εγκάρσια στην κύρια μεταφορική ταινία που με την χρήση ενός ηλεκτρομαγνήτη αποσπά τα μεταλλικά στοιχεία από το εξαγόμενο υλικό

- Ο προδιαλογέας εφαρμόζεται πριν τον χώρο θραύσης ώστε να διαχωρίζει ανάλογα με το μέγεθος το εισαγόμενο υλικό με μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο και να απομακρύνει σημαντική ποσότητα μέσω πλευρικής ταινίας

- Το κόσκινο εφαρμόζεται στη κατάληξη της κύριας μεταφορικής ταινίας και κάνει διαλογή του υλικού σε σκύρο (πλευρικά) και 3Α

2.4.5 Κόστος Εγκαταστάσεων που θα γίνουν στο χώρο της εγκατάστασης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2

Περιγραφή Εργασίας	Κόστος
Διαμόρφωση του υπάρχοντος χώρου	45.000
Περίφραξη	20.000
Εγκατάσταση προπαρασκευασμένου ακινήτου	15.000

2.4.6 Υπολογισμός κόστους διαμόρφωσης του υπάρχοντος χώρου

Για την διαμόρφωση του χώρου που θα εγκατασταθεί του σπαστηροτριβείο χρειάζονται χωματουργικές εργασίες ώστε να καταστεί ο χώρος κατάλληλος για την αποδοτικότερη λειτουργία των εργασιών. Θα χρειαστεί να γίνουν εργασίες διαπλάτυνσης και εξομάλυνσης του εδάφους ώστε να υπάρχει χώρος να συγκεντρώνεται το παραγόμενο από τις μεταφορικές ταινίες υλικών και να μπορεί κυκλοφορεί ο φορτωτής από τον σπαστήρα ως τον χώρο αποθήκευσης των υλικών.

Επίσης πρέπει να προβλεφτεί η κυκλοφορία και η ανάγκη ελιγμών των φορτηγών που θα φέρνουν ή θα φορτώνουν υλικό από το λατομείο.

2.4.7 Περίφραξη

Η περίφραξη θα γίνει περιμετρικά του χώρου λειτουργίας με γαλβανιζέ σωλήνες διαμέτρου 2 cm, τοποθετημένους σε απόσταση 3,5 m μεταξύ τους και εγκιβωτισμένους σε σκυρόδεμα και συρματοπλεγμα. Στην περίφραξη πρέπει να δημιουργηθούν είσοδοι που να διευκολύνουν την διέλευση μεγάλων οχημάτων και να ασφαλίζουν επαρκώς ώστε να ο χώρος προσβάσεως μόνο από το εξουσιοδοτημένο προσωπικό.

2.4.8 Εγκατάσταση προκατασκευασμένου ακινήτου

Στον ευρύτερο χώρο λειτουργίας απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός στεγασμένου χώρου που να παρέχει τις λειτουργίες ενός γραφείου ώστε να μπορούν να καταγράφονται στατιστικά της απόδοσης του εργοταξίου να κρατάτε το ιστορικό της συντήρησης των μηχανημάτων, να αρχειοθετούνται τιμολόγια και ζυγολόγια και γενικά να παρέχετε γραμματική υποστήριξη. Επίσης να υπάρχει κουτί πρώτων βοηθειών και να μπορεί να φιλοξενήσει κάποιες συναντήσεις επαγγελματικού χαρακτήρα.

2.4.9 Προσδιορισμός της συνολικής επένδυσης

Από την κοστολόγηση του βασικού μηχανολογικού εξοπλισμού προκύπτει το κόστος προμήθειάς τους είναι 357.250,00 €. Το κόστος των εργασιών στον χώρο εγκατάστασης που θα λειτουργεί η επιχείρηση είναι 80.000,00 €. Συνολικά η επένδυση ανέρχεται στο ποσό των 437.250,00 €.

2.4.10 Αποδοτικότητα της επένδυσης

Μετά τον προσδιορισμό της συνολικής επένδυσης θα πρέπει να προσδιοριστεί μια ελάχιστη τιμή πώλησης των υλικών ώστε η επένδυση να είναι βιώσιμη. Η ελάχιστη τιμή αυτή θα καθοριστεί μέσω του Άμεσου και Έμμεσου κόστους παραγωγής ανά τόνο υλικού. Φυσικά θα πρέπει να εξεταστεί αν η ελάχιστη τιμή που καθορίστηκε είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τιμή του προϊόντος στην αγορά.

2.4.11 Προσδιορισμός Άμεσου Κόστους Παραγωγής

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3

Παράμετρος	Περιγραφή	Κόστος	Σύνολο παραμέτρου/ημέρα	Κόστος ανά ώρα
Λειτουργικά				
Εργατικά	2 χειριστές 1 εργάτης	150€ /ημέρα 100 €/ημέρα	400€/ημέρα	50€ /ώρα
Καύσιμα	Τσάπα, σπαστήρας, φορτωτής	960€/ημέρα	960€/ημέρα	120€/ώρα
Σύνολο			1.360€/ημέρα	170€/ώρα

Το συνολικό άμεσο κόστος παραγωγής ανέρχεται σε 170€/ώρα.

2.4.12 Προσδιορισμός Έμμεσου Κόστους Παραγωγής

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4

Παράμετρος	Περιγραφή	Κόστος	Σύνολο παραμέτρου/ημέρα	Κόστος/ώρα
Επίβλεψη	Επιβλέπων Μηχανικός	1.400€/μήνα	58€/ημέρα	7,25€

Επιβαρ. Εργασίας*				57,25€
Συντήρηση**				4,65€

*Οι επιβάρυνση εργασίας προσδιορίζεται με το άθροισμα των εργατικών και της επίβλεψης

**Η συντήρηση είναι το 3% της συνολικής επένδυσης το χρόνο.

Τελικά προκύπτει ότι το συνολικό κόστος παραγωγής είναι το σύνολο του κόστους των αμοιβών του προσωπικού των καυσίμων και της συντήρησης και ανέρχεται σε 181,90€ την ώρα.

Με δεδομένο ότι κατόπιν παρατήρησης η παραγωγή του σπαστήρα είναι 90m³ προϊόντα να μετατρέπονται σε σκύρο ή 3A σε διάστημα μία ώρας και δεδομένου ότι η αναλογία εισαγωγικού προϊόντος με εξαγωγή είναι 3:2 καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι 1m³ σκύρου ή 3A κοστίζει 3,03 ευρώ.

Αντίθετα, η τιμή του σκύρου στην αγορά βρίσκεται περίπου στα 11,00€/m³. Συνεπώς, παρατηρούμε ότι το κόστος του υλικού μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας ανακύκλωσης, επιφέρει μείωση του κόστους προμήθειας σκύρου κατά 8€/m³, δηλαδή μείωση της τάξης 72%.

2.5 Στάδια Ανακύκλωσης με Σπαστήρα

Σε αυτό το σημείο, παρατίθενται φωτογραφίες, μέσα από τις οποίες φαίνονται όλα τα στάδια της ανακύκλωσης αδρανών υλικών, από την εκσκαφή μέχρι και την λήψη δειγμάτων για εργαστηριακό έλεγχο, σε εργοτάξιο που έχουν χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός και υλικά που ήταν αντικείμενο της πτυχιακής μας.

2.5.1 Στάδιο Πρώτο: Εκσκαφή



Εύρεση υλικού από ανέγερση κατοικιών



Υλικό εκσκαφής 1



Υλικό Εκσκαφής 2



Εκσκαφή Υλικού με Σφυρί



Εκσκαφή Υλικού με Τσάπα και Σφυρί



Φόρτωση Προϊόντων Εκσκαφής



Γενική Άποψη της Εκσκαφής

2.5.2 Στάδιο Δεύτερο: Λατομείο



Στήσιμο Λατομείου



Άδειασμα Υλικού στο Λατομείο 1



Άδειασμα Υλικού στο Λατομείο 2



Γενική Άποψη Αδειάσματος Υλικού



Φόρτωση Σπαστήρα



Τροφοδότηση Σπαστήρα με Τσάπα



Περιστρεφόμενη Τσάπα



Πλευρική Άποψη Σπαστήρα



Χειριστήριο Σπαστήρα



Πλευρικό Κόσκινο Σπαστήρα 1



Πλευρικό Κόσκινο Σπαστήρα 2



Λειτουργία Σπαστήρα για τρία Υλικά



Σπαστήρας σε Λειτουργία 3Α



Σπαστήρας και Φορτωτής



Φορτωτής



Κόσκινο

2.5.3 Αντιμετώπιση Προβλημάτων



Πρόβλημα στο ρότορα 1 (overload)



Πρόβλημα στο ρότορα 2 (overload)



Πρόβλημα στο Θώρακα του Σπαστήρα 1



Πρόβλημα στο Θώρακα του Σπαστήρα 2



Πρόβλημα στο Χώρο Θραύσης 1



Πρόβλημα στο Χώρο Θραύσης 2

2.5.4 Τελευταίο Στάδιο: Δειγματοληψία και Έλεγχος



Συλλογή Υλικού για Τετραμερισμό



Το Δείγμα Καθ'Οδόν για Έλεγχο

2.6 Αποτέλεσμα ανακύκλωσης και προδιαγραφές (εργαστηριακό)



ΔΟΜΟΕΡΕΥΝΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ & ΕΡΕΥΝΕΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ - ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ - ΑΔΡΑΝΩΝ

ΘΗΣΕΩΣ 61 & ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΤΡΙΑΣ 82 - 84 - 176 71 ΚΑΛΛΙΘΕΑ - ΤΗΛ. 210 - 95 82 145 - FAX: 210 - 95 89 003

ΘΕΜΑ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΩΝ: ΑΥΤΟΥΣΙΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΦΙΔΝΕΣ
ΝΟΜΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

1. ΑΠΟΛΥΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (ASTM D854, E105-86/4)

$$G_s = 2,64 \text{ t/m}^3$$

2. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΚΑΤΑ MOD. PROCTOR (τροποποιημένη μέθοδος-ΜΕΘΟΔΟΣ Δ-ASTM D1557, E105-86/11)

Μέγιστη εργαστηριακή πυκνότητα (διορθωμένη τιμή)..... $\gamma_{d_{max}} = 2,185 \text{ t/m}^3$

Βέλτιστη υγρασία..... $W_{opt} = 6,8\%$

Η καμπύλη υγρασίας-πυκνότητας, φαίνεται στο διάγραμμα 1.

3. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ (E105-86/7)

(βλέπε συνημμένο διάγραμμα 2)

αμερικάνικα κόσκινα	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200
διερχόμενο %	100	96,8	90,3	84,4	60,5	44,1	28,8	14,7	4,4

4. ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ (E105-86/6)

Όριο Υδαρότητας	L.L.
Όριο Πλαστικότητας	P.L.
Δείκτης Πλαστικότητας	P.I.
	ΜΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟ

5. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΥΓΡΗΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ (AASHTO T194)

Ποσοστό οργανικών:	0,04%
--------------------	-------

6. ΔΟΚΙΜΗ LOS ANGELES κατά AASHTO T-96, διαβάθμιση Α (500 στροφές)

Αριθμός σφαιρών:	12
Βάρος φορτίου σφαιρών:	5000 gr
Αρχικό βάρος δείγματος:	5000 gr
Βάρος συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 12:	3775 gr
Απώλεια σε τριβή και κρούση:	24,5%



ΕΚΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

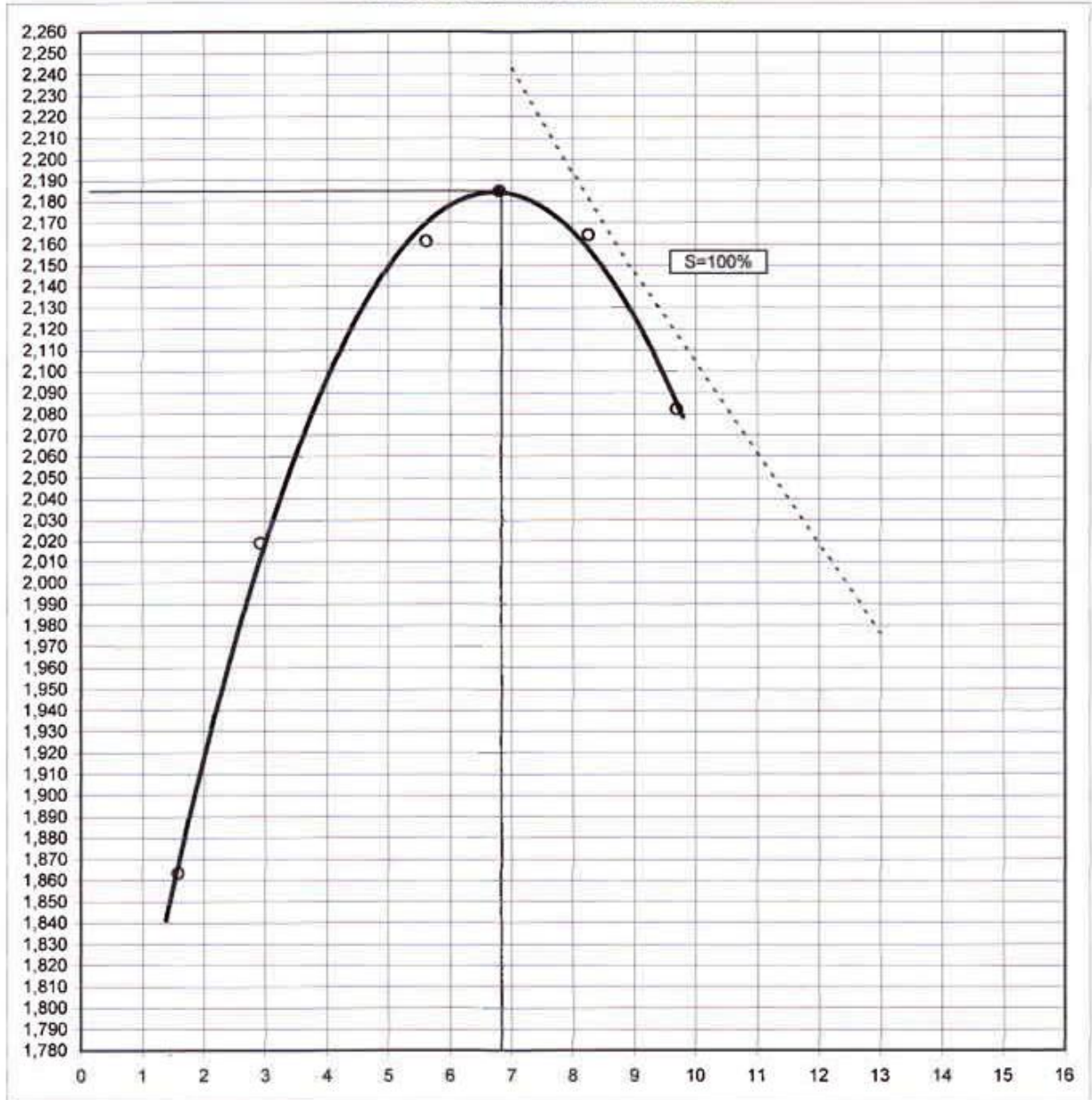
ΘΕΜΑ: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ:

1. ΔΟΚΙΜΗ LOS ANGELES κατά ASTM C-131, διαβάθμιση Β

Αριθμός σφαιρών:	11
Βάρος φορτίου σφαιρών:	4584 gr
Αρχικό βάρος δείγματος:	5000 gr
Βάρος συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 12:	3640 gr
Απώλεια σε τριβή και κρούση:	27,2 %

ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ COMPACTION TEST



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ RESULTS

1	Α/Α ΔΟΚΙΜΗΣ	No of test				
2	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	Symbolism				
3	ΥΓΡΑΣΙΑ	Moisture	w_{opt} (%)	6,8		
4	ΞΗΡΗ ΦΑΙΝ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	Dry density	ρ_d (t/m ³)	2,185		
5	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	Void ratio	e			
6	ΠΟΡΩΔΕΣ	Porosity	n			
7	ΚΟΡΕΣΜΟΣ	Saturation	S (%)			
8	ΣΚΟΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	Purpose of the test				
9	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	Remarks				
ΔΟΜΟΕΡΕΥΝΑ - DOMOEREVNA						
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ - SOILS LABORATORIES						
ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΤΡΙΑΣ 82 - 84, 17671 - ΚΑΛΛΙΘΕΑ						
EVANGELISTRAS 82 - 84, 17671 - KALLITHEA						
ΤΗΛ. 210 9582 145, FAX: 210 9589 003						
				ΕΡΓ.ΑΡ. LAB. No.		
				ΣΧ./FIG.		1

2. ΥΓΕΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ κατά ASTM C-88

Διαδικασία 5 κύκλων με εμβάπτιση σε κεκορεσμένο διάλυμα θειικού μαγνησίου.
 Χρησιμοποιηθέντα κόσκινα 3/4", 3/8" και #4.

ΚΟΣΚΙΝΟ	ΛΗΦΘΕΝ ΒΑΡΟΣ (gr.)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΑΡΟΥΣ (%)	ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ (%)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ (%)
3/4"	1625	64,15	5,66	3,63
3/8"	732	28,90	1,91	0,55
#4	176	6,95	1,14	0,08

Ανηγμένη απώλεια βάρους:

4,26%

3. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΑΜΜΟΥ (ASTM D2419)

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΑΜΜΟΥ (%)
66

3. Χρήσεις Ανακυκλωμένων Υλικών

Η ανακύκλωση είναι μία απόπειρα να μιμηθεί ο άνθρωπος τους κύκλους της φύσης, οι οποίοι γενικά αποτελούν θετικά παραδείγματα αποτελεσματικής λειτουργίας και σταθερότητας. Πραγματικά οι φυσικοί κύκλοι δε χρειάζονται τροφοδότηση με πρώτες ύλες και δεν δημιουργούν απόβλητα. Είναι λοιπόν υποδείγματα τέλει ανακύκλωσης.

- Ανακυκλωμένα πρωτογενώς είναι τα προϊόντα που ανακτώνται από τα υλικά «απορρίμματα»-κατεδάφισης.
- Ανακυκλωμένα δευτερογενώς είναι τα υλικά που προκύπτουν ως παραπροϊόντα άλλων διεργασιών (εξορυκτική βιομηχανία, σκωρίες, πριονίδι)

Συνήθως μετά από την κατασκευή του έργου και στο τελικό στάδιο του κύκλου ζωής, προκύπτει ένα μείζων ερώτημα: κατεδάφιση και υλικά «απορρίμματα» ή κατεδάφιση και επαναχρησιμοποίηση; Πολλές φορές προκύπτει ένα υλικό να απαιτεί μεγαλύτερο κόστος και ενέργεια να το ανακυκλώσουμε ή να το επαναχρησιμοποιήσουμε παρά να το παράγουμε εξ αρχής. Εδώ προκύπτει η ηθική πλευρά της ανακύκλωσης η οποία οφείλει να επιβάλλεται.

Γενικά ισχύει η αρχή ότι τα υλικά που έχουν μικρή διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής ανακυκλώνονται εύκολα. Δηλαδή σε υλικά που έχει επέμβει σημαντικά ο ανθρώπινος παράγοντας με πολύπλοκες διαδικασίες (υψηλές θερμοκρασίες και σύνθετες χημικές αντιδράσεις) είναι δύσκολο όταν υποστούν γήρανση να

ανακυκλωθούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της ιδιότητας αυτής αποτελούν τα πλαστικά. Φυσικά, υλικά που βιοδιασπώνται είναι τα καλύτερα και γηράσκουν ομαλά, ακολουθώντας τη ροή και τους χρόνους της φύσης.

Σήμερα πολλές φορές η κατασκευή γίνεται αποδέκτης υλικών «απορριμμάτων» και τα υλικά που εντάσσονται μέσα σε αυτή έχουν προκύψει από κάποια άλλη παραγωγική διαδικασία. Μέχρι σήμερα έχουν αξιοποιηθεί σημαντικά τα πριονίδια του ξύλου για την παραγωγή ινοσανίδων και μοριοσανίδων ενώ έχουν αξιοποιηθεί και άλλα περισσότερο ευφάνταστα υλικά όπως τα ππίλα (πούπουλα) που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή αερικού σκυροδέματος.

Επίσης γίνονται προσπάθειες να απορροφηθούν και άλλα υλικά στο χτίριο έτσι ώστε το κτίριο να αποτελέσει επί της ουσίας μία αποθήκη «άχρηστων» υλικών και να μην απαιτείται εξόρυξη ή παραγωγή νέων υλικών. Στις ΗΠΑ εφαρμόζονται ήδη δομικά στοιχεία από άχυρα για την κατασκευή ακόμα και φερόντων στοιχείων.

Στην Ελλάδα γίνεται χρήση της ιπτάμενης τέφρας η οποία προκύπτει ως απόβλητο από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο λιγνίτη. Η ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιείται ως αδρανές για το σκυρόδεμα και έχει αρχίσει να έχει ευρεία εφαρμογή. Η τοξικότητά της περιορίζει τη χρήση της σε κατασκευές που δεν είναι σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο (δεν χρησιμοποιείται σαν αδρανές σκυροδέματος στην κατασκευή κτίριων). Στην Ελλάδα το έτος 1998 κατασκευάστηκε το μεγαλύτερο φράγμα στον κόσμο από RCC (σκυρόδεμα με αδρανές ιπτάμενη τέφρα) στη θέση

Πλατανόβρυση στο Νέστο. Παράλληλα υπάρχουν προτάσεις για την εφαρμογή του υλικού αυτού ως αδρανές στην οδοποιία.

Η καταλληλότητα των πυριτικών ιπτάμενων τεφρών (με χαμηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο) για τη χρήση τους στο σκυρόδεμα προσδιορίζεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 450-1 (Ιπτάμενη τέφρα για σκυρόδεμα – Μέρος 1: Ορισμός, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης).

Για τις ασβεστούχες τέφρες, που ανήκουν και οι Ελληνικές, δεν υπάρχει αντίστοιχο Ευρωπαϊκό Πρότυπο και η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους διασφαλίζεται με αυτή την Εθνική Τεχνική Προδιαγραφή που θα προσαρμόζεται στο ΕΛΟΤ EN 206-1:2000.

Οι τύποι τέφρας που προδιαγράφονται σε αυτή την Εθνική Τεχνική Προδιαγραφή θα χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές αόπλου σκυροδέματος, καθώς επίσης σε κονιάματα και ενέματα.

Ενδεικτικά αναφέρονται περιπτώσεις χρήσης της Ελληνικής Ιπτάμενης Τέφρας, εφόσον πληρούν την Εθνική Τεχνική Προδιαγραφή:

- Σκυροδέματα μαζικών κατασκευών π.χ. φράγματα, τεχνητοί ογκόλιθοι λιμενικών έργων, τοίχοι βαρύτητας.
- Σκυροδέματα οδοστρωμάτων ή δαπέδων.
- Στοιχεία σκυροδέματος όπως New Jersey, τριγωνικές τάφροι ή άλλα σχετικά στοιχεία που απαιτούνται στην οδοποιία.

- Προκατασκευασμένα προϊόντα σκυροδέματος όπως κυβόλιθοι, πλάκες επίστρωσης, τσιμεντόλιθοι, άοπλοι σωλήνες, στύλοι περίφραξης, γλάστρες καθώς και άλλα παρεμφερή προϊόντα.
- Εκτοξευόμενα σκυροδέματα για την στήριξη πρανών.
- Στηρίξεις αναχωμάτων με διάφορες τεχνικές.
- Διαφραγματικοί τοίχοι ή κατασκευές πασσάλων με χρήση ενεμάτων για βελτίωση ιδιοτήτων εδάφους.
- Σταθεροποίηση εδαφών και βάσεων, υποβάσεων οδοστρωσίας.

Όσον αφορά στις υπάρχουσες κατασκευές τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι:

- Δομικά στοιχεία από λίθους χωρίς κονίαμα (ξερολιθιά)
- Ορισμένα μονωτικά (εφ' όσον δεν έχουν υποστεί γήρανση και είναι σε καλή κατάσταση)
 - Ξυλεία φέροντος οργανισμού κ.λ.π.
 - Προϊόντα γύψου (γυψοσανίδες κ.λ.π.)
 - Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν δομικά στοιχεία όπως πόρτες παράθυρα αλλά και είδη υγιεινής και έπιπλα.

Τούβλα, τσιμέντο και σκυρόδεμα είναι βέβαιο ότι δεν ανακυκλώνονται εύκολα ούτε μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε νέες κατασκευές. Είναι δυνατή όμως η επεξεργασία τους και η επαναχρησιμοποίησή τους σαν υλικά διαμόρφωσης οριζόντιων επιφανειών και υλικών οδοποιίας. Η επαναχρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να μειώσει κατά 95% την ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών η

οποία διαφορετικά θα χανόταν ως απόβλητο. Μερικά υλικά όμως, όπως τα τούβλα, είναι δύσχερες να επαναχρησιμοποιηθούν.

3.1 Κύκλος Ζωής (Life Cycle) Ανακυκλωμένων Υλικών

Ο κύκλος ζωής ενός οικοδομικού υλικού περιέχει τα εξής στάδια:

- Συλλογή-εξόρυξη
- Βιομηχανική παραγωγή-επεξεργασία
- Κατασκευή
- Χρήση της κατασκευής
- Κατεδάφιση
- Επανάχρηση – ανακύκλωση - βιοδιάσπαση

Συλλογή – Εξόρυξη

Περιλαμβάνει την εξόρυξη των πρώτων υλών από τη γη, όπως την εξόρυξη πετρωμάτων και μεταλλευμάτων. Σε αυτό το στάδιο συμπεριλαμβάνεται η μεταφορά των πρώτων υλών από το σημείο εξόρυξης μέχρι το σημείο της κατεργασίας τους.

Βιομηχανική παραγωγή – Επεξεργασία

Το στάδιο της βιομηχανικής παραγωγής ή/και επεξεργασίας των υλικών περιλαμβάνει τη μετατροπή των πρώτων υλών που συλλέχθηκαν/εξορύχθησαν σε μια μορφή, η οποία να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου τελικού (καταναλωτικού ή κεφαλαιουχικού) προϊόντος. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την

επεξεργασία του κατασκευασμένου υλικού για την δημιουργία ενός προϊόντος έτοιμου να αποτελέσει συσκευασία μιας ουσίας ή να συσκευαστεί το ίδιο.

Κατασκευή

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει όλες τις κατασκευαστικές διεργασίες που απαιτούνται για την δημιουργία του τελικού προϊόντος.

Χρήση της Κατασκευής

Αυτό είναι το στάδιο με το οποίο οι καταναλωτές είναι περισσότερο εξοικειωμένοι. Σ' αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται οι απαιτήσεις σε ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα, που συνδέονται με την αποθήκευση, τη χρήση και τη συντήρηση του προϊόντος.

Κατεδάφιση

Στο στάδιο αυτό, το προϊόν έχει ολοκληρώσει το σκοπό για τον οποίον δημιουργήθηκε και καταργείται.

Επανάχρηση – Ανακύκλωση – Βιοδιάσπαση

Σ' αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται οι απαιτήσεις σε ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα που συνδέονται με τη διάθεση του προϊόντος, καθώς και οι μέθοδοι διαχείρισης των αποβλήτων μετά την απομάκρυνσή τους από τον καταναλωτή, όπως η ανακύκλωση, η υγειονομική ταφή, και η καύση.

Για τα περισσότερα οικοδομικά υλικά το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, βρίσκεται μεταξύ των δύο πρώτων σταδίων αλλά καθώς μεγαλώνει το πρόβλημα των αποβλήτων, στον περιορισμένο σε διαστάσεις πλανήτη μας, γνωρίζουμε ότι αυξάνεται σημαντικά το πρόβλημα που προκύπτει λόγω της κατεδάφισης και αποβολής τους.

Σε όλη τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος, από την εξόρυξή του, την διαδικασία παραγωγής του, μέχρι και τη χρήση του, παράγονται απόβλητα. Με την ολοκλήρωση της χρήσιμης διάρκειας ζωής του, το ίδιο το κτίριο, θεωρείται άχρηστο και κατατάσσεται στην κατηγορία των αποβλήτων. Στη Δυτική Ευρώπη παράγονται ετησίως πέντε δισεκατομμύρια τόνοι στερεών αποβλήτων από τα οποία 5% είναι κατασκευαστικά απόβλητα.

Είναι προφανές ότι η περιβαλλοντική επίπτωση των υλικών με μικρό χρόνο ζωής είναι πολύ μεγαλύτερη από υλικά που έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Το πρόβλημα που προκύπτει όμως, σε όλες αυτές τις μελέτες είναι η πιστοποίηση της αντοχής των υλικών στο μεταλλαγμένο τόπο και χρόνο στον οποίο ζούμε. Για παράδειγμα το μάρμαρο θεωρείτο, μέχρι σήμερα, πολύ ανθεκτικό υλικό. Σήμερα όμως λόγω της ατμοσφαιρικής μόλυνσης και της όξινης βροχής διαπιστώνουμε ότι γυψοποιείται και να αποσθρώνεται με ταχύτατους ρυθμούς. Αυτό σημαίνει ότι τα υλικά δεν έχουν πιστοποιηθεί στις νέες συνθήκες του περιβάλλοντος πράγμα που πλέον δυσκολεύει ιδιαίτερα τον προσδιορισμό του χρόνου ζωής τους.

Στην προσπάθεια να δομηθεί ένα οικολογικό αειφόρο μοντέλο διαχείρισης, η κάθε προσπάθεια μείωσης των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων που προκαλούν τα

κτίριο, θα ήταν απαραίτητη να εκτιμηθεί ως συνάρτηση ολόκληρου του κύκλου ζωής του έργου και των υλικών του.

Κύριος άξονας της εφαρμογής αυτού του κριτηρίου -κύκλου ζωής- είναι ότι: το κτίριο, ως λίκνο της μετενσάρκωσης των υλικών, πλεονεκτεί σε σχέση με τις περισσότερες καθαρές βελτιώσεις και διεξόδους όπως η επανάχρηση και η ανακύκλωση.

Αυτό γιατί όπως είναι προφανές δεν απαιτείται η εύρεση χώρου εναπόθεσης των υλικών κατεδάφισης ή αποξήλωσης ενός δρόμου, καθώς επίσης παρέλκει το ενεργειακό κόστος για την κατεδάφιση και επανακατασκευή ενός κτιρίου ή την αποξήλωση και επαναδιάστρωση της υπόβασης ενός δρόμου, αντίστοιχων διαστάσεων.

ΕΙΚΟΝΑ 3.1: Κύκλος Ζωής ενός Δομικού Υλικού



3.2 Οφέλη Ανακύκλωσης

Για να έχουμε τη δυνατότητα να αναπτύξουμε πλήρως τα οφέλη που παρέχει η ανακύκλωση των δομικών υλικών, είναι πρώτα απαραίτητο, να επεξηγήσουμε πλήρως και να γίνει κατανοητή η περιβαλλοντική διάσταση της κατασκευαστικής διαδικασίας.

3.2.1 Περιβαλλοντική Διάσταση Κατασκευής

Ο άνθρωπος ανακάλυψε τα τελευταία μόλις χρόνια ότι ο ίδιος αλλά και τα έργα του αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο με τη φύση, με αποτέλεσμα να παρουσιασθεί μια έκρηξη ενδιαφέροντος για το περιβάλλον.

Ο όρος περιβάλλον στην περίπτωση των τεχνικών έργων περιλαμβάνει το σύνολο των παραγόντων οι οποίοι επηρεάζονται από την κατασκευή. Η συνεχής αύξηση της δόμησης και του οδικού δικτύου με τον συνακόλουθο πολλαπλασιασμό των συνεπειών στο περιβάλλον (αύξηση θορύβου, ρύπανση ατμόσφαιρας από τα καυσαέρια, χρήση χημικών υλικών για τον αποχιονισμό, κατάληψη σημαντικών επιφανειών γης, καταστροφή πανίδας), οδήγησε στην εισαγωγή της περιβαλλοντικής παραμέτρου ως ισότιμου παράγοντα με τον τεχνικό και τον οικονομικό στη μελέτη των έργων.

Σήμερα βέλτιστη κατασκευή θεωρείται εκείνη η οποία παρουσιάζει το μικρότερο συνολικό κόστος, εντάσσοντας σε αυτό και τις δαπάνες για αποκατάσταση του περιβάλλοντος ή μείωση των επιπτώσεων.

3.2.2. Η έννοια του περιβάλλοντος

Η έννοια του περιβάλλοντος είναι μια έννοια που το περιεχόμενό της ποικίλλει. Για τα τεχνικά έργα η περιβαλλοντική μέριμνα καλύπτει την ατμόσφαιρα, τον θόρυβο, τη

χλωρίδα και την πανίδα, το φυσικό τοπίο, τα οικοσυστήματα, τις χρήσεις γης στη γειτονία της οδού, και άλλα.

Καθένας από τους προηγούμενους παράγοντες αναλύεται σε επί μέρους στοιχεία, όπως αυτά καταγράφονται στην Εικόνα 3.2.

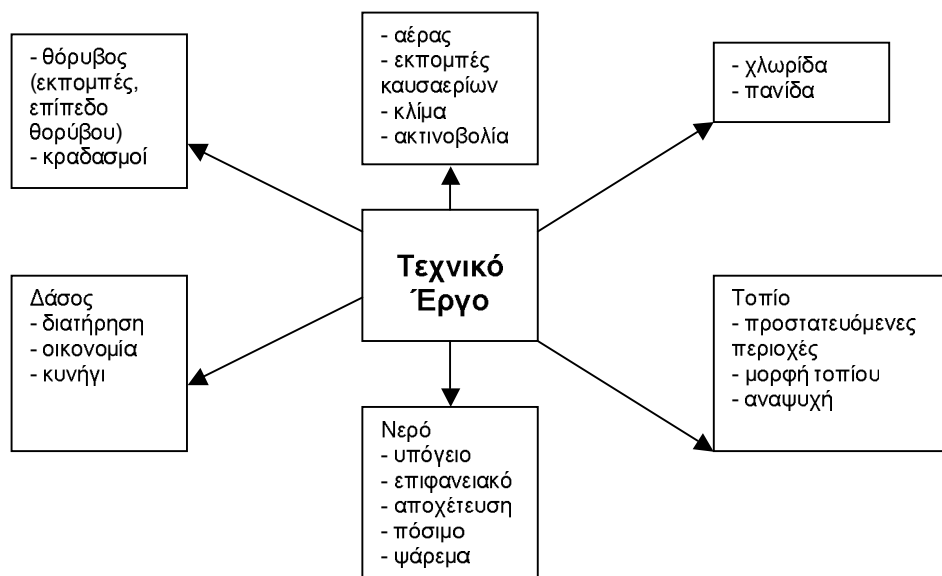
Μια πιο ενδελεχής θεώρηση περιλαμβάνει μέσα στην έννοια περιβάλλον και άλλα στοιχεία τα οποία θα επηρεασθούν από την κατασκευή.

Τέτοια στοιχεία είναι:

- Η πολιτική και οικονομική ζωή
- Η πολιτιστική κληρονομιά (αρχαιολογικοί χώροι, διατηρητέα κτίρια)
- Η οδική ασφάλεια
- Η εύρυθμη λειτουργία των κατασκευών

Είναι προφανές ότι η έννοια περιβάλλον καλύπτει όχι μόνο τον «οικολογικό» περίγυρο, αλλά και την κοινωνική και ανθρώπινη παράμετρο.

ΕΙΚΟΝΑ 3.2: Παράγοντες Περιβαλλοντικής Μέριμνας



3.2.2.1 Περιβαλλοντικές εκτιμήσεις

Η λήψη πληροφοριών για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, ώστε να μελετηθούν τα αναγκαία μέτρα προστασίας, καλύπτεται από σημαντικό αριθμό μεθόδων. Το είδος του μέσου για τη συγκέντρωση πληροφοριών μπορεί να είναι:

- Δορυφορικές λήψεις
- Χάρτες
- Αεροφωτογραφίες
- Ηλεκτρονικοί υπολογιστές

3.2.3 Οικονομική εκτίμηση

Η κατασκευή ενός έργου δεν πρέπει από οικονομική άποψη να θεωρείται εκ προοιμίου αρνητική, καθόσον είναι μεν πηγή περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, επιτρέπει και την πρωτογενή χρήση, όπως την ταχύτερη μεταφορά ατόμων και αγαθών σε περίπτωση οδοποιίας, αλλά και την παροχή κοινωνικών υπηρεσιών, όπως πυρόσβεση, παροχή ιατρικής βοήθειας, αναψυχή, και άλλα.

Η οικονομική θεώρηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι δυσχερής διότι:

α. Τα δικαιώματα επί του περιβάλλοντος δεν είναι σαφώς καθορισμένα (σε ποιον ανήκουν) και συνεπώς η «κατανάλωση» περιβάλλοντος σε ποιον θα πρέπει να «χρεωθεί» ή να «πιστωθεί».

β. Υφίσταται αβεβαιότητα για το μέγεθος των μελλοντικών βλαβών, και συνεπώς και δυσκολία να προσδιορισθεί ο έλεγχος κινδύνου.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις δεν σημαίνουν ότι δεν πρέπει να αναζητηθεί η οικονομική παράμετρος του περιβάλλοντος, αλλά να τονιστεί η δυσκολία θεώρησης και κυρίως ποσοτικής έκφρασης του περιβάλλοντος ως «οικονομικού αγαθού».

Σε σχέση με τη θεώρηση του περιβάλλοντος ως οικονομικού αγαθού έχουν αναπτυχθεί δυο θεωρίες: η «μονεταριστική» και η «μη μονεταριστική». Σύμφωνα με την πρώτη, το περιβάλλον μπορεί να μετρηθεί και να αξιολογηθεί με χρηματικά μέτρα. Σύμφωνα με τη δεύτερη, η οποία σήμερα αποτελεί τη μειοψηφία, η αποτίμηση του περιβάλλοντος εστιάζεται στη διαφορά παραγόμενων οικονομικών αγαθών λόγω της ύπαρξης ή μη ενός έργου και στο μη «ανανεώσιμο» των περιβαλλοντικών πηγών.

Σε κάθε περίπτωση η έκφραση του περιβάλλοντος υπό μορφή τιμών ή προϋπολογισμού κόστους βοηθά στον έλεγχο για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

3.2.4 Τύποι περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διακρίνονται σε:

(i). Προσωρινές ή παραμένουσες

Οι προσωρινές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής, π.χ. θόρυβος μηχανημάτων κατασκευής, σκόνη, ενώ οι παραμένουσες έχουν σταθερή επιρροή, όπως είναι η αλλαγή φυσικού περιβάλλοντος, θόρυβος, ρύπανση ατμόσφαιρας.

(ii). Τυχαίες ή αναμενόμενες

Στις πρώτες περιλαμβάνονται επιπτώσεις όπως πυρκαγιά, μόλυνση περιβάλλοντος λόγω ατυχημάτων, ενώ στις δεύτερες π.χ. η κατάληψη αγροτικής γης με

συνέπεια τη μετανάστευση ή τη στροφή σε άλλες οικονομικές δραστηριότητες με μετακίνηση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα.

(iii). Αναστρέψιμες ή μη

Στις πρώτες είναι εκείνες οι επιπτώσεις που μπορούν να μηδενισθούν με τα κατάλληλα μέτρα ή τουλάχιστον να διατηρηθούν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Στις δεύτερες εκείνες οι οποίες δεν επιτρέπουν στο περιβάλλον να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Οι δεύτερες αυτές μπορεί να θεωρηθούν και ως παραμένουσες.

(iv). Ταχείας ή βραδείας εξέλιξης

Οι πρώτες παρουσιάζονται κατά την κατασκευή ή αμέσως μετά την περάτωση του έργου. Οι βραδείας εξέλιξης μπορεί να εμφανιστούν είτε κατά την κατασκευή ή και μετά από αυτήν, παρουσιάζουν όμως εξέλιξη της οποίας οι συνέπειες εμφανίζονται πολύ αργότερα, π.χ. επίδραση στην πανίδα και τη χλωρίδα.

3.2.4.1. Κοινωνικό περιβάλλον

Ένα έργο επηρεάζει άμεσα και έμμεσα τον κοινωνικό του περίγυρο. Οι μεταβολές στις χρήσεις της γης αλλά και στη γη η οποία καταλαμβάνεται, οι μεταβολές στις δυνατότητες προσέγγισης μιας περιοχής, η αλλαγή στην κοινωνική επαφή είναι στοιχεία τα οποία επηρεάζονται άμεσα.

Στις κοινωνικές επιπτώσεις θα πρέπει επίσης να συγκαταλεχθεί και το σύστημα απόφασης και ενημέρωσης του κοινωνικού συνόλου για τις μελλοντικές κατασκευές.

Οι επιπτώσεις στο κοινωνικό περιβάλλον καλύπτουν τόσο τις αστικές όσο και τις υπεραστικές οδούς με διαφορετικό βέβαια τρόπο και βαθμό.

I. Άμεσες επιπτώσεις

- Διαχωρισμός ονομάζεται η δυσχέρεια προσέγγισης σε τοπικές δραστηριότητες, καθώς και σε δραστηριότητες της καθημερινής ζωής.
- Επιρροή σε άλλες τοπικές κοινωνικές δραστηριότητες.

II. Οικονομικές επιπτώσεις

- Απώλεια περιουσίας. Σε αυτές περιλαμβάνονται περιπτώσεις όπως ολοκληρωτική απώλεια της κατοικίας, της γης ή και των συνθηκών ζωής.

• Επιπτώσεις στην εργασία. Οι επιπτώσεις στην εργασιακή κατάσταση αναφέρονται κυρίως στις υπεραστικές οδούς, όπου η κατάληψη χώρου, ο τεμαχισμός των αγροτικών εκμεταλλεύσεων, η δυσχέρεια στην προσέγγιση εξαναγκάζουν ένα τμήμα του πληττόμενου πληθυσμού να εγκαταλείψει την απασχόλησή του και να στραφεί σε άλλες παραγωγικές δραστηριότητες.

• Απαιτήσεις επιφανείας. Με τον όρο επιφάνεια κατασκευής εννοείται όχι μόνο ο χώρος αυτού του ίδιου του έργου αλλά και όλων των έργων τα οποία είναι αναγκαία για τη λειτουργική πληρότητα του, όπως θέσεις στάθμευσης, τρόποι προσέγγισης και άλλα.

• Επιπτώσεις σε κοινωνικές ομάδες ιδιαίτερα ασθενείς. Είναι άτομα τα οποία παρουσιάζουν μειωμένη προσαρμοστικότητα σε νέες συνθήκες, ή άτομα με μειωμένη ικανότητα αλλαγής επαγγελματικής ζωής (πτωχοί, ηλικιωμένοι, ακτήμονες, μικροεπαγγελματίες).

3.2.4.2 Φυσικό τοπίο – Αισθητική

Οι επιπτώσεις προέρχονται από τη γεωμετρική διαμόρφωση του έργου και συνεπάγονται είτε τραυματισμό του τοπίου είτε καταστροφή της υπάρχουσας χλωρίδας

είτε ακόμη και την επίδραση στο έδαφος και τα επιφανειακά ύδατα. Συναφής προς τις προηγούμενες επιπτώσεις είναι και η αισθητική προσαρμογή της κατασκευής, στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές φυσικού κάλλους.

Η προσαρμογή στο τοπίο δεν περιλαμβάνει μόνο αυτό καθ' αυτό το έργο, αλλά οφείλει να καλύπτει και τα υπόλοιπα έργα, όπως σε περίπτωση υδρευτικού έργου, οφείλει να προσαρμόζονται στο τοπίο και τυχόν αποχετευτικές τροποποιήσεις που είναι απαραίτητες.

3.2.4.3 Νερό και έδαφος

Η περιβαλλοντική επίδραση τεχνικών έργων στα ύδατα είναι πολλαπλή όπως:

- Ρύπανση των φυσικών αποδεκτών από το επιφανειακά απορρέον νερό ή μέσω του συστήματος αποχέτευσης.
- Ρύπανση από την παράσυρση στοιχείων τα οποία βρίσκονται στο έδαφος (εκπομπές οχημάτων) και μεταφορά τους στους υπόγειους ορίζοντες.

Ως προς το έδαφος, η επιβάρυνσή του προέρχεται από τις εκπομπές των οχημάτων (καυσαέρια), τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σώματος της κατασκευής.

3.2.4.4 Οικολογικό περιβάλλον (πανίδα-χλωρίδα)

Η επίδραση στο οικολογικό περιβάλλον, δηλαδή την πανίδα και τη χλωρίδα, διακρίνεται σε άμεση και έμμεση:

Οι άμεσες επιδράσεις ενός τεχνικού είναι:

1. Η κατάληψη φυσικού χώρου

- ο χώρος της κατασκευής
- ο χώρος αποθήκευσης υλικών
- η εγκατάσταση εργοταξίου
- οι οδοί πρόσβασης κατά την κατασκευή
- οι οδοί απόρριψης άχρηστων υλικών

2. Πρόσβαση. Εύκολη προσέγγιση σε παρθένες περιοχές οδηγεί σε ανατροπή της οικολογικής ισορροπίας, που μπορεί να προέλθει από δόμηση, αποψίλωση εκτάσεων για αγροτική καλλιέργεια.

3. Δυσχέραση. Αποκοπή περιβάλλοντος σε δύο τμήματα συνεπάγεται μείωση του πληθυσμού των ζώων λόγω απομόνωσης μεταξύ των, καθώς και παρεμπόδιση των μετακινήσεων σε θέσεις αναπαραγωγής ή εποχιακής παραμονής.

Στην έμμεση επίδραση περιλαμβάνεται, κατά γενική αποδοχή, η επίπτωση παραγόντων όπως είναι π.χ. η μεταβολή της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων.

3.2.4.5 Επιπτώσεις κατά την κατασκευή

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής αναφέρονται σε θέματα όπως:

- Θόρυβος από μηχανήματα που χρησιμοποιούνται
- Ρύπανση της ατμόσφαιρας κυρίως από τα συγκροτήματα παραγωγής υλικών, εφόσον δεν αποτελούν μόνιμες εγκαταστάσεις πέραν και μακράν του σώματος του έργου

- Εδαφική διάβρωση
- Καταστροφή υφιστάμενης βλάστησης.

Κύριο χαρακτηριστικό των επιπτώσεων αυτών είναι η προσωρινότητα.

3.2.4.6 Ρύπανση της ατμόσφαιρας

Η εκπομπή ρύπων οφείλεται σε ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η κυκλοφορία αυτοκινήτων είναι μια από τις κύριες πηγές, αλλά όχι και η κύρια.

Βασικές πηγές ρύπανσης είναι:

- Η κυκλοφορία οχημάτων, τρένων, πλοίων και αεροπλάνων
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η βιομηχανία
- Η καύση αστικών απορριμμάτων
- Η καύση υγρών ή στερεών καυσίμων για θέρμανση κατοικιών
- Διάφορες (πυρκαγιές δασών)

Είναι πάντως γενικά αποδεκτό ότι η κυκλοφορία οχημάτων έχει το σημαντικότερο μερίδιο στη μόλυνση της ατμόσφαιρας.

1. Κύριοι ρυπαντές

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Οι υδρογονάνθρακες (H/C)
- Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)
- Ο μόλυβδος (Pb)
- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Τα οξείδια του θείου (SO_x)

- Τα μικροσωματίδια όπως σκόνη, καπνός

Η εκπομπή των κύριων ρυπαντών στην ατμόσφαιρα, οι οποίοι ονομάζονται πρωτογενείς, συνέπεια ορισμένων χημικών αντιδράσεων, όπως υδρόλυση, οξειδωση και φυσικοχημικές διεργασίες, δημιουργούν μια νέα σειρά ρυπογόνων ουσιών, τους καλούμενους δευτερογενείς, ορισμένοι των οποίων είναι εξίσου –αν όχι και περισσότερο- επιβλαβείς, όπως είναι το όζον.

II. Ο θόρυβος

Τα οχήματα είναι μια από τις κυριότερες αιτίες ηχητικής ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ως θόρυβος θεωρείται ένας ανεπιθύμητος ήχος ο οποίος προκαλεί δυσάρεστο αίσθημα. Ένας ήχος χαρακτηρίζεται από τη συχνότητα (Hertz) και κατά κανόνα η μέτρησή του γίνεται με βάση την πίεση η οποία αναπτύσσεται κατά τη μετακίνηση των ηχητικών κυμάτων στον αέρα.

Για πρακτικούς λόγους η μέτρηση του θορύβου γίνεται σε ντεσιμπέλ. Υπέρβαση των 100dB προκαλεί αίσθημα πόνου και θόρυβος 150dB προκαλεί ακαριαία κώφωση.

3.2.4.7 Πολιτιστική κληρονομιά

Ο όρος πολιτιστική κληρονομιά, σύμφωνα με τον ορισμό των Ηνωμένων Εθνών, περιλαμβάνει τοποθεσίες ή αντικείμενα αρχαιολογικής, παλαιοντολογικής, ιστορικής, θρησκευτικής σημασίας και αξίας. Η κατασκευή ενός τεχνικού έργου επηρεάζει την πολιτιστική κληρονομιά άμεσα ή έμμεσα.

Άμεση επιρροή και επίπτωση είναι όταν η κατασκευή βρίσκεται σε συγκεκριμένη περιοχή με συνέπεια την καταστροφή πολιτιστικών στοιχείων.

1. Δονήσεις με κίνδυνο τη δημιουργία ρωγμών
2. Αστάθεια εδάφους

Έμμεση είναι η επίπτωση όταν αυτή συνεπάγεται καταστροφικές συνέπειες λόγω δευτερογενούς επίδρασης, π.χ. ρύπανση της ατμόσφαιρας στη γειτονία κτισμάτων (όψεις, γλυπτά, τοιχογραφίες), δυσχέραση στην προσπέλαση ή αξιοποίηση μνημείων.

3.2.5 Συμπεράσματα – Προτάσεις (Τι προσφέρει η Ανακύκλωση)

Με την ανακύκλωση των δομικών υλικών επέρχεται προστασία και εξοικονόμηση των αποθεμάτων σε αδρανή, σε άσφαλο και σε ενέργεια, προστασία του περιβάλλοντος και μείωση του κόστους κατασκευής.

3.2.5.1 Προστασία και εξοικονόμηση των αποθεμάτων σε αδρανή, άσφαλο και ενέργεια

Η προστασία των αποθεμάτων των πετρωμάτων κατάλληλων για τεχνικά έργα και ειδικότερα των πετρωμάτων για αρίστης ποιότητας σκληρά αδρανή, είναι πολύ σοβαρός παράγοντας ιδιαίτερα σε χώρες που δεν διαθέτουν πολλά φυσικά αποθέματα. Ακόμη πιο επιτακτική γίνεται η ανάγκη διατήρησης ή καλύτερα επαναχρησιμοποίησης των αδρανών σε χώρες που δεν διαθέτουν κατάλληλα φυσικά αποθέματα οπότε και το κόστος κτήσης τους, κυρίως λόγω του κόστους μεταφοράς είναι αρκετά υψηλό. Από την άλλη μεριά, δηλαδή σε χώρες όπου υπάρχει περίσσεια αδρανών, η συνεχής ζήτηση έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση για εκμετάλλευση νέων, περισσότερων φυσικών αποθεμάτων. Με την επαναχρησιμοποίηση των αδρανών από παλαιότερες κατασκευές μειώνεται η ζήτηση για νέα αδρανή και έτσι επιμηκύνεται η εκμετάλλευση των φυσικών

αποθεμάτων. Ταυτόχρονα επιβραδύνεται η απαίτηση δημιουργίας νέων λατομείων, πράγμα που συμβάλλει άμεσα στην προστασία του περιβάλλοντος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η δημιουργία νέων λατομείων δεν είναι σήμερα εύκολη υπόθεση λόγω των αυστηρών περιβαλλοντικών περιορισμών αλλά και της αύξησης του κόστους γης.

Με την ανακύκλωση των ασφαλτομιγμάτων μειώνεται επίσης και η κατανάλωση της ασφάλτου. Ένα νέο ασφαλτικό σκυρόδεμα απαιτεί συνήθως 5% έως 6,5% άσφαλο, ενώ ένα ανακυκλωμένο ασφαλτικό σκυρόδεμα απαιτεί προσθήκη νέας ασφάλτου συνήθως από 1% έως 3%. Από τα παραπάνω ποσοστά διαφαίνεται μια εξοικονόμηση σε άσφαλο της τάξεως, κατά μέσο όρο, του 3,5% κατά βάρος μίγματος, ήτοι περίπου 35 lit ανά τόνο ασφαλτομίγματος. Αν ληφθεί υπόψη ότι η κατανάλωση των ασφαλτομιγμάτων σε εθνικό επίπεδο ανέρχεται σε εκατομμύρια τόνους ανά έτος, είναι σαφής η σοβαρή εξοικονόμηση ασφάλτου που επέρχεται. Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι τα τελευταία χρόνια παράγονται ανά έτος περίπου 5.000.000 τόνοι ασφαλτικού σκυροδέματος. Εάν ένα μέρος αυτής της ποσότητας παραγόταν από ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα είναι πολύ πιθανό ότι η παραγωγή ασφάλτου από τα ελληνικά διυλιστήρια θα ήταν επαρκής και δεν θα ήταν αναγκαία η εισαγωγή καμίας επιπλέον ποσότητας ασφάλτου από το εξωτερικό. Συνεπώς η ανακύκλωση των ασφαλτομιγμάτων μπορεί να επηρεάσει και το εθνικό ισοζύγιο πληρωμών.

Η εξοικονόμηση ενέργειας από την ανακύκλωση των δομικών υλικών συσχετίζεται κυρίως με τη μείωση του κόστους μεταφοράς τόσο των αδρανών όσο και της ασφάλτου. Επιπρόσθετη μικρή περαιτέρω εξοικονόμηση μπορεί να επέλθει εάν επιλεγεί η ψυχρή ανακύκλωση έναντι της θερμής ανακύκλωσης.

3.2.5.2 Προστασία του περιβάλλοντος

Η ανακύκλωση των υλικών συμβάλλει άμεσα στη διατήρηση και προστασία του περιβάλλοντος διότι, πρώτον, όπως αναφέρθηκε επιβραδύνεται η ανάγκη δημιουργίας νέων λατομείων και δεύτερο, εκμηδενίζονται όλα τα προβλήματα που συσχετίζονται με την εναπόθεση των υλικών. Η εναπόθεση των απορριπτέων υλικών, εκτός του ότι προϋποθέτει την ύπαρξη επαρκούς και κατάλληλης έκτασης απόρριψης, αλλάζει και τη μορφή του τοπίου της περιοχής. Παράλληλα, η συγκέντρωση των υδρογονανθράκων της ασφάλτου πιθανόν να μολύνει τον υδροταμιευτήρα και τα ιχνοστοιχεία του εδάφους γύρω από την περιοχή αυτή.

3.2.5.3 Μείωση του κόστους κατασκευής

Με την ανακύκλωση τέλος μπορεί να μειωθεί το συνολικό κόστος αποκατάστασης ή ενίσχυσης ή ανακατασκευής των έργων. Η μείωση του κόστους των παραπάνω εργασιών προέρχεται κατά κύριο λόγο από τη μείωση του κόστους μεταφοράς των υλικών και σε μικρότερο βαθμό από τη μείωση του κόστους παραγωγής. Η επερχόμενη μείωση του κόστους παραγωγής οφείλεται στη χρησιμοποίηση μικρότερης θερμικής ενέργειας, που στην περίπτωση επιλογής της ανακύκλωσης εν ψυχρώ είναι ακόμη πιο ουσιαστική.

Το ποσοστό μείωσης του κόστους κατασκευής μεταβάλλεται από έργο σε έργο, δεδομένου ότι όλοι οι παράγοντες που εμπλέκονται δεν παραμένουν σταθεροί. Από τις πρώτες εφαρμογές ανακύκλωσης, οι οποίες έγιναν στις ΗΠΑ, αναφέρεται ότι η μείωση που επιτεύχθηκε στο κόστος του ασφαλτομίγματος έτοιμου προς διάστρωση, όταν αυτό είχε παραχθεί σε μόνιμη εγκατάσταση, κυμάνθηκε από 10% έως 39%, αναλόγως του

έργου. Ομοίως όταν η ανακύκλωση έγινε επιτόπου, η μείωση του συνολικού κόστους κατασκευής ήταν της τάξεως του 33%.

Αντίστοιχες συγκριτικές μελέτες στην Ευρώπη έδωσαν μικρότερα ποσοστά μείωσης, μικρότερα του 30%. Σε ορισμένες δε περιπτώσεις αναφέρεται ότι δεν υπήρξε ουσιαστική μείωση του κόστους παραγωγής του ασφαλτομίγματος έτοιμου προς διάστρωση, όταν αυτό είχε παραχθεί σε μόνιμη εγκατάσταση.

Παρόλο που με την ανακύκλωση μπορεί να υπάρξει μια μείωση του κόστους κατασκευής, το γεγονός αυτό και μόνο δεν είναι ο αποφασιστικός παράγοντας για την επιλογή της. Σε ορισμένες χώρες η μείωση της δαπανώμενης ενέργειας, ή η εξοικονόμηση αδρανών υλικών, ή η προστασία του περιβάλλοντος, ή η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πιθανόν να έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στη λήψη αποφάσεων, από αυτό της μείωσης του κόστους.

3.3 Προδιαγραφές του ΙΟΚ για τα ανακυκλωμένα υλικά

Σε αυτό το κεφάλαιο, επιχειρούμε μία σύνοψη των Π.Ε.Τ.Ε.Π. (Προσωρινών Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών) σχετικά με την καταλληλότητα των ασφαλτομιγμάτων προς ανακύκλωση, τη σύνθεση ανακυκλωμένου ασφαλτομιγματος και την ανακύκλωση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων, όπως αυτές ορίζονται από το ΙΟΚ (Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών). Στη συνέχεια, ακολουθεί και το ολοκληρωμένο κείμενο εργασίας του ΙΟΚ με τις τεχνικές αυτές προδιαγραφές.

3.3.1 Καταλληλότητα ασφαλτομιγμάτων προς ανακύκλωση

Τα ανακυκλωμένα ασφαλτομίγματα, για να είναι αποδεκτά, θα πρέπει να έχουν παρόμοια συμπεριφορά με τα συμβατικά ασφαλτομίγματα, όπως επίσης, θα πρέπει να τεκμηριώνεται και το κοστολογικό όφελος που προέρχεται από αυτά. Για την ικανοποίηση των παραπάνω αιτημάτων θα πρέπει το ανακτώμενο ασφαλτόμιγμα να είναι σε τέτοια κατάσταση ώστε η προσθήκη των νέων παρθενίων υλικών να μπορεί να δώσει μίγμα με καλές μηχανικές ιδιότητες. Όσον αφορά το κοστολογικό όφελος, αυτό θα τεκμηριώνεται ευκολότερα όσο μεγαλύτερη είναι η συμμετοχή του ανακτώμενου παλαιού ασφαλτομίγματος στο ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα.

Οι έλεγχοι που γίνονται στο προς ανακύκλωση ασφαλτόμιγμα είναι απλοί και συνίστανται: α) στον έλεγχο της δεισδυτικότητας και του ιξώδους της ανακτηθείσης ασφάλτου, β) στον έλεγχο της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών και γ) στον καθορισμό της περιεκτικότητας ασφάλτου στο μίγμα.

Ο έλεγχος της δεισδυτικότητας καθορίζει τον βαθμό οξειδωσης της ασφάλτου, γεγονός που καθορίζει εάν το παλαιό ασφαλτόμιγμα μπορεί να ανακυκλωθεί εν θερμώ για την κατασκευή επιφανειακής στρώσης και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμη και για την κατασκευή ασφαλτικών βάσεων. Είναι σαφές ότι η θέρμανση του μίγματος, κυρίως κατά την αποκοπή, σκληραίνει περαιτέρω την άσφαλο, με αποτέλεσμα, εάν χρησιμοποιηθεί παλαιό ασφαλτόμιγμα με πολύ οξειδωμένη άσφαλο, το ανακυκλωμένο ασφαλτόμιγμα να είναι εύθρυπτο. Ο έλεγχος του ιξώδους παρόλο που και αυτός μπορεί να δώσει πληροφορίες για τον βαθμό οξειδωσης της ασφάλτου, χρησιμοποιείται από ορισμένες μεθοδολογίες κυρίως για τον καθορισμό του τύπου της ασφάλτου που πρόκειται να προστεθεί.

Η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών του ανακτηθέντος μίγματος όπως και ο καθορισμός της περιεκτικότητας της ασφάλτου στο μίγμα εκτελείται για να καθοριστούν οι ποσότητες και οι αναλογίες των νέων αδρανών και η ποσότητα της νέας ασφάλτου, που πρόκειται να προστεθούν κατά την ανακύκλωση.

Επιπρόσθετοι έλεγχοι, όπως για τον καθορισμό της μηχανικής συμπεριφοράς των αδρανών και της ασφάλτου του ανακτώμενου μίγματος, μπορεί να απαιτηθούν, ειδικά σε έργα ανακύκλωσης μεγάλης έκτασης και όταν οι συνθήκες του έργου είναι ιδιαίζουσες (μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος, θερμοκρασίες περιβάλλοντος, σκοπός της ανακύκλωσης, κλπ).

Βασικότερη προϋπόθεση για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του ασφαλτομίγματος προς ανακύκλωση είναι η ομοιομορφία ή μη μεταβλητότητά του. Αυτή διασφαλίζει τη σταθερότητα της ποιότητας του ανακυκλωθέντος μίγματος. Έτσι τμήματα του οδικού δικτύου στα οποία το ασφαλτόμιγμα παρουσιάζει συχνές εναλλαγές δεν θα πρέπει να θεωρούνται αβίαστα υποψήφια για ανακύκλωση. Μεταβολή της ομοιομορφίας του ασφαλτομίγματος μπορεί να προέλθει και από τον τρόπο απόρριψης / αποθήκευσης ανακτημένων μιγμάτων. Ανακτηθέντα μίγματα από διάφορα έργα θα πρέπει να αποθηκεύονται σε διαφορετικούς σωρούς και να μην αναμιγνύονται. Για την αποφυγή πιθανής ανάμιξης των ανακτηθέντων μιγμάτων συνιστάται όπως η ανακτηθείσα ποσότητα ασφαλτομίγματος από κάθε έργο ανακυκλώνεται το συντομότερο δυνατό.

Η διαδικασία εξέτασης της καταλληλότητας των προς ανακύκλωση ασφαλτομιγμάτων διαφέρει από χώρα σε χώρα. Μία από τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται είναι αυτή που προτείνεται από τις Βρετανικές προδιαγραφές. Από τη

διαδικασία αυτή καθορίζονται επίσης και οι αναλογίες των υλικών που πρόκειται να προστεθούν.

3.3.2 Σύνθεση ανακυκλωμένου εν θερμώ ασφαλτομίγματος

Για τη σύνθεση των ανακυκλωμένων εν θερμώ ασφαλτομιγμάτων κάθε χώρα ακολουθεί τη δική της μεθοδολογία. Σε όλες τις μεθοδολογίες, αφού προηγουμένως αποφασισθεί ο τύπος του ανακυκλωμένου ασφαλτομίγματος που πρόκειται να παραχθεί, πρωταρχικός παράγοντας είναι να καθορισθεί το ποσοστό συμμετοχής του ανακτηθέντος ασφαλτομίγματος στο τελικό μίγμα (ανακυκλωμένο μίγμα) και ο τύπος της νέας ασφάλτου. Από το ποσοστό συμμετοχής του ανακτηθέντος μίγματος εξαρτάται και καθορίζεται τόσο το ποσοστό των νέων αδρανών (μίγματος αδρανών) όσο και το ποσοστό της νέας ασφάλτου, που πρόκειται να προστεθούν. Μετά τον καθορισμό των παραπάνω μεγεθών ακολουθεί η παρασκευή δοκιμίων για τον έλεγχο του τελικού ασφαλτομίγματος. Ο έλεγχος αυτός γίνεται σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθείται.

3.3.3 Ανακύκλωση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

Η ανακύκλωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι σχετικά νέα σε σύγκριση με την ανακύκλωση των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Άρχισε να εφαρμόζεται τα τελευταία δεκαπέντε περίπου χρόνια κυρίως σε χώρες που δεν είχαν φυσικά αποθέματα αδρανών. Σήμερα και διάφοροι άλλοι παράγοντες επηρεάζουν τη λήψη απόφασης ανακύκλωσης των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων. Στο σύνολό τους οι κυριότεροι

παράγοντες είναι: α) η διατήρηση των φυσικών αποθεμάτων, β) η απουσία αδρανών πλησίον των έργων, γ) η απόρριψη κατεστραμμένων παλαιών οδοστρωμάτων, δ) η μείωση του κοστολογίου, ε) η ανάπτυξη νέων και αποδοτικότερων μηχανημάτων θραύσης, στ) η ανάπτυξη νέων μεθόδων και αποδοτικότερων μηχανημάτων απομάκρυνσης του σιδήρου οπλισμού και ζ) η ανάπτυξη νέων προσθετικών σκυροδέματος για τη βελτίωση της αντοχής και της εργασιμότητας αυτού.

Το υλικό που προέρχεται από την ανακύκλωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (θρυμματισμένο σκυρόδεμα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές για: α) νέα δύσκαμπτα οδοστρώματα, β) στρώσεις βάσεων και υποβάσεων σταθεροποιημένου ή μη τύπου, γ) πορώδη επιχώματα ή φίλτρα, δ) ερείσματα και ε) παραγωγή ασφαλικών μιγμάτων για βάσεις και συνδετικές στρώσεις.

Κατά την ανακύκλωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων οι παλαιές πλάκες θραύονται και μεταφέρονται σε χώρο συλλογής όπου υφίστανται περαιτέρω θραύση ή/και απομάκρυνση του σιδήρου οπλισμού.

Η κυριότερη δυσκολία κατά την ανακύκλωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι αυτή της αρχικής θραύσης, η οποία γίνεται με ειδικά σφυροφόρα μηχανήματα και της απομάκρυνσης του οπλισμού. Μερική απομάκρυνση του οπλισμού γίνεται επί του έργου, χειρωνακτικά, κατά την πρώτη θραύση, ενώ η ολική απομάκρυνση του οπλισμού γίνεται στο εργοτάξιο, κατά τη δεύτερη θραύση, με τη χρήση ειδικών μηχανημάτων (κυρίως μαγνητικών). Οι σπαστήρες που χρησιμοποιούνται είναι ενισχυμένοι σιαγονοφόροι σπαστήρες και σφυροφόροι σπαστήρες (για την περαιτέρω θρυμμάτιση του σκυροδέματος σε μικρούς κόκκους). Μετά το σπάσιμο, το σκυρόδεμα κοσκινίζεται και αποθηκεύεται σε κλάσματα όπως τα λοιπά αδρανή.

3.3.3.1 Ιδιότητες αδρανών από ανακυκλωμένο δύσκαμπτο οδόστρωμα

Από διάφορα έργα που εκτελέστηκαν και αναφέρονται στη βιβλιογραφία μπορούν να συνοψιστούν τα παρακάτω, όσον αφορά τις ιδιότητες των αδρανών και των σκυροδεμάτων που προήλθαν από αυτά.

α) Τα αδρανή που παράγονται έχουν καλό κυβοειδές σχήμα, υψηλό πορώδες και χαμηλότερο ειδικό βάρος συγκριτικά με τα συμβατικά αδρανή υλικά.

β) Η ενσωμάτωση των χονδρόκοκκων αδρανών για την παραγωγή σκυροδέματος δεν επηρεάζει αισθητά τις αναλογίες του μίγματος ή την εργασιμότητα αυτού.

γ) Όταν χρησιμοποιούνται ως άμμος, το μίγμα είναι λιγότερο εργάσιμο και απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου και νερού για την επίτευξη της ίδιας αντοχής. Για τον λόγο αυτό πολλοί οργανισμοί δεν χρησιμοποιούν τα λεπτόκοκκα για πλήρη αντικατάσταση της άμμου, ή εάν τα χρησιμοποιούν αντικαθιστούν μόνο ένα μικρό ποσοστό, το πολύ 30% της άμμου.

δ) Η αντοχή του σκυροδέματος, εφ' όσον χρησιμοποιηθεί μικρή ποσότητα λεπτόκοκκων υλικών, ανεξάρτητα από το ποσοστό των χονδρόκοκκων από ανακυκλωμένα οδοστρώματα, είναι ισοδύναμη των συμβατικών σκυροδεμάτων.

ε) Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε βελτίωση του σκυροδέματος κατά τον έλεγχο αντίστασης σε ψύξη/θέρμανση.

στ) Το πλύσιμο των αδρανών που προήλθαν από τα εξετασθέντα έργα δεν έδωσε καλύτερες αντοχές σκυροδέματος.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι τα χονδρόκοκκα αδρανή που προκύπτουν από την ανακύκλωση των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων δεν υπολείπονται των συμβατικών αδρανών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατο των συμβατικών αδρανών. Σε κάθε έργο θα πρέπει να γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι για τη διαπίστωση της καταλληλότητας αυτών. Ιδιαίτερα θα πρέπει να εξετάζεται και η υπόβαση του παλαιού οδοστρώματος η οποία μπορεί να περιέχει ανεπιθύμητα συστατικά τόσο για την παραγωγή σκυροδέματος όσο και για την παραγωγή ασφαλτομίγματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΙΟΚ, Π.Ε.Τ.Ε.Π. *Οδοστρωσία από τσιμεντόδετο ανακυκλωμένο μείγμα φρεζαρισμένων ασφαλικών και υποκείμενων στρώσεων*, Έκδοση 1^η (2005)
- [2] ΙΟΚ, Π.Ε.Τ.Ε.Π. *Ανακατασκευή βάσεων οδοστρωμάτων με ψυχρή ανακύκλωση και πόσθηκη αφρώδους ασφάλτου (CIR)*, Έκδοση 1^η, Δεκέμβριος 2008
- [3] Μαυρίλου Σ. και Οίκονμου Ν., *Πειραματική προσέγγιση της χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών βιομηχανικής επεξεργασίας στην παραγωγή νέου σκυροδέματος*, Μερους II, 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος
- [4] Εφραίμδης Χ, *Παραγωγή Αδρανών Υλικών από Ανακύκλωση Παλαιών Σκυροδεμάτων*, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, 21-23/5/2008, Αθήνα
- [5] Γκαλμπένης Χ., Τσακαλάκης Κ και Τσίμας Σ., *Υποκατάσταση Φαρίνας Τσιμέντου από Ανακυκλωμένα Υλικά Κατεδάφισης Κτιρίων*, Heleco '05, 3-6/2/2005, Αθήνα
- [6] Μακριού Π. και Πανιώρας Γ., *Σύγχρονα Υλικά στην Κατασκευή και Συντήρηση των Έργων Οδοποιίας*, Πτυχιακή Εργασία, Οκτώβριος 2009, Θεσσαλονίκη

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές για οδοστρωσία με ανακυκλωμένο μείγμα φρεζαρισμένων ασφαλικών