



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΜΣ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων στην κατασκευή οδικών έργων»

Φοιτήτρια: Μούκα Δήμητρα – Α.Μ. 13022012

Επιβλέπων: Χριστοδούλου Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής

Λάρισα, Ιούλιος 2024

Ενυπόγραφη δήλωση μη λογοκλοπής

Ο/Η παρακάτω υπογράφων/-ουσα δηλώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ότι στο πλαίσιο αυτό έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λ.π., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ημερομηνία: 01-07-2024

Ονοματεπώνυμο: Δήμητρα Μούκα

Υπογραφή:

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

.....

.....

.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της χρήσης και αξιοποίησης των βιομηχανικών παραπροϊόντων στην κατασκευή έργων οδοποιίας. Η κατασκευή των έργων οδοποιίας χαρακτηρίζεται από τη χρήση μεγάλης ποσότητας πρώτων υλών (αδρανών, τσιμέντου και ασφάλτου), που η παραγωγή τους συνδέεται άρρηκτα με την ενεργειακή κατανάλωση καθώς και παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων αέριων ρύπων. Από την άλλη πλευρά, στις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, η παραγωγή βιομηχανικών αποβλήτων ή παραπροϊόντων είναι σημαντική. Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υλικών αυτών, κάτω από ένα συγκεκριμένο πλαίσιο μελέτης και αξιολόγησης, μπορεί να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη και επεξεργασία των πρώτων υλών.

Λέξεις Κλειδιά: έργο, οδοποιία, βιομηχανία παραπροϊόντα, κύκλος ζωής έργου

ABSTRACT

The present thesis deals with the issue of the use and utilization of industrial by-products in the construction of road construction projects. The construction of road construction projects is characterized by the use of a large amount of raw materials (aggregate, cement and asphalt), the production of which is inextricably linked to energy consumption as well as the production of significant amounts of gaseous pollutants. On the other hand, in developed and developing countries, the production of industrial waste or by-products is significant. The recycling and reuse of these materials, under a specific framework of study and evaluation, can reduce the environmental impact of the extraction and processing of the raw materials.

Keywords: project, road construction, industry by-products, project life cycle

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	10
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	10
1.2 ΣΤΟΧΟΙ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ	10
1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ.....	11
1.4 ΛΟΓΟΙ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΕΡΓΩΝ.....	12
1.5 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΟΥ	13
1.6 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	19
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	19
2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ	20
2.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	23
2.4 ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ	28
2.5 Η ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ	29
2.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΑ	31
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ.....	31
3.2 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ.....	32
3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΑ.....	32
3.3.1 ΕΛΑΣΤΙΚΑ (<i>WASTE TYRES</i>).....	32
3.3.2 ΠΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ (<i>FLY ASH</i>).....	34
3.3.3 ΓΥΑΛΙ.....	38
3.3.4 ΣΚΟΥΡΙΕΣ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΥ.....	39
3.3.5 ΣΚΟΝΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΑΙΒΑΝΩΝ.....	42
3.3.6 ΦΩΣΦΟΓΥΨΟΣ.....	43
3.3.7 ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΣΑΚΟΥΛΕΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	45
3.3.8 ΑΜΜΟΣ ΧΥΘΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΩΡΥΧΕΙΟΥ.....	45
3.3.9 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	46

3.5 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ...	47
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Κύκλος ζωής ενός έργου (Πηγή: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.publicprocurementuserguides.treasury.gov.cy%2F1-3-kyklos-zwhs-ergoy&psig=AOvVaw3Ct55R8TD2buYbjh4ctDG2&ust=1717747431798000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBAQjRxqFwoTCKiw7f3BxoYDFQAAAAAdAAAAABAE).....	17
Εικόνα 2 Ασφαλτόστρωση οδοστρώματος (Πηγή: https://gobhma.gr)	21
Εικόνα 3 Υποχώρηση δρόμου (Πηγή: https://www.protothema.gr)	24
Εικόνα 4 Καθίζηση δρόμου (Πηγή: https://www.patrasevents.gr)	25
Εικόνα 5 Ελαστικά παραπροϊόντα (Πηγή: Pirakasam et al., 2022).	33
Εικόνα 6 Ασφαλτόστρωση δρόμου χρησιμοποιώντας απόβλητα ελαστικών (Πηγή: Pirakasam et al., 2022).	33

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καθημερινή διάθεση διαφορετικών απορριμμάτων που παράγονται από διαφορετικές βιομηχανίες είναι ένα μεγάλο πρόβλημα. Αυτά τα υλικά προκαλούν περιβαλλοντική ρύπανση στην κοντινή τοποθεσία, επειδή πολλά από αυτά είναι μη βιοαποδομήσιμα. Τα τελευταία χρόνια, οι εφαρμογές των βιομηχανικών αποβλήτων εξετάζονται στην οδοποιία με μεγάλο ενδιαφέρον σε πολλές βιομηχανικές και αναπτυσσόμενες χώρες. Η χρήση αυτών των υλικών στην οδοποιία βασίζεται σε τεχνικά, οικονομικά και οικολογικά κριτήρια. Η έλλειψη παραδοσιακών οδικών υλικών και η προστασία του περιβάλλοντος καθιστούν επιτακτική την προσεκτική διερεύνηση της πιθανής χρήσης αυτών των υλικών. Η Ινδία έχει ένα μεγάλο δίκτυο βιομηχανιών που βρίσκονται σε διάφορα μέρη της χώρας και πολλά άλλα σχεδιάζονται για το εγγύς μέλλον. Σε αυτές τις εγκαταστάσεις παράγονται αρκετά εκατομμύρια μετρικοί τόνοι βιομηχανικών αποβλήτων. Παραδοσιακά χώμα, αδρανή πέτρας, άμμος, άσφαλτος, τσιμέντο κ.λπ. χρησιμοποιούνται για την οδοποιία. Τα φυσικά υλικά όντας εξαντλητικά στη φύση τους, η ποσότητα τους μειώνεται σταδιακά. Επίσης, το κόστος εξόρυξης καλής ποιότητας φυσικού υλικού αυξάνεται. Ανησυχώντας για αυτό, οι επιστήμονες αναζητούν εναλλακτικά υλικά για την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων και τα βιομηχανικά απόβλητα είναι μια τέτοια κατηγορία. Εάν αυτά τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, τα προβλήματα ρύπανσης και διάθεσης μπορεί να μειωθούν εν μέρει.

Ελλείψει άλλων διεξόδων, αυτά τα στερεά απόβλητα έχουν καταλάβει αρκετά στρέμματα γης γύρω από φυτά σε όλη τη χώρα. Έχοντας κατά νου την ανάγκη για μαζική χρήση αυτών των στερεών αποβλήτων στην Ινδία, θεωρήθηκε σκόπιμο να δοκιμαστούν αυτά τα υλικά και να αναπτυχθούν προδιαγραφές για την ενίσχυση της χρήσης αυτών των βιομηχανικών αποβλήτων στην κατασκευή οδοποιίας, όπου μπορεί να είναι δυνατή η υψηλότερη οικονομική απόδοση. Η πιθανή χρήση αυτών των υλικών θα πρέπει να αναπτυχθεί για την κατασκευή δρόμων μικρού όγκου σε διάφορες περιοχές της χώρας μας. Θα πρέπει να διαμορφωθούν οι απαραίτητες προδιαγραφές και να γίνει προσπάθεια μεγιστοποίησης της χρήσης στερεών αποβλήτων σε διάφορα στρώματα του οδοστρώματος. Μελέτες απόδοσης οδοστρώματος μετά την κατασκευή πρόκειται να γίνουν για αυτά τα απόβλητα υλικά για την κατασκευή δρόμων χαμηλού όγκου με διπλά οφέλη: (α) θα βοηθήσει στην εκκαθάριση της πολύτιμης περιοχής από τεράστιες χωματερές απορριμμάτων. (β) θα συμβάλει επίσης στη διατήρηση των φυσικών αποθεμάτων αδρανών υλικών, προστατεύοντας έτσι το περιβάλλον (Mishra, 2015).

Οι ποσότητες δομικών απορριμμάτων υλικών και υποπροϊόντων που δεν έχουν εμπορική αξία αυξάνονται με την αύξηση των οικοδομικών βιομηχανιών, του πληθυσμού και της ανάπτυξης. Οι χώροι υγειονομικής ταφής συνήθως γεμίζουν γρήγορα με τη συνεχή απόρριψη των απορριμμάτων που απαιτούν μεγαλύτερη επέκταση στους ειδικούς χώρους υγειονομικής ταφής. Επιπλέον, αυτά τα απόβλητα έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στη ζωή των φυτών (Pasetto και Baldo 2012).

Σύμφωνα με την τελευταία παραγωγή που δημοσιεύθηκε από την ΕΑΡΑ (2022), η ποσότητα της διαθέσιμης ανακτημένης ασφάλτου στην Ευρώπη ήταν 49,5 Mt. Από αυτή την ποσότητα, η βιομηχανία ασφάλτου επαναχρησιμοποίησε το 76% στην κατασκευή νέων ασφαλικών μιγμάτων και ανακύκλωσε το 20% επιπλέον, ως κοκκώδες υλικό για αδέσμευτα στρώματα δρόμων και άλλες εφαρμογές πολιτικού μηχανικού. Ως αποτέλεσμα, μόνο το 4% τέθηκε σε χωματερή. Με βάση το UEPG (2017), η ευρωπαϊκή βιομηχανία αδρανών υλικών καλύπτει ζήτηση 2,7 δισεκατομμυρίων τόνων αδρανών υλικών που παράγονται κάθε χρόνο. Περίπου το 10% των παραγόμενων αδρανών από την ευρωπαϊκή βιομηχανία αδρανών προορίζεται για προϊόντα ασφάλτου. Η χρήση υποπροϊόντων (ανακυκλωμένων), αντί πρωτογενών (φυσικών), υλικών συμβάλλει στη μείωση των πιέσεων της υγειονομικής ταφής και στη μείωση της ζήτησης εξόρυξης. Λόγω του αυξανόμενου κόστους που σχετίζεται με τα φυσικά αδρανή που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ασφαλικών μιγμάτων και για να βοηθήσουν στη μείωση των πιέσεων της υγειονομικής ταφής και στη μείωση της ζήτησης εξόρυξης, αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει τις τελευταίες δεκαετίες την ενσωμάτωση υλικών υποπροϊόντων από τη βιομηχανία στις κατασκευές και εφαρμογές πολιτικού μηχανικού.

Συνήθως, οι δρόμοι σχεδιάζονται για να υποστηρίξουν μια αναμενόμενη ποσότητα κυκλοφορίας κατά την επιθυμητή διάρκεια ζωής, αλλά δυστυχώς οι περισσότεροι από τους δρόμους υποφέρουν από μηχανική βλάβη πριν φτάσουν στην επιθυμητή διάρκεια ζωής, επομένως, μελέτες πεδίου έχουν δείξει ότι ασφαλικά μείγματα από εναλλακτικά αδρανή και Τα βιολογικά συνδετικά (χρησιμοποιούνται ως αναζωογονητικά) θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω όσον αφορά τη μακροπρόθεσμη απόδοση για να αξιολογηθεί η καταλληλότητά τους να υποκαταστήσουν τα συμβατικά υλικά ασφάλτου (Bukowski, Youtcheff και Harman 2012). Η δοκιμή επιταχυνόμενης φόρτισης είναι μία από τις δοκιμές που μπορεί να προβλέψει τη μακροπρόθεσμη απόδοση των ασφαλικών μιγμάτων και επιτρέπει την ακριβή επικύρωση της απόδοσης των μιγμάτων υπό πραγματικές κυκλοφοριακές και καιρικές συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η λέξη «έργο» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τον δέκατο έκτο αιώνα ή περίπου και προέρχεται από το λατινικό *projicere* (= ρίχνω μπροστά). Η λατινική ρίζα υποδηλώνει έτσι κίνηση, τροχιά, κάποια σχέση με τον χώρο και τον χρόνο. Η υπονοούμενη διαδικασία περιλαμβάνει:

- ένα σημείο εκκίνησης...
- χρησιμοποιείται ως βάση, από το οποίο...
- κάποιος ρίχνεται μπροστά...
- προς έναν στόχο.

Ιστορικά, η λέξη και η έννοια χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά από αρχιτέκτονες. Τον δέκατο πέμπτο αιώνα, ο Filippo Brunelleschi έκανε δύο καινοτομίες στην αρχιτεκτονική πρακτική της εποχής του:

Οι εργασίες στον καθεδρικό ναό της Φλωρεντίας είχαν διακοπεί τον δέκατο τέταρτο αιώνα και ο Brunelleschi έλαβε το καθήκον να το ολοκληρώσει προσθέτοντας έναν τρούλο. Πριν ξεκινήσει, δημιούργησε ένα σχέδιο (κάτοψη) του θόλου, χρησιμοποιώντας διάφορες προοπτικές για να παρέχει μια γεωμετρική αναπαράσταση της μελλοντικής δομής, όπως την οραματίστηκε. Μέσα από την αλληλεπίδραση αυτών των προοπτικών, ο ίδιος ο τρούλος υποτίθεται ότι θα έλεγε κάτι για το ιστορικό και πολιτικό πλαίσιο της πόλης (Gibson et al., 2003).

Ο ορισμός του πεδίου εφαρμογής του έργου είναι η διαδικασία με την οποία τα στοιχεία ενός έργου ορίζονται και προετοιμάζονται για υλοποίηση. Αυτό είναι ένα κρίσιμο στάδιο του έργου όπου λαμβάνονται πρώιμα σχέδια και αποφάσεις, αναπτύσσεται η συγκεκριμένη προσέγγιση εκτέλεσης του έργου και αναλύονται οι σχετικοί κίνδυνοι του έργου (Gibson et al., 2003).

1.2 ΣΤΟΧΟΙ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ

Η διαχείριση έργου είναι μια κοινή και παραδοσιακή έννοια επίλυσης εργασιών μηχανικής. Αναγνωρίζει ότι υπάρχουν σύνολα συντονισμένων ανθρώπινων δραστηριοτήτων που στοχεύουν σε έναν καθορισμένο στόχο, τα οποία ονομάζονται έργα. Τείνουν να είναι μεμονωμένες, μη συνηθισμένες επιχειρήσεις με διακριτικούς χρόνους, οικονομικούς και τεχνικούς στόχους. Το Project Management Institute (2004) ορίζει τα έργα ως «μια προσωρινή προσπάθεια που αναλαμβάνεται για τη δημιουργία ενός μοναδικού προϊόντος ή υπηρεσίας».

Οι στόχοι του έργου πρέπει να μεταφραστούν σε περιγραφή ενός προϊόντος, ενός κτιρίου, μιας μονάδας επεξεργασίας, μιας γέφυρας ή κάποιου άλλου φυσικού αντικειμένου. Δεδομένου ότι αυτά τα έργα στον κλάδο της μηχανικής διαρκούν μόνο για μια

πεπερασμένη περίοδο, ο διαχειριστής του έργου πρέπει να είναι σε θέση να ενσταλάξει γρήγορα τις ανθρώπινες πτυχές που σχετίζονται με την επιτυχία του έργου. Επομένως, για να ολοκληρωθεί η δουλειά, πρέπει να εντοπιστούν και να διατεθούν πόροι και οι δραστηριότητες πρέπει να οργανωθούν, να προγραμματιστούν και να δομηθούν κατάλληλα σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις (Kerzner, 2006). Ο διαχειριστής έργου ορίζεται ως επικεφαλής της ομάδας έργου και είναι υπεύθυνος για το τελικό αποτέλεσμα. Χρησιμοποιώντας προϋπολογισμούς, ποιοτικό έλεγχο, συναντήσεις προόδου, συμβατικές ρυθμίσεις και ηγετικές ικανότητες, ο διαχειριστής του έργου πρέπει να διασφαλίσει ότι όλοι όσοι εμπλέκονται στο έργο εκτελούν το καθήκον τους που έχουν οριστεί και συμφωνηθεί.

1. Τα έργα έχουν έναν σκοπό: τα έργα έχουν σαφώς καθορισμένους στόχους και έχουν ως στόχο να παράγουν σαφώς καθορισμένα αποτελέσματα. Ο σκοπός τους είναι να λύσουν ένα «πρόβλημα» και αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση των αναγκών εκ των προτέρων. Προτείνοντας μία ή περισσότερες λύσεις, στοχεύει σε διαρκή κοινωνική αλλαγή.
2. Τα έργα είναι ρεαλιστικά: οι στόχοι τους πρέπει να είναι επιτεύξιμοι, και αυτό σημαίνει να λαμβάνονται υπόψη τόσο οι απαιτήσεις όσο και οι διαθέσιμοι οικονομικοί και ανθρώπινοι πόροι. Τα έργα είναι περιορισμένα σε χρόνο και χώρο: έχουν αρχή και τέλος και υλοποιούνται σε συγκεκριμένο χώρο και πλαίσιο.
3. Τα έργα είναι πολύπλοκα: τα έργα απαιτούν διάφορες δεξιότητες σχεδιασμού και υλοποίησης και περιλαμβάνουν διάφορους εταίρους και φορείς.
4. Τα έργα είναι συλλογικά: τα έργα είναι προϊόν συλλογικής προσπάθειας. Διοικούνται από ομάδες, εμπλέκουν διάφορους συνεργάτες και καλύπτουν τις ανάγκες άλλων.
5. Τα έργα είναι μοναδικά: όλα τα έργα πηγάζουν από νέες ιδέες. Παρέχουν μια συγκεκριμένη απάντηση σε μια ανάγκη (πρόβλημα) σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο. Είναι καινοτόμοι.
6. Τα έργα είναι μια «περιπέτεια»: κάθε έργο είναι διαφορετικό και πρωτοποριακό. εμπεριέχουν πάντα κάποια αβεβαιότητα και ρίσκο.
7. Τα έργα μπορούν να αξιολογηθούν: τα έργα σχεδιάζονται και αναλύονται σε μετρήσιμους στόχους, οι οποίοι πρέπει να είναι ανοικτοί σε αξιολόγηση.
8. Τα έργα αποτελούνται από στάδια: τα έργα έχουν διακριτά, αναγνωρίσιμα στάδια (Novy et al., 2012).

1.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ

Τα σύγχρονα έργα, όπως τα έργα υποδομής, έχουν πολύπλοκη τοποθεσία. χρονοβόρες, μη ισορροπημένες ταμειακές ροές, περίπλοκες συμβατικές συμφωνίες (Mishra, 2019). Τα έργα έχουν μεμονωμένους ή πολλαπλούς περιορισμούς που περιορίζουν την πρόοδο του έργου από την έγκαιρη ολοκλήρωση. Περιορισμός είναι μια συνθήκη, φορέας ή δύναμη

που εμποδίζει την πρόοδο σε στόχο ή στόχο (Lau & Kong, 2006). Οι περιορισμοί θα πρέπει να εντοπίζονται και να περιγράφονται όσο το δυνατόν περισσότερο κατά το αρχικό στάδιο ενός έργου ώστε να είναι δυνατή η διαχείριση της ευαισθητοποίησης σχετικά με αυτές και τις πιθανές επιπτώσεις τους. Αυτό περιλαμβάνει την κατανόηση της δυναμικής του έργου και του τρόπου αλληλεπίδρασης των διαφορετικών περιορισμών. Περιορισμοί είναι οτιδήποτε περιορίζει τη δράση της ομάδας έργου ή υπαγορεύει τη δράση της ομάδας έργου. Οι περιορισμοί βάζουν την ομάδα έργου σε ένα «κουτί». Ο διαχειριστής έργου πρέπει να διαχειριστεί αρκετούς περιορισμούς έργου, κάτι που μερικές φορές απαιτεί δημιουργικότητα. Όπως οι περισσότεροι κλάδοι, η διαχείριση έργων μπορεί συχνά να είναι τόσο τέχνη όσο και επιστήμη.

Οι περιορισμοί στα κατασκευαστικά έργα περιορίζουν την επίτευξη υψηλών επιδόσεων. Ο εντοπισμός των περιορισμών παρέχει τα πρακτικά βήματα για τη λήψη οργανωτικών αποφάσεων στις οποίες υπάρχουν περιορισμοί. Εάν οι περιορισμοί γίνουν καλύτερα κατανοητοί από την αρχή, πιστεύεται ότι μπορεί να θεωρηθεί καλύτερη απόδοση. Με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των κατασκευαστικών έργων, ο σωστός σχεδιασμός και ο σωστός έλεγχος των δραστηριοτήτων του έργου αντιπροσωπεύουν πλέον βασικά ζητήματα στη διαχείριση του προγραμματισμού κατασκευής. Γενικά, ένας στόχος του σχεδιασμού και του ελέγχου του χρονοδιαγράμματος κατασκευής είναι η επιτυχής έγκαιρη ολοκλήρωση κάθε δραστηριότητας στο έργο.

Η Θεωρία των Περιορισμών (TOC) μπορεί να εφαρμοστεί σε έργα για τη βελτίωση της απόδοσης. Επιπλέον, η προσέγγιση TOC επικεντρώνεται στην επιτυχή έγκαιρη ολοκλήρωση ολόκληρου του έργου. Σύμφωνα με το TOC, ο κύριος περιορισμός σε κάθε έργο είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των κρίσιμων δραστηριοτήτων. Ως εκ τούτου, δίνεται έμφαση στην ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων στην κρίσιμη διαδρομή χωρίς να χάνεται καθόλου χρόνος (Jan & Ho, 2006).

1.4 ΛΟΓΟΙ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΕΡΓΩΝ

Όταν τα έργα αρχίζουν να δείχνουν σημάδια άγχους και αποτυχίας, όλοι αναζητούν απαντήσεις στον διαχειριστή του έργου. Μπορεί να φαίνεται άδικο το βάρος της καταστροφής να πέφτει σε ένα μόνο άτομο. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους τα έργα (τόσο απλά όσο και σύνθετα) αποτυγχάνουν. ο αριθμός των λόγων μπορεί να είναι άπειρος. Αυτό συμβαίνει όταν ο διαχειριστής έργου πρέπει να αναγνωρίσει ένα προειδοποιητικό σήμα και να λάβει μέτρα. Πάνω από τα δύο τρίτα όλων των μεγάλων έργων καταλήγουν σε αποτυχία, που σημαίνει ότι υπερβαίνουν σημαντικά τον προϋπολογισμό, χάνουν στόχους χρονοδιαγράμματος ή αποτυγχάνουν να επιτύχουν παραγωγή κοντά στην ικανότητα σχεδιασμού. Οι λόγοι για την αποτυχία του έργου έχουν τεκμηριωθεί καλά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Παρά αυτό το μεγάλο σύνολο εμπειρικών αποδεικτικών στοιχείων, πολλές εκτελεστικές και ηγετικές ομάδες έργων συνεχίζουν να επαναλαμβάνουν τα λάθη που έγιναν σε προηγούμενα έργα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στο ότι οι ομάδες έργου πιστεύουν ότι τα έργα τους είναι κατά κάποιο τρόπο

διαφορετικά από τα προηγούμενα έργα και ότι τα λάθη άλλων έργων δεν σχετίζονται με το έργο τους (McManus & Wood- Harper, 2008).

Οι πιο κοινές βασικές αιτίες για την αποτυχία του έργου είναι:

- Κακή διαχείριση
- Απροσδιόριστοι στόχοι
- Έλλειψη δέσμευσης της διοίκησης
- Έλλειψη σταθερού σχεδίου έργου
- Έλλειψη οργανωτικής υποστήριξης
- Κεντρικές πρωτοβουλίες προληπτικής διαχείρισης για την καταπολέμηση του κινδύνου του έργου
- Επιχειρησιακή διαχείριση των πόρων του προϋπολογισμού
- Κακώς καθορισμένοι ρόλοι και ευθύνες
- Ανεπαρκείς ή ασαφείς απαιτήσεις
- Σύγκρουση μετόχων
- Μη ρεαλιστικά χρονοδιαγράμματα και εργασίες
- Ανταγωνιστικές προτεραιότητες
- Κακή επικοινωνία
- Ανεπαρκείς πόροι (χρηματοδότηση και προσωπικό)
- Υπέρβαση χρονοδιαγράμματος και κόστους
- Καμία διαδικασία ελέγχου αλλαγών
- Κακές αποφάσεις
- Ανεπαρκείς διαδικασίες δοκιμών (Shabir, 2023).

1.5 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΟΥ

Η διαχείριση έργου είναι ένας ξεχωριστός τομέας που συμβάλλει στη διαχείριση έργων. Έχει τρία βασικά χαρακτηριστικά για να το διακρίνει από τις μορφές διαχείρισης και περιλαμβάνουν: έναν διαχειριστή έργου, την ομάδα έργου και το σύστημα διαχείρισης έργου. Το σύστημα διαχείρισης έργου περιλαμβάνει τη δομή του οργανισμού, την επεξεργασία πληροφοριών και τη λήψη αποφάσεων και τις διαδικασίες που διευκολύνουν την ενοποίηση των οριζόντιων και κάθετων στοιχείων της οργάνωσης του έργου. Το σύστημα διαχείρισης έργου εστιάζει στον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και τον έλεγχο (Aaltola, 2017).

Η διαδικασία διαχείρισης και ελέγχου ενός έργου από την αρχή μέχρι το τέλος μπορεί να διακριθεί περαιτέρω σε πέντε βασικές φάσεις:

1. Έναρξη έργου

Μια ιδέα για ένα έργο θα εξεταστεί προσεκτικά για να καθοριστεί εάν ωφελεί ή όχι τον οργανισμό. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, μια ομάδα λήψης αποφάσεων θα προσδιορίσει εάν το έργο μπορεί ρεαλιστικά να ολοκληρωθεί. Κατά την έναρξη, έχει πραγματοποιηθεί μια διαγνωστική και ανάλυση του προβλήματος και περιγράφει τις στρατηγικές που θα χρησιμοποιήσει το έργο για να επιτύχει τα οφέλη του. Επιπλέον, ο οργανισμός έχει εντοπίσει ότι το έργο είναι ευθυγραμμισμένο με τις στρατηγικές, την αποστολή και το όραμα του οργανισμού. Σημαντικά αποτελέσματα ή απόφαση από αυτή τη φάση είναι η αποδοχή της ιδέας του έργου και η έγκριση της πρότασης έργου. Αυτή η απόφαση βασίζεται στις αρχές προγραμματισμού ενός οργανισμού ή/και στους στρατηγικούς στόχους και λαμβάνει υπόψη τους διαθέσιμους πόρους, τις τοπικές ανάγκες και το συμφέρον της κυβέρνησης/δωρητή. Η έγκριση της ιδέας του έργου οδηγεί στην ανάπτυξη μιας επίσημης πρότασης έργου. περιλαμβάνει την τεκμηρίωση που υποστηρίζει τις απαιτήσεις του φορέα χρηματοδότησης. Σε αυτή τη φάση το έργο μπορεί να εγκριθεί ή να μην γίνει αποδεκτό ή μπορεί να απαιτήσει πρόσθετη ανάλυση ή τροποποιήσεις στην πρόταση. Δεν είναι ασυνήθιστο ότι ο δωρητής και ο οργανισμός συμμετέχουν σε μακρές διαπραγματεύσεις για τον τελικό προϋπολογισμό του έργου. Η έγκριση της πρότασης έργου γίνεται από τον οργανισμό (εάν τα κεφάλαια είναι εσωτερικά) ή τον δωρητή όταν ο οργανισμός ανταποκριθεί σε μια διαδικασία υποβολής προσφορών όπως το RFP (Αίτημα για πρόταση) ή το RFA (Αίτημα για βοήθεια). έγκριση της πρότασης ανοίγει το έργο για την έναρξη της δεύτερης φάσης του έργου, του σχεδιασμού του έργου (Aaltola, 2017).

2. Ορισμός και σχεδιασμός έργου

Ένα σχέδιο έργου, ο χάρτης του έργου ή/και το πεδίο εφαρμογής του έργου μπορούν να τεθούν γραπτώς, περιγράφοντας τις εργασίες που πρέπει να εκτελεστούν. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, μια ομάδα θα πρέπει να ιεραρχήσει το έργο, να συντάξει έναν προϋπολογισμό και ένα χρονοδιάγραμμα και να καθορίσει τους απαιτούμενους πόρους. Ο λεπτομερής σχεδιασμός σε πολλές περιπτώσεις βοηθά στην ανακάλυψη παραλείψεων ή εσφαλμένων υποθέσεων που έγιναν κατά τη φάση έναρξης και την πρόταση έργου. Δεν είναι ασυνήθιστο να διαπιστώσουμε ότι μια πρόταση έργου σχεδιάστηκε χωρίς την κατάλληλη ανατροφοδότηση από τους ενδιαφερόμενους φορείς του έργου ή ότι οι υποθέσεις του προϋπολογισμού βασίστηκαν σε παλιά δεδομένα. Αυτή είναι η στιγμή που ο διαχειριστής έργου πρέπει να εξετάσει λεπτομερώς κάθε στοιχείο του έργου και να διατυπώσει τα σχέδια που θα βοηθήσουν στη διαχείριση του έργου. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνουν ένα επίσημο σχέδιο διαχείρισης έργου που εξουσιοδοτεί το έργο να ξεκινήσει τις εργασίες (Aaltola, 2017).

3. Εκκίνηση ή εκτέλεση έργου

Τα καθήκοντα των πόρων κατανέμονται και οι ομάδες ενημερώνονται για τις ευθύνες. Αυτή είναι μια καλή στιγμή για να φέρετε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το έργο. Η εκτέλεση του έργου περιλαμβάνει τη λήψη όλων των απαραίτητων ενεργειών για να διασφαλιστεί ότι οι δραστηριότητες στο σχέδιο έργου έχουν ολοκληρωθεί και τα αποτελέσματα του σχεδίου παράγονται. Η εκτέλεση πραγματοποιείται μόλις εγκριθούν τα τελικά σχέδια του έργου από τον οργανισμό ή/και την υπηρεσία χορηγών. Ο διαχειριστής έργου ξεκινά σχηματίζοντας μια ομάδα και τα αρχικά έξοδα που απαιτούνται από το έργο. αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν την αγορά εξοπλισμού γραφείου, οχημάτων και άλλων αγαθών και υπηρεσιών που απαιτούνται για την έναρξη του έργου. Η εκτέλεση περιλαμβάνει συντονισμό ατόμων και άλλων πόρων που απαιτούνται για την εκτέλεση των σχεδίων του έργου και την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων του έργου ή της φάσης, αυτή η φάση περιλαμβάνει επίσης δραστηριότητες όπως η παροχή ηγεσίας του έργου, η ανάπτυξη της ομάδας του έργου, η επαλήθευση του πεδίου εφαρμογής του έργου, η διασφάλιση της ποιότητας, η παραγωγή αναφορών προόδου, προμήθεια των απαραίτητων πόρων και λήψη διορθωτικών μέτρων. Τα αποτελέσματα αυτής της φάσης είναι τα παραδοτέα του έργου, οι εκθέσεις προόδου και οι ανακοινώσεις προς τα ενδιαφερόμενα μέρη (Aaltola, 2017).

4. Απόδοση και έλεγχος έργου

Οι διαχειριστές έργου θα συγκρίνουν την κατάσταση και την πρόοδο του έργου με το πραγματικό σχέδιο, καθώς οι πόροι εκτελούν την προγραμματισμένη εργασία. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, οι διαχειριστές έργου μπορεί να χρειαστεί να προσαρμόσουν τα χρονοδιαγράμματα ή να κάνουν ό,τι είναι απαραίτητο για να διατηρήσουν το έργο σε καλό δρόμο. Παραδοσιακά, η εστίαση είναι στην παρακολούθηση των τεσσάρων περιορισμών του έργου ως προς το εύρος, το χρονοδιάγραμμα, τον προϋπολογισμό και την ποιότητα. Η παρακολούθηση του έργου ξεκινά με τον προγραμματισμό και τελειώνει με την αξιολόγηση, έχοντας μια ενδελεχή συμμετοχή σε κάθε βήμα στη διαδικασία. Κάθε έργο θα πρέπει να αξιολογείται για το κατάλληλο επίπεδο ελέγχου που απαιτείται και να βρεθεί μια ισορροπία που μπορεί να αποφέρει τα οφέλη χωρίς αύξηση της εργασίας. Ο υπερβολικός έλεγχος είναι χρονοβόρος, ο πολύ λίγος έλεγχος είναι πολύ δαπανηρός. Η παρακολούθηση είναι ο συνεχής έλεγχος του έργου για να διαπιστωθεί εάν κάνει τα σωστά πράγματα τη σωστή στιγμή εντός των δεδομένων περιορισμών πόρων. Η παρακολούθηση του έργου είναι ένα σημαντικό στοιχείο του έργου που το διατηρεί σε καλό δρόμο, έγκαιρα και εντός του προϋπολογισμού. Η παρακολούθηση αναζητά επίσης νέες ευκαιρίες που μπορεί να έχουν προκύψει από την έναρξη του έργου και που μπορεί να βελτιώσουν τις πιθανότητες επίτευξης των στόχων του έργου. Η παρακολούθηση βοηθά στην επαλήθευση εάν η παρέμβαση του έργου παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα ή οφέλη, βοηθά στον εντοπισμό απροσδόκητων συνεπειών, καθιερώνει μια πειθαρχία που βοηθά στην παρακολούθηση του τρόπου με τον οποίο εξελίσσεται η κατάσταση και το πλαίσιο του

έργου και πώς έχουν οι αρχικές παραδοχές του έργου αλλάξε, γεγονός που συμβάλλει στις τακτικές προσαρμογές των παρεμβάσεων για να διασφαλιστεί η επιτυχία του έργου (Aaltola, 2017).

5. Κλείσιμο έργου

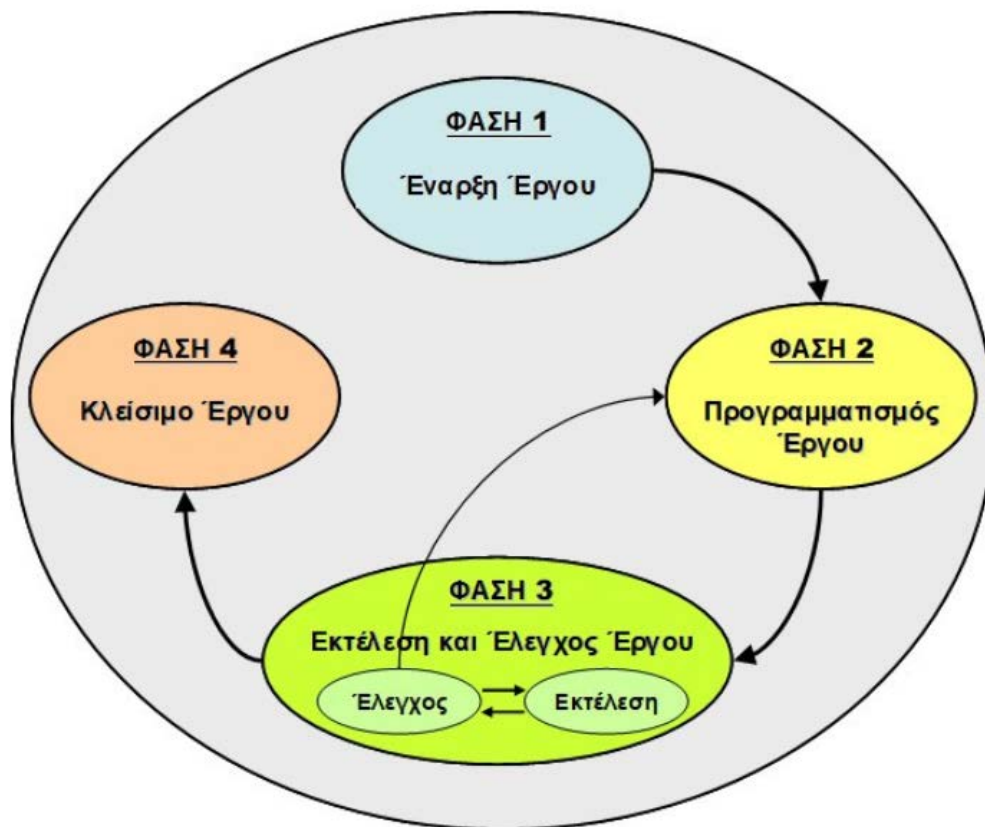
Αφού ολοκληρωθούν οι εργασίες του έργου και ο πελάτης έχει εγκρίνει το αποτέλεσμα, είναι απαραίτητη μια αξιολόγηση για να τονιστεί η επιτυχία του έργου ή/και να διδαχθεί από το ιστορικό του έργου. Θα μπορούσαν να υπάρξουν περιπτώσεις που ένα έργο κλείνει πριν ολοκληρωθούν όλα τα παραδοτέα, αυτό μπορεί να οφείλεται σε αλλαγές στις οργανωτικές στρατηγικές, μη διαθεσιμότητα κεφαλαίων ή συνθήκες ασφαλείας που καθιστούν αδύνατη την εκτέλεση του έργου. Κατά τη διάρκεια του κλεισίματος, το έργο διασφαλίζει ότι έχουν ολοκληρωθεί όλα τα διοικητικά καθήκοντα, συμπεριλαμβανομένων όλων των συμβάσεων, ότι το προσωπικό επανατοποθετείται σε άλλα έργα και αναπτύσσονται τα διδάγματα του έργου. Όλη η τεκμηρίωση του έργου είναι κατάλληλα καταλογοποιημένη και η πρόσβασή της διατίθεται στον οργανισμό και στον δωρητή. Το τελευταίο βήμα στη φάση κλεισίματος περιλαμβάνει την αξιολόγηση του έργου, η οποία συνήθως μπορεί να περιλαμβάνει αξιολογήσεις ελέγχου, αξιολόγηση χορηγών ή εσωτερικές αξιολογήσεις που διεξάγονται από τον οργανισμό ή το έργο (Aaltola, 2017).

Τα έργα και οι διαδικασίες διαχείρισης έργων διαφέρουν από κλάδο σε κλάδο. Ωστόσο, αυτά είναι πιο παραδοσιακά στοιχεία ενός έργου. Ο πρωταρχικός στόχος είναι συνήθως η προσφορά ενός προϊόντος, η αλλαγή μιας διαδικασίας ή η επίλυση ενός προβλήματος προς όφελος του οργανισμού (Aaltola, 2017).

1.6 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ

Κάθε έργο, από τη σύλληψη μέχρι την ολοκλήρωση, περνά από διάφορες φάσεις ενός κύκλου ζωής συνώνυμου με τον κύκλο ζωής των έμβιων όντων. Δεν υπάρχει καθολική συναίνεση για τον αριθμό των φάσεων σε έναν κύκλο έργου. Η κατανόηση του κύκλου ζωής είναι σημαντική για την επιτυχή ολοκλήρωση του έργου, καθώς διευκολύνει την κατανόηση της λογικής ακολουθίας των γεγονότων στη συνέχεια της προόδου από την αρχή μέχρι το τέλος. Το τυπικό έργο αποτελείται από τέσσερις φάσεις:

1. Σύλληψη
2. Σχεδίαση
3. Εκτέλεση
4. Τερματισμός



Εικόνα 1 Κύκλος ζωής ενός έργου (Πηγή:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.publicprocurementuserguides.treasury.gov.cy%2F1-3-kyklos-zwhs-ergoy&psig=AOvVaw3Ct55R8TD2buYbjh4ctDG2&ust=1717747431798000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBAQjRxqFwoTCKiw7f3BxoYDFQAAAAAdAAAAABAE\)](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.publicprocurementuserguides.treasury.gov.cy%2F1-3-kyklos-zwhs-ergoy&psig=AOvVaw3Ct55R8TD2buYbjh4ctDG2&ust=1717747431798000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBAQjRxqFwoTCKiw7f3BxoYDFQAAAAAdAAAAABAE)

Κάθε φάση χαρακτηρίζεται από ένα ή περισσότερα παραδοτέα, όπως σημείωμα ιδέας, έκθεση σκοπιμότητας, σχέδιο υλοποίησης, σχέδιο HRD, σχέδιο κατανομής πόρων, έκθεση αξιολόγησης κ.λπ. (Ben & Llahm, 2020).

🌈 Φάση σύλληψης

Η φάση της σύλληψης, ξεκινώντας με τον σπόρο μιας ιδέας, καλύπτει την αναγνώριση του προϊόντος/υπηρεσίας, την προ-σκοπιμότητα, τις μελέτες σκοπιμότητας και την αξιολόγηση και την έγκριση. Η ιδέα του έργου διαμορφώνεται με αρχικές εκτιμήσεις όλων των πιθανών εναλλακτικών λύσεων για την επίτευξη των στόχων του έργου. Καθώς εδραιώνεται η ιδέα, αναπτύσσεται μια πρόταση που καθορίζει το σκεπτικό, τη μέθοδο, το εκτιμώμενο κόστος, τα οφέλη και άλλες λεπτομέρειες για την αξιολόγηση των ενδιαφερομένων. Μετά την επίτευξη ευρείας συναίνεσης σχετικά με την πρόταση, οι διαστάσεις σκοπιμότητας αναλύονται λεπτομερώς (Ben & Llahm, 2020).

Φάση Σχεδίασης

Σε αυτή τη φάση η δομή του έργου σχεδιάζεται με βάση την αξιολόγηση και τις εγκρίσεις του έργου. Αναπτύσσονται λεπτομερή σχέδια δραστηριότητας, χρηματοδότησης και πόρων και ενσωματώνονται στις παραμέτρους ποιότητας. Κατά τη διαδικασία, τα κύρια καθήκοντα που πρέπει να εκτελεστούν σε αυτή τη φάση είναι:

- Προσδιορισμός δραστηριοτήτων και αλληλουχία τους
- Χρονικό πλαίσιο για την εκτέλεση
- Εκτίμηση και προϋπολογισμός
- Στελέχωση (Ben & Llahm, 2020).

Μια Λεπτομερής Έκθεση Έργου (DPR) που προσδιορίζει διάφορες πτυχές του έργου έχει οριστικοποιηθεί για να διευκολυνθεί η εκτέλεση σε αυτή τη φάση.

Φάση Εκτέλεσης

Αυτή η φάση του έργου μαρτυρεί τη συγκεντρωμένη δραστηριότητα όπου τίθενται σε λειτουργία τα σχέδια. Κάθε δραστηριότητα παρακολουθείται, ελέγχεται και συντονίζεται για την επίτευξη των στόχων του έργου. Σημαντικές δραστηριότητες σε αυτή τη φάση είναι:

- Επικοινωνία με τα ενδιαφερόμενα μέρη
- Ανασκόπηση της προόδου
- Παρακολούθηση κόστους και χρόνου
- Έλεγχος ποιότητας
- Διαχείριση αλλαγών (Ben & Llahm, 2020).

Φάση τερματισμού

Αυτή η φάση σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του έργου όπου εγκαθίστανται τα συμφωνημένα παραδοτέα και το έργο τίθεται σε λειτουργία με ρυθμίσεις για παρακολούθηση και αξιολόγηση (Ben & Llahm, 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Τα έργα οδοποιίας είναι εγγενώς απρόβλεπτα και πολύπλοκα λόγω της δυναμικής φύσης των λειτουργιών του εργοταξίου και των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τις συνθήκες του χώρου. Οι τρέχουσες πρακτικές υποδεικνύουν ότι οι σχεδιαστές έργων πραγματοποιούν εργασίες χωματουργικών εργασιών στην οδοποιία χρησιμοποιώντας ντετερμινιστικές μεθόδους που βασίζονται στην προηγούμενη εμπειρία και γνώση τους. Ως αποτέλεσμα, οι υπερβάσεις κόστους και χρόνου προκαλούνται συχνά από την έλλειψη συμπερίληψης και εκτίμησης των παραγόντων κινδύνου. Αν και τα συστήματα τεχνολογίας πληροφοριών (IT) μπορούν να επιδείξουν αβέβαιη και στοχαστική συμπεριφορά διαφορετικών διαδικασιών για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων των κατασκευαστικών έργων, τα συστήματα πληροφορικής που χρησιμοποιούνται στη λειτουργία χωματουργικών έργων εξακολουθούν να στερούνται τέτοιες δυνατότητες. Έχουν γίνει αρκετές μελέτες που αντιμετωπίζουν τις παραπάνω προκλήσεις. Οι Jayawardane και Price (1994) ανέπτυξαν το RESOM (Model βελτιστοποίησης προσομοίωσης κινούμενων χωματουργικών εργασιών) για να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες χωματουργικών εργασιών εφαρμόζοντας τεχνικές γραμμικού/ακέραιου προγραμματισμού.

Οι Askew et al. (2002) χρησιμοποίησαν τεχνικές διαγράμματος μεταφοράς μάζας (MHD) για την κατανομή χωματουργικών εργασιών μεταξύ τμημάτων κοπής και πλήρωσης. Το MHS είναι μια γραφική αναπαράσταση του όγκου των τμημάτων κοπής και πλήρωσης σε σχέση με τη θέση τους στο εργοτάξιο και χρησιμοποιείται ευρέως για γραμμικές κατασκευές όπως δρόμοι και σιδηρόδρομοι (Warren, 1996, p85). Liapi (2003) ένας συλλογικός προγραμματισμός κατασκευής και σχεδιασμός λήψης αποφάσεων για έργα κατασκευής αυτοκινητοδρόμων στα οποία η οπτικοποίηση χρησιμοποιείται για την επικύρωση της κατασκευαστικής διαδικασίας. Kemppainen et al. (2004) ανέπτυξε ένα σύστημα με το όνομα «Dyanroad», το οποίο είναι ένα λογισμικό προγραμματισμού και ελέγχου μαζικής μεταφοράς και χρονοδιαγράμματος, για να υποστηρίξει τους σχεδιαστές που βελτιστοποιούν το κόστος των πόρων, τις μαζικές αναλήψεις και τα χρονοδιαγράμματα. Το Dyanroad ενθυλακώνει γραμμικούς και γενετικούς αλγόριθμους για τις λειτουργίες βελτιστοποίησης του. Οι Kang et al. (2006) χρησιμοποίησαν τεχνικές μορφοποίησης (οπτικής) για την προσομοίωση εργασιών χωματουργικών εργασιών όπως κοπή και πλήρωση όπου προσομοιώνεται η πρόοδος των δραστηριοτήτων του εργοταξίου και απεικονίζονται οι αλλαγές των επιπέδων του εδάφους λόγω κοπής και πλήρωσης. Οι Chi-Ming et. al. (2007) ανέπτυξαν ένα ολοκληρωμένο σύστημα που συνδυάζει έναν αλγόριθμο εύρεσης μονοπατιών: δακτύλιο κυματισμού, βάση δεδομένων φυτών και γενετικούς αλγόριθμους για τη βελτιστοποίηση των εφικτών εναλλακτικών λύσεων. Οι Kenley και Seppanen (2009) ανέπτυξαν δραστηριότητα και εντόπισαν βασισμένες μεθοδολογίες προγραμματισμού για τη διαχείριση των εργοταξίων. Οι Shah και Dawood (2011) ανέπτυξαν ένα μοντέλο που παράγει εβδομαδιαία σχέδια τοποθεσίας που παρουσιάζονται με τη μορφή χρονικής αλυσίδας. Το διάγραμμα χρονικής αλυσίδας είναι

επίσης γνωστό ως Γραμμική Μέθοδος Προγραμματισμού (LSM)/Διαγράμματα χρονικής τοποθεσίας και χρησιμοποιείται ευρέως σε εκείνα τα γραμμικά κατασκευαστικά έργα που έχουν επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα εργασιακών δραστηριοτήτων (Kenley, 2004).

Υπάρχουν κάποια εμπορικά διαθέσιμα εργαλεία για τον προγραμματισμό χωματουργικών εργασιών. Τα δύο κύρια εργαλεία είναι το TILOS και το DynaRoad. Το TILOS είναι ένα εργαλείο σχεδιασμού χρονικής τοποθεσίας για τη διαχείριση γραμμικών κατασκευαστικών έργων όπως δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές, αγωγοί και σήραγγες. Το DynaRoad είναι ένα εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χρονοδιάγραμμα, βελτιστοποίηση μαζικών μεταφορών και έλεγχο προόδου των χωματουργικών εργασιών σε κατασκευαστικά έργα όπως δρόμοι και σιδηρόδρομοι. Ωστόσο, και τα δύο εργαλεία στερούνται των δυνατοτήτων προσομοίωσης της παραγωγικότητας και του κόστους, ενώ λαμβάνονται υπόψη παράγοντες και μεταβλητές όπως σει εξοπλισμού, περιορισμοί τοποθεσίας και χαρακτηριστικά του εδάφους και επιτρέποντας «τι θα γινόταν αν τα σενάρια».

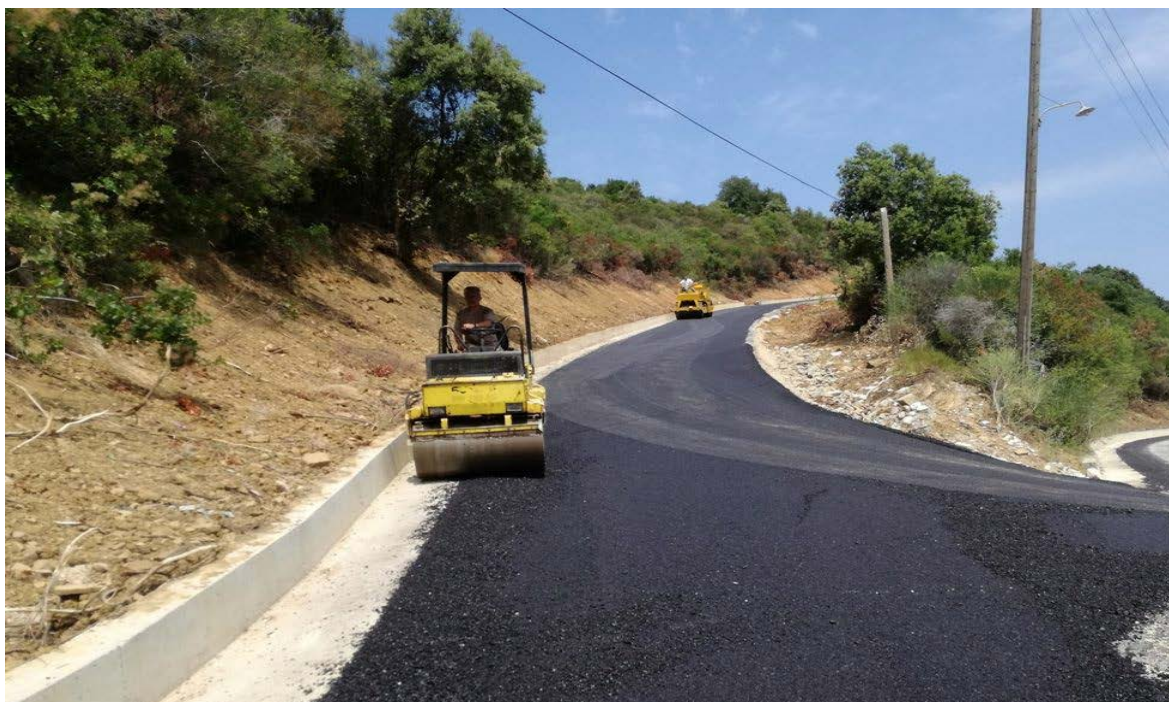
2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Η οδοποιία είναι βασικά μια διαδικασία έντασης εξοπλισμού και επομένως είναι ιδανική για προσομοίωση, καθώς η δραστηριότητα μιας μονάδας εξοπλισμού είναι επαναλαμβανόμενη και μπορεί να θεωρηθεί ως μερικώς αυτοελεγχόμενη και επηρεασμένη μόνο από τις αντίστοιχες συνθήκες εργασίας (Castro and Dawood, 2005). Οι δρόμοι αποτελούν ουσιαστικό μέρος της καθημερινότητάς μας, συνδέοντας ανθρώπους και αγαθά με διαφορετικά μέρη. Η κατασκευή οδικών έργων αποτελεί ζωτικής σημασίας πτυχή της ανάπτυξης υποδομών σε κάθε χώρα. Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης, στη βελτίωση των μεταφορών και στην παροχή καλύτερης πρόσβασης σε απομακρυσμένες περιοχές. Σε αυτό το δοκίμιο, θα συζητήσουμε την κατασκευή οδικών έργων και τις επιπτώσεις της στην κοινωνία (Kulikov et al., 2023).

Επίσης, οι αγροτικοί δρόμοι είναι συχνά δρόμοι χαμηλού κόστους, επομένως οι απαιτήσεις για τα υλικά οδοστρώματος που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στρώματα θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο προσιτές, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τον προβλεπόμενο όγκο κυκλοφορίας και το τοπικό κλίμα. Στο μέγιστο πρακτικό βαθμό, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τοπικά υλικά που είναι λιγότερο ακριβά και χρειάζονται λιγότερο φορτίο. Η ασφαλής απόρριψη των πολλών βιομηχανικών απορριμμάτων που δημιουργούνται στις μέρες μας είναι μείζον ζήτημα. Δεδομένου ότι πολλά από αυτά τα υλικά είναι μη βιοαποδομήσιμα, μολύνουν το οικοσύστημα γύρω. Τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν πρόσφατα χρησιμοποιηθεί σε υπανάπτυκτες χώρες για την κατασκευή δρόμων. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται στην οδοποιία ανάλογα με τεχνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους. Είναι κρίσιμο να διερευνηθεί σωστά η πιθανή χρήση αυτών των υλικών λόγω της έλλειψης συμβατικών οδικών υλικών και ανησυχιών για την προστασία του περιβάλλοντος. Για την κατασκευή δρόμων, τα παραδοσιακά υλικά περιλαμβάνουν χώμα, πέτρινα αδρανή, άμμο, ασφαλτο, τσιμέντο κ.λπ. Οι φυσικοί πόροι

είναι εξαντλητικοί. ως εκ τούτου η διαθεσιμότητά τους μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, το κόστος απόκτησης φυσικών πόρων υψηλής ποιότητας αυξάνεται. Οι επιστήμονες αναζητούν υποκατάστατους πόρους για την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων ως αποτέλεσμα αυτής της ανησυχίας, και μια τέτοια κατηγορία είναι τα βιομηχανικά απόβλητα. Τα ζητήματα ρύπανσης και διάθεσης θα μπορούσαν να επιλυθούν εν μέρει εάν αυτά τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων. Αυτά τα στερεά απόβλητα έχουν καταλάβει πολλά στρέμματα γης κοντά σε εργοστάσια σε όλη τη χώρα, καθώς δεν υπάρχουν άλλα μέρη για να πάνε (Mishra, 2015).

Η κατασκευή οδικών έργων περιλαμβάνει μια πολύπλοκη και λεπτομερή διαδικασία που απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και εκτέλεση. Το πρώτο βήμα για την κατασκευή ενός οδικού έργου είναι να προσδιοριστεί η ανάγκη. Αυτό περιλαμβάνει τη διεξαγωγή μελετών σκοπιμότητας για τον προσδιορισμό των πιθανών οφελών και δαπανών από την κατασκευή του δρόμου. Σε αυτό το στάδιο λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως: ο όγκος της κυκλοφορίας, το έδαφος και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μόλις διαπιστωθεί η ανάγκη για το δρόμο, το επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός του οδικού έργου. Αυτό περιλαμβάνει την αποτύπωση της περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία, τις συνθήκες του εδάφους και την υπάρχουσα υποδομή. Μηχανικοί και αρχιτέκτονες συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα λεπτομερές σχέδιο που περιγράφει τη χάραξη, το πλάτος και τα υλικά του δρόμου που θα χρησιμοποιηθούν (Pienaar, 2014).



Εικόνα 2 Ασφαλτόστρωση οδοστρώματος (Πηγή: <https://gobhma.gr>)

Μετά το στάδιο του σχεδιασμού, ξεκινά η κατασκευή του οδικού έργου. Το πρώτο βήμα είναι ο καθαρισμός της γης και η προετοιμασία του θεμελίου. Αυτό περιλαμβάνει την

αφαίρεση εμποδίων όπως δέντρα, βράχοι και βλάστηση. Το επόμενο βήμα είναι η βαθμολόγηση, όπου το έδαφος ισοπεδώνεται και σημειώνεται η χάραξη του δρόμου. Αυτή η διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση μιας λείας και σταθερής επιφάνειας του δρόμου.

Μόλις προετοιμαστεί το θεμέλιο, η ομάδα κατασκευής αρχίζει να τοποθετεί τις βασικές στρώσεις του δρόμου. Αυτό περιλαμβάνει τη συμπύκνωση στρώσεων χαλικιού, θρυμματισμένης πέτρας και άμμου. Αυτές οι στρώσεις παρέχουν μια σταθερή βάση για το δρόμο και βοηθούν στην αποστράγγιση. Η τελική στρώση είναι η ασφαλτος ή το σκυρόδεμα, το οποίο τοποθετείται και συμπυκνώνεται για να δημιουργήσει μια λεία και ανθεκτική επιφάνεια του δρόμου.

Η κατασκευή οδικών έργων περιλαμβάνει, επίσης, την εγκατάσταση εξαρτημάτων όπως αποχετευτικά συστήματα, οχετούς και γέφυρες. Αυτές οι κατασκευές συμβάλλουν στη διαχείριση της ροής του νερού και στην πρόληψη της διάβρωσης, διασφαλίζοντας τη μακροζωία του δρόμου. Ένα από τα κύρια οφέλη των έργων οδοποιίας είναι η βελτίωση των μεταφορών. Με καλά κατασκευασμένους δρόμους, οι άνθρωποι έχουν καλύτερη πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες όπως η υγειονομική περίθαλψη, η εκπαίδευση και οι ευκαιρίες απασχόλησης. Διευκολύνει, επίσης, τη διακίνηση αγαθών, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική ανάπτυξη. Η κατασκευή δρόμων οδηγεί επίσης στην ανάπτυξη νέων επιχειρήσεων κατά μήκος του δρόμου, δημιουργώντας ευκαιρίες απασχόλησης και ενισχύοντας την τοπική οικονομία (Pienaar, 2014).

Εκτός από τα οικονομικά οφέλη, τα οδικά έργα έχουν επίσης θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Ο σωστός σχεδιασμός και η υλοποίηση οδικών έργων μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις στους φυσικούς οικοτόπους και τα οικοσυστήματα. Για παράδειγμα, η κατασκευή γεφυρών αντί να γεμίζει υδροτόπους μπορεί να διατηρήσει τους βιότοπους της άγριας ζωής και να αποτρέψει τις πλημμύρες. Επιπλέον, η κατασκευή οδικών έργων έχει και κοινωνικά οφέλη. Βελτιώνει τη συνδεσιμότητα και μειώνει τον χρόνο ταξιδιού, διευκολύνοντας τους ανθρώπους να επισκέπτονται την οικογένεια και τους φίλους τους. Ενισχύει επίσης την ασφάλεια, καθώς οι καλά κατασκευασμένοι δρόμοι με σωστή σήμανση και φωτισμό μειώνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων (Kulikov et al., 2023).

Έτσι λοιπόν, η κατασκευή οδικών έργων είναι μια κρίσιμη πτυχή της ανάπτυξης των υποδομών. Απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, σχεδιασμό και εκτέλεση για τη δημιουργία ασφαλών, ανθεκτικών και αποτελεσματικών οδικών δικτύων. Τα οδικά έργα έχουν πολλά οφέλη, συμπεριλαμβανομένων βελτιωμένων μεταφορών, οικονομικής ανάπτυξης και κοινωνικών και περιβαλλοντικών οφελών (Mohamad, 2013). Ως εκ τούτου, οι κυβερνήσεις και οι κοινότητες θα πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στις επενδύσεις στην κατασκευή δρόμων για την προώθηση της προόδου και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής για όλους.

Οι τεχνικές οδοποιίας αναβαθμίζονται διαρκώς και προτείνεται η χρήση νέων και εναλλακτικών υλικών καθώς και σύγχρονου εξοπλισμού για όλους τους τύπους δρόμων. Είναι λογικό να δούμε ότι ο σκοπός της οδοποιίας είναι να παρέχει μια σταθερή,

ανθεκτική και ομοιόμορφη επιφάνεια οδοστρώματος, η οποία θα μπορούσε να αντέξει τις καταπονήσεις που προκαλούνται λόγω της κυκλοφορίας και των κλιματικών συνθηκών. Οι τεχνικές κατασκευής αγροτικών δρόμων θα μπορούσαν να ταξινομηθούν ευρέως ως: (i) Συμβατικές, (ii) Μηχανοποιημένες και (iii) Ενδιάμεσες. Εφόσον οι αγροτικοί δρόμοι πρέπει να θεωρούνται μηχανολογικά πλεονεκτήματα, απαιτείται να είναι κατάλληλα σχεδιασμένοι και κατασκευασμένοι με υψηλή ποιότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη σωστή χρήση εξοπλισμού υψηλής τεχνολογίας για μαζική κατασκευή οδικών έργων. Η τρέχουσα πρακτική κατασκευής και συντήρησης αγροτικών δρόμων εξακολουθεί να είναι παραδοσιακή. Αν και υπάρχει αυξανόμενη ευαισθητοποίηση σχετικά με την ανάγκη μεγιστοποίησης της χρήσης των τοπικά διαθέσιμων υλικών, την υιοθέτηση τεχνικών σταθεροποίησης του εδάφους και τη συνάφεια των σφραγισμένων χωματόδρομων για συνθήκες κυκλοφορίας χαμηλού όγκου, οι πρακτικές κόστους-αποτελεσματικότητας δεν έχουν ακόμη ευνοηθεί στο μεγαλύτερο μέρος της αγροτικής οδοποιίας (Mishra, 2015).

Η ανάπτυξη εξοπλισμού/εγκαταστάσεως κατά και μεγέθυνση είναι η ίδια που χρησιμοποιείται για οδούς ανώτερης κατηγορίας. Το κράτος μπορεί να έχει μηχανισμό αλληλεπίδρασης με χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, εργολάβους και κατασκευαστές εξοπλισμού για να διευκολύνει τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων μηχανημάτων για την κατασκευή και τη συντήρηση αγροτικών δρόμων. Καθώς ο αγροτικός πληθυσμός αυξάνεται τα επόμενα χρόνια, πρέπει να δημιουργηθούν ευκαιρίες απασχόλησης εκτός αγροκτημάτων για να περιοριστεί η μετανάστευση του αγροτικού πληθυσμού προς τις πόλεις και τις πόλεις. Η κατασκευή και συντήρηση οδών με χρήση τεχνολογίας βασισμένης στην εργασία υπόσχεται να είναι μια καλή οδός για τη δημιουργία δυναμικού απασχόλησης με ταυτόχρονη δημιουργία παραγωγικών περιουσιακών στοιχείων. Πολλές από τις εργασίες που εμπλέκονται στην αγροτική οδοποιία, όπως εκσκαφές, κατασκευή αναχωμάτων, σταθεροποίηση εδάφους, επιφανειακή επίστρωση, εργασίες συντήρησης, όπως το κόψιμο των βέρων και η κοπή χόρτου και ζιζανίων, μπορούν εύκολα να πραγματοποιηθούν με χειροκίνητα μέσα με υποστήριξη ελαφρού εξοπλισμού. Η παροχή καλύτερων εργαλείων για την ενίσχυση της παραγωγικότητας της εργασίας και η κατάρτιση του εργατικού δυναμικού θα βοηθήσουν στη διαδικασία. Η διεθνής εμπειρία από την Κίνα και αρκετές αφρικανικές χώρες δείχνει ότι οι περισσότερες από τις εργασίες που αφορούν την κατασκευή και τη συντήρηση των Αγροτικών Δρόμων μπορούν να εκτελεστούν αποτελεσματικά από εργατικό δυναμικό, με τη βοήθεια απλών εργαλείων για την αύξηση της παραγωγικότητάς τους (Mishra, 2015).

2.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Οι δρόμοι φθείρονται με την πάροδο του χρόνου, κυρίως ως αποτέλεσμα του νερού και της κυκλοφορίας. Το νερό μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση του οδοστρώματος, του ώμου και της βάσης του δρόμου, καθώς και ζημιά στις φυσικές δομές του δρόμου. Αυτό συμβαίνει είτε μέσω της διάβρωσης, όπου το υλικό του δρόμου ξεπλένεται και υπονομεύονται οι φυσικές δομές, είτε μέσω της στασιμότητας, όπου ο δρόμος και η βάση

των φυσικών δομών εξασθενούν υπό την επίδραση του νερού. Η κυκλοφορία προκαλεί, επίσης, φθορά του δρόμου λόγω απώλειας υλικού επιφάνειας και παραμόρφωσης του οδοστρώματος από ελαστικά οχημάτων, με αποτέλεσμα η βάση του δρόμου να εκτίθεται και να οδηγεί σε αυλάκια, λακκούβες και αυλακώσεις. Αυτές οι δύο αιτίες φθοράς του δρόμου τείνουν να αλληλοεπιδεινώνονται, καθώς ένας δρόμος που έχει αποδυναμωθεί από το νερό είναι πιο επιρρεπής σε ζημιές από τα οχήματα, ενώ η παραμόρφωση του δρόμου από τα οχήματα μπορεί να εμποδίσει το νερό να ρέει με ασφάλεια μακριά από το δρόμο, με αποτέλεσμα αυξημένη διάβρωση και στασιμότητα του νερού (Pienaar, 2014).



Εικόνα 3 Υποχώρηση δρόμου (Πηγή: <https://www.protothema.gr>)

Η φθορά του δρόμου είναι γενικά αργή στην αρχή και δεν είναι πολύ ορατή, λαμβάνει τη μορφή φθοράς και μικρής ζημιάς στο οδόστρωμα και στο σύστημα αποχέτευσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης ενδέχεται να μην πραγματοποιηθεί σωστή συντήρηση και ως αποτέλεσμα ο δρόμος να υποστεί αστοχίες. Μόλις ο δρόμος υποβαθμιστεί σε καλή κατάσταση, η φθορά τείνει να επιταχυνθεί καθώς η βάση του δρόμου και τα θεμέλια των φυσικών οδικών κατασκευών αρχίζουν να επηρεάζονται. Αυτό οφείλεται ιδιαίτερα στο νερό, το οποίο δεν ρέει πλέον με ασφάλεια μακριά από το δρόμο ως αποτέλεσμα της παραμόρφωσης του δρόμου και της βλάβης στο σύστημα αποχέτευσης. Το νερό προκαλεί αστοχίες μέσω της διάβρωσης ή παραμένει στο δρόμο και τον εξασθενεί, με αποτέλεσμα να προκαλούνται μεγαλύτερες ζημιές από τα οχήματα. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η ζημιά στον δρόμο εξαπλώνεται γρήγορα, προκαλώντας μεγαλύτερους χρόνους ταξιδιού και περισσότερες ζημιές στα οχήματα, έως ότου μπορεί να λεχθεί ότι ολόκληρος ο δρόμος είναι σε κακή κατάσταση. Καθώς η κατάσταση του δρόμου γίνεται πολύ κακή, όλο και λιγότερα οχήματα χρησιμοποιούν τον δρόμο έως ότου η κυκλοφορία και η μεταφορά σταματήσουν εντελώς όταν ο δρόμος δεν είναι πλέον μηχανοκίνητος (Sackey et al., 2023).



Εικόνα 4 Καθίζηση δρόμου (Πηγή: <https://www.patrasevents.gr>)

Η κατάσταση του δρόμου μπορεί να βελτιωθεί με τη διενέργεια διορθωτικών εργασιών συντήρησης. Γίνονται επισκευές στο οδόστρωμα και στο ώμο, στο αποχετευτικό σύστημα και στις υπόλοιπες φυσικές οδικές κατασκευές. Η βελτιωμένη κατάσταση του δρόμου, γενικά, έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερους χρόνους και κόστος μετακίνησης και μείωση της ταχύτητας φθοράς του δρόμου καθώς η διαδικασία φθοράς ξεκινά από την αρχή. Όσο μεγαλύτερη η φθορά του έργου τόσο πιο εντατικές και δαπανηρές θα είναι οι επισκευές. Για παράδειγμα, οι διορθωτικές δραστηριότητες συντήρησης όταν ο δρόμος είναι ακόμα σε καλή ή καλή κατάσταση μπορεί να συνεπάγονται επιδιόρθωση καθιζήσεων με τη μορφή ορύγματος, βαθμολόγηση του οδοστρώματος και μικρές επισκευές στο σύστημα αποχέτευσης και σε άλλες οδικές κατασκευές, ενώ πραγματοποιούνται διορθωτικές εργασίες συντήρησης όταν ο δρόμος είναι ήδη σε κακή κατάσταση είναι πιθανό να συνεπάγονται πλήρη αναμόρφωση και αποκατάσταση μεγάλων τμημάτων δρόμου και πιθανή αντικατάσταση αποχετεύσεων και άλλων κατασκευών. Οι διορθωτικές εργασίες συντήρησης πρέπει να εκτελούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Αν και η συντήρηση που πραγματοποιείται όταν ο δρόμος είναι ακόμα σε καλή έως δίκαιη κατάσταση θα πρέπει να επαναλαμβάνεται συχνότερα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο συνολικό κόστος συντήρησης και καλύτερες συνθήκες του δρόμου από την αναμονή έως ότου ο δρόμος υποβαθμιστεί σε κακή κατάσταση. Εκτός από τις διορθωτικές εργασίες συντήρησης όταν ο δρόμος έχει ήδη υποβαθμιστεί, είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν δραστηριότητες προληπτικής συντήρησης με στόχο την επιβράδυνση της φθοράς του δρόμου. Τέτοιες δραστηριότητες προληπτικής συντήρησης εκτελούνται

συχνά σε συνεχή βάση και συνίστανται κυρίως σε δραστηριότητες καθαρισμού που στοχεύουν στην αποφυγή ζημιών στο δρόμο, αλλά περιλαμβάνουν επίσης μικρές επισκευές στο οδόστρωμα και στις δομές του δρόμου προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση πιο σοβαρών ζημιών. Ως αποτέλεσμα τέτοιων δραστηριοτήτων προληπτικής συντήρησης, η φθορά του δρόμου επιβραδύνεται σημαντικά. Κατά συνέπεια, απαιτούνται διορθωτικές δραστηριότητες συντήρησης λιγότερο συχνά, οδηγώντας σε μειωμένο συνολικό κόστος συντήρησης (Mohamad, 2013).

Επιπλέον, ο δρόμος παραμένει σε καλύτερη κατάσταση, με αποτέλεσμα χαμηλότερους χρόνους μετακίνησης και χαμηλότερο κόστος χρήσης του δρόμου. Το πρόσθετο κόστος τέτοιων δραστηριοτήτων συνεχούς προληπτικής συντήρησης αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση κόστους ως αποτέλεσμα της μειωμένης ανάγκης για δαπανηρές διορθωτικές εργασίες συντήρησης. Υπάρχει μια τάση να επικεντρώνονται οι δραστηριότητες συντήρησης σε εκείνους τους δρόμους που είναι σε κακή κατάσταση, επαναφέροντάς τους έτσι σε καλύτερη κατάσταση μέσω περιοδικής διορθωτικής συντήρησης που μειώνει το κόστος μετακίνησης και τον χρόνο. Συχνά πιστεύεται ότι αυτή η στρατηγική θα έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στην κατάσταση του αγροτικού οδικού δικτύου, καθώς αντιμετωπίζονται οι δρόμοι με μεγάλα προβλήματα. Ωστόσο, αυτή η άποψη δεν λαμβάνει υπόψη ότι οι συνθήκες του δρόμου αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου και ότι οι μεγαλύτερες επενδύσεις που απαιτούνται για δρόμους σε κακή κατάσταση οδηγούν σε μικρότερο μήκος δρόμου. Ως αποτέλεσμα αυτής της περιορισμένης κάλυψης συντήρησης, οι δρόμοι σε καλή έως δίκαιη κατάσταση παραμένουν χωρίς επίβλεψη και φθείρονται ταχύτερα.

Από οικονομική άποψη, η καλύτερη επιλογή είναι να δοθεί προτεραιότητα στις επενδύσεις για τη συντήρηση δρόμων που είναι σε καλή έως δίκαιη κατάσταση, εφαρμόζοντας δραστηριότητες προληπτικής συντήρησης και επιβραδύνοντας τη φθορά. Αυτό τείνει να περιλαμβάνει λιγότερο δαπανηρές δραστηριότητες που επιτρέπουν τη διατήρηση μεγαλύτερου μήκους δρόμων, με αποτέλεσμα μεγαλύτερου μήκους δρόμων να είναι σε καλή έως δίκαιη κατάσταση στο τέλος της παρέμβασης. Τα κεφάλαια που απομένουν μετά την επένδυση στη διατήρηση των δρόμων σε καλή έως δίκαιη κατάσταση μπορούν να δαπανηθούν για την επισκευή δρόμων σε κακή κατάσταση, η οποία μπορεί στη συνέχεια να εισέλθει στο σύστημα προληπτικής συντήρησης. Αυτή είναι η κύρια διάκριση μεταξύ ανακατασκευής και συντήρησης, ότι ενώ για την ανακατασκευή είναι λογικό να εστιάσουμε σε δρόμους σε κακή έως πολύ κακή κατάσταση, για τη συντήρηση η εστίαση πρέπει να βρίσκεται σε δρόμους που δεν έχουν ακόμη υποβαθμιστεί και είναι ακόμη σε κατάσταση συντήρησης (Pienaar, 2014).

Οι εργασίες συντήρησης δρόμων ταξινομούνται σε τρεις τύπους: δηλαδή, σε τακτικές, περιοδικές και έκτακτες. Η τακτική συντήρηση βασίζεται στην τακτική (καθημερινή) επιθεώρηση της κατάστασης του οδοστρώματος, των πρανών κοπής και πλήρωσης, αποχέτευσης, γεφυρών και άλλων κατασκευών και εγκαταστάσεων για την παρακολούθηση τυχόν ελαττωμάτων και ζημιών. Τα αποτελέσματα της τακτικής επιθεώρησης θα αναφέρονται αμέσως στο γραφείο λειτουργίας για επακόλουθες εργασίες

συντήρησης που θα εκτελούνται είτε συνεχώς κατά τη διάρκεια ενός έτους είτε σε ορισμένα διαστήματα κάθε χρόνο.

Ο όρος «προληπτική συντήρηση» αναφέρεται σε επισκευή που αντιμετωπίζει αιτίες φθοράς που οδηγούν στην ανάγκη για δαπανηρές εργασίες αποκατάστασης στο μέλλον. Η περιοδική συντήρηση βασίζεται σε λεπτομερή επιθεώρηση που εκτελείται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, όπως εποχιακά ή ετήσια ανάλογα με τον τύπο και το είδος των εγκαταστάσεων. Περιλαμβάνει τον έλεγχο και τη δοκιμή των συνθηκών διαφόρων κατασκευών και εγκαταστάσεων. Τα ελαττώματα και οι ζημιές θα αναφέρονται για επισκευές ή διορθώσεις. Θα αναπτυχθούν σχέδια συντήρησης που θα καλύπτουν αρκετά χρόνια. Η συντήρηση έκτακτης ανάγκης περιλαμβάνει βασικά εργασίες για την αποκατάσταση των εγκαταστάσεων που σχετίζονται με το οδικό δίκτυο στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας τους αφού υποστούν ζημιές από τροχαία ατυχήματα ή φυσικά αίτια. Είναι αδύνατο να προβλεφθεί η συχνότητα, αλλά μια τέτοια συντήρηση απαιτεί άμεση δράση (Sackey et al., 2023).

Για δραστηριότητες συνήθους συντήρησης, απαιτείται ένας κατάλληλος συνδυασμός εργασίας και εξοπλισμού για την παροχή έργων επαρκούς ποιότητας με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Σε μια «βασισμένη στην εργασία» οικονομία, ο στόχος είναι να εφαρμοστεί ένα μείγμα εργασίας/εξοπλισμού που δίνει προτεραιότητα στην εργασία, αλλά το συμπληρώνει με ελαφρύ/ενδιάμεσο εξοπλισμό όπου είναι απαραίτητο για λόγους ποιότητας ή κόστους. Ο όρος «βασισμένη στην εργασία» υποδηλώνει επομένως ότι η ευέλικτη και βέλτιστη χρήση του εργατικού δυναμικού ως κυρίαρχου πόρου γίνεται στο βαθμό που διασφαλίζονται πτυχές κόστους-αποτελεσματικότητας και ποιότητας. Είναι σημαντικό να γίνει διάκριση μεταξύ της βέλτιστης χρήσης της εργασίας και της μέγιστης χρήσης της εργασίας. Η τελευταία θα μπορούσε να εκφυλιστεί σε μια προσέγγιση «να κάνει δουλειά» όπου αγνοούνται οι πτυχές κόστους-αποτελεσματικότητας και ποιότητας. Η βάση του εξοπλισμού είναι το αντίθετο της εργασίας, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας γίνεται από εξοπλισμό αντικατάστασης εργατικού δυναμικού, που υποστηρίζεται από ένα μικρό εργατικό δυναμικό (Kulikov et al., 2023).

Η ποιότητα συντήρησης εξαρτάται από την επίβλεψη των εργασιών συντήρησης. Ακολουθεί η κατάσταση σε ό,τι αφορά στην αποτελεσματικότητα της επίβλεψης, την ποιότητα της εργασίας και την κατανομή εργασιών: i) Οι επιβλέποντες μηχανικοί είναι υπεύθυνοι για τη συντήρηση δρόμων και οδικών εγκαταστάσεων σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Είναι σε θέση να υλοποιούν ή να εκτελούν εργασίες συντήρησης, να επιβλέπουν και να ελέγχουν την ποιότητα και την πρόοδό τους και να πιστοποιούν την ολοκλήρωση των εργασιών χρησιμοποιώντας σχέδια, φωτογραφίες και άλλα απαραίτητα έγγραφα. ii) Τα έξοδα συντήρησης δρόμων και οδικών εγκαταστάσεων επιστρέφονται σύμφωνα με τις πραγματικές εργασίες που εκτελούνται με βάση το προκαταρκτικό σχέδιο επισκευής και συντήρησης/σχέδιο και το εκτιμώμενο κόστος του. iii) Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι κατεστραμμένοι δρόμοι αποτελούν κύρια αιτία τροχαίων ατυχημάτων, η Κυβέρνηση έχει την πολιτική πρόληψης τροχαίων ατυχημάτων και εφάρμοσε το πρόγραμμα λήψης των απαραίτητων μέτρων για τη συντήρηση των εθνικών οδών. Το υπάρχον σύστημα

συντήρησης οδών θα είναι σε θέση να ανταποκριθεί στη σταδιακή ζήτηση που προκαλείται από την κυβερνητική πολιτική για τη βελτίωση των δρόμων, υπό την προϋπόθεση ότι θα αυξηθούν τα κονδύλια και θα αναπτυχθούν ειδικευμένοι χειριστές (Mohamad, 2013).

2.4 ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Τα οδικά έργα αποτελούν κρίσιμο μέρος των υποδομών κάθε χώρας και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξή της. Αυτά τα έργα περιλαμβάνουν την κατασκευή, συντήρηση και βελτίωση δρόμων, αυτοκινητοδρόμων και άλλων δικτύων μεταφορών. Ωστόσο, η ωριμότητα των οδικών έργων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που μπορεί να καθορίσει την επιτυχία και τον αντίκτυπό τους σε μια κοινότητα. Η ωριμότητα, σε αυτό το πλαίσιο, αναφέρεται στο επίπεδο ανάπτυξης και βιωσιμότητας των οδικών έργων. Είναι ένα μέτρο του πόσο καλά έχει σχεδιαστεί, εκτελεστεί και διατηρηθεί ένα έργο με την πάροδο του χρόνου. Με πιο απλά λόγια, είναι η ικανότητα ενός οδικού έργου να ανταποκρίνεται στον προορισμό του και να αντέχει στη δοκιμασία του χρόνου. Ένα ώριμο οδικό έργο είναι εκείνο που έχει αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές του και έχει θετικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη μιας κοινότητας (Sackey et al., 2023).

Η ωριμότητα των οδικών έργων είναι ζωτικής σημασίας για διάφορους λόγους. Πρώτον, διασφαλίζει ότι το έργο ολοκληρώνεται εγκαίρως και εντός του προϋπολογισμού που έχει διατεθεί. Ένα ώριμο οδικό έργο είναι αυτό που έχει σχεδιαστεί και εκτελεστεί σωστά, με ελάχιστες καθυστερήσεις ή υπερβάσεις κόστους. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας, καθώς επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση των πόρων και εμποδίζει το έργο να γίνει οικονομικό βάρος για την κυβέρνηση. Δεύτερον, η ωριμότητα στα οδικά έργα διασφαλίζει την ασφάλεια των χρηστών του δρόμου. Ένας καλά συντηρημένος δρόμος είναι λιγότερο επιρρεπής σε ατυχήματα, μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμού ή απώλειας ζωής. Παρέχει επίσης μια ομαλή και άνετη εμπειρία οδήγησης, μειώνοντας την κούραση και το άγχος για τους μετακινούμενους. Επιπλέον, ένα ώριμο οδικό έργο περιλαμβάνει την εφαρμογή μέτρων ασφαλείας όπως όρια ταχύτητας, σήματα κυκλοφορίας και διαβάσεις πεζών, καθιστώντας το ασφαλέστερο για όλους τους χρήστες (Kulikov et al., 2023).

Ακόμη, η ωριμότητα των οδικών έργων συμβάλλει και στην οικονομική ανάπτυξη μιας κοινότητας. Ένα καλά κατασκευασμένο και συντηρημένο οδικό δίκτυο αυξάνει την προσβασιμότητα, διευκολύνοντας τους ανθρώπους να ταξιδεύουν για δουλειά ή επαγγελματικούς λόγους. Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί στην ανάπτυξη των βιομηχανιών και του εμπορίου, δημιουργώντας ευκαιρίες απασχόλησης και ενισχύοντας την τοπική οικονομία. Προσελκύει επίσης επενδύσεις και προωθεί τον τουρισμό, συμβάλλοντας περαιτέρω στην οικονομική ανάπτυξη (Kulikov et al., 2023).

Επιπλέον, ένα ώριμο οδικό έργο είναι βιώσιμο και έχει θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον υλικών και τεχνικών κατασκευής σε οδικά έργα μπορεί να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα και να προστατεύσει τους φυσικούς πόρους. Επιπλέον, τα καλά σχεδιασμένα οδικά έργα μπορούν επίσης να μειώσουν την

κυκλοφοριακή συμφόρηση, οδηγώντας σε μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των επιπέδων θορύβου. Ωστόσο, η επίτευξη ωριμότητας στα οδικά έργα δεν είναι εύκολη υπόθεση. Απαιτεί σωστό προγραμματισμό, αποτελεσματική διαχείριση και συνεχή συντήρηση. Συχνά, τα οδικά έργα αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως ανεπαρκής χρηματοδότηση, καθυστερήσεις στις εγκρίσεις και απρόβλεπτα τεχνικά ζητήματα, τα οποία μπορεί να εμποδίσουν την πρόοδό τους και να επηρεάσουν την ωριμότητά τους. Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις και να εφαρμοστούν αποτελεσματικές στρατηγικές για να διασφαλιστεί η επιτυχία και η ωριμότητα των οδικών έργων (Sackey et al., 2023).

Συμπερασματικά, η ωριμότητα των οδικών έργων είναι καθοριστική για την επιτυχία και τον αντίκτυπό τους σε μια κοινότητα. Διασφαλίζει ότι το έργο ολοκληρώνεται έγκαιρα, παρέχει μια ασφαλή και άνετη οδηγική εμπειρία, συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη και προάγει τη βιωσιμότητα. Είναι ευθύνη των κυβερνήσεων και των αρμόδιων αρχών να δώσουν προτεραιότητα στην ωριμότητα των οδικών έργων και να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για να εξασφαλίσουν τη μακροπρόθεσμη επιτυχία τους. Μόνο έτσι μπορούμε να έχουμε μια καλά συνδεδεμένη και ανεπτυγμένη κοινωνία, με δρόμους που αντέχουν στο χρόνο (Mohamad, 2013).

2.5 Η ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Η κατασκευή των οδικών έργων χαρακτηρίζεται από τη χρήση μεγάλης ποσότητας αδρανών υλικών. Η αγορά των αδρανών παίζει σημαντικό ρόλο στην Ελληνική οικονομία, καθώς αποτελεί το 45% της συνολικής εξόρυξης των ορυκτών, εκτιμώντας την σε περίπου 58 Mt ετησίως. Η παραγωγή τους στηρίζει την ελληνική οικονομία, όμως ο τρόπος εξόρυξης και παραγωγής των προκαλεί σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (αέριοι ρύποι, θόρυβος, σκόνη, αισθητική ενόχληση).

Η χρήση των εναλλακτικών, φιλικών προς το περιβάλλον, υλικών ως αντικατάσταση των φυσικών αδρανών στην κατασκευή οδικών έργων, θα πρέπει να ικανοποιεί στόχους μέσα σε πλαίσια περιβαλλοντικών, τεχνικών και οικονομικών κριτηρίων, όπως είναι :

- οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των νέων υλικών να είναι συμβατές με το περιβάλλον (να μην εμφανίζονται προβλήματα τοξικότητας ή υψηλής διαλυτότητας στο νερό)
- οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών να είναι συμβατές με τις ιδιότητες των αδρανών
- η ποσότητα των υλικών να είναι επαρκής και ο ρυθμός παραγωγής των σταθερός (ένας ρυθμός παραγωγής του παραπροϊόντος τουλάχιστον της τάξεως του 50.000 τόννοι/έτος εξασφαλίζει μία ποσότητα για ευρείας κλίμακας τεχνική εφαρμογή).
- το κόστος επεξεργασίας και μεταφοράς των υλικών στον τόπο κατασκευής, να είναι οικονομικά αποδεκτό (Reid, 2000).

2.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στον Ελλαδικό χώρο υπάρχει πλήθος υλικών, τα οποία παρουσιάζουν ενδιαφέρον για χρήση σε κατασκευές και ειδικότερα στην Οδοποιία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα εναλλακτικά και παραπροϊόντα τα οποία χρησιμοποιούνται σε μικρότερο και σε μεγαλύτερο βαθμό (Τσώχος, 2004).

Πίνακας: Εναλλακτικά υλικά και παραπροϊόντα στον ελλαδικό χώρο

α/ α	Υλικό	Πεδίο Εφαρμογής
1	Ιπτάμενη τέφρα	Επιχώματα, βάσεις – υποβάσεις, ασφαλτοσκυρόδεμα, παραγωγή τσιμέντου
2	Σκωρίες	Βάσεις – υποβάσεις, παραγωγή τσιμέντου, αντλιοσθηρές επιφάνειες οδοστρωμάτων
3	Παραπροϊόντα εξόρυξης βωξίτη (στείρα)	Επιχώματα, στεγανοποιητική στρώση, χώρων απόθεσης απορριμμάτων
4	Παραπροϊόντα λευκόλιθου	Βάσεις – υποβάσεις, άμμος κονιαμάτων ή σκυροδέματος
5	Ελαστικά οχημάτων	Ασφαλτομίγματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ

Οποιοσδήποτε τύπος απορριμμάτων είτε σε στερεή, υγρή ή αέρια κατάσταση που απελευθερώνεται από μια βιομηχανική μονάδα μπορεί συλλογικά να χαρακτηριστεί ως βιομηχανικό απόβλητο. Τα απόβλητα μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορους τύπους. Μερικά κριτήρια όπως η πηγή τους, η τοξική φύση, η ικανότητα αποδόμησης και ο τρόπος απόρριψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαδικασία ταξινόμησης. Με βάση την πηγή, τα απόβλητα ταξινομούνται σε οικιακά, βιομηχανικά, θεσμικά, γεωργικά και απόβλητα κατασκευών (Kareem et al., 2022). Με βάση τις αντιξοότητες για την ανθρώπινη υγεία, τα απόβλητα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες και συγκεκριμένα, επικίνδυνου τύπου και μη επικίνδυνου τύπου. Τα επικίνδυνα απόβλητα καλύπτουν την κατηγορία των τοξικών, ραδιενεργών, αντιδραστικών, εύφλεκτων ή διαβρωτικών στοιχείων, ενώ τα στοιχεία που ταξινομούνται στην κατηγορία εισόδου κατόπτρων μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με πολλούς παράγοντες. Αυτά τα διαφορετικά είδη βιομηχανικών αποβλήτων βρίσκουν τον προορισμό τους στη θάλασσα υποβαθμίζοντας την ποιότητα του περιβάλλοντος (Maczulak, 2010). Με βάση τις μεθόδους διάθεσης, κατηγοριοποιούνται και πάλι σε αστικά, ηλεκτρονικά, βιοϊατρικά και πυρηνικά απόβλητα. Μια άλλη κατηγορία είναι τα βιοαποδομήσιμα και μη βιοαποδομήσιμα απόβλητα με βάση την ιδιότητα αποδόμησης (Srivastava et al., 2023).

Η παγκόσμια απελευθέρωση βιομηχανικών αποβλήτων έχει διαπιστωθεί ότι ενισχύεται λόγω της εμφάνισης μεγάλου αριθμού βιομηχανιών, τόσο μικρής όσο και μεγάλης κλίμακας βιομηχανικών μονάδων που απορρίπτουν απρόσεκτα τα θανατηφόρα τοξικά απόβλητα στο έδαφος και τα υδάτινα σώματα, πιο συχνά τοξικά και επικίνδυνα. ανοιχτοί χώροι και κοντινές πηγές νερού που προκαλούν μακροχρόνια καταστροφή στη φύση μας. Στις μέρες μας, η διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων είναι το ουσιαστικό περιβαλλοντικό ζήτημα που αντιμετωπίζεται σε όλο τον κόσμο. Τα βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να είναι σε στερεά, υγρή και αέρια κατάσταση (Tharakupeedikayil et al., 2023).

Ως εκ τούτου, πρέπει να υιοθετηθούν διαφορετικές μέθοδοι για την επεξεργασία και τη διάθεση. Γενικά, τα απόβλητα από τις βιομηχανίες μπορεί να είναι δύο τύπων, δηλαδή επικίνδυνα και μη επικίνδυνα. Τα μη επικίνδυνα απόβλητα περιλαμβάνουν κυρίως χαρτόνι, πλαστικό, μέταλλα, γυαλί, πέτρες, οργανικά απόβλητα κ.λπ. που δεν βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Αντίθετα, τα επικίνδυνα απόβλητα μπορεί να είναι διαβρωτικά, τοξικά και εύφλεκτα προκαλώντας σοβαρά προβλήματα υγείας και περιβαλλοντική ρύπανση. Σχεδόν σε όλες τις χώρες, οι κολοσσιαίες γεννήτριες hazmat είναι βιομηχανίες και οι κύριοι υπεύθυνοι τομείς για αυτό είναι η βιομηχανία χαρτιού και ξύλου, τα χημικά εργοστάσια, η φαρμακευτική παραγωγή, η παραγωγή πετρελαίου, η εξόρυξη και η βυθοκόρηση υδάτινων σωμάτων (Millati et al., 2019).

3.2 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Η βιομηχανική ανάπτυξη δεν έρχεται χωρίς κόστος. Προκαλεί σοβαρές αρνητικές συνέπειες για την υγεία και το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της περιβαλλοντικής ρύπανσης, της υποβάθμισης και της υποβάθμισης. Η ποσότητα, το είδος και η σύνθεση των αποβλήτων καθορίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό τα απόβλητα να ταξινομούνται σωστά, καθώς αυτό θα ενισχύσει πάρα πολύ τα προγράμματα τόσο προληπτικών όσο και αντιδραστικών παρεμβάσεων (Ruba et al., 2021).

Οι φυσικοί πόροι επηρεάζονται σημαντικά από τα βιομηχανικά απόβλητα που ευθύνονται για τη ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους μαζί με τη διαταραχή της υδάτινης και δασικής οικολογίας. Η ποιότητα του αέρα επιδεινώνεται λόγω της απελευθέρωσης υπολειμμάτων, στερεών αποβλήτων, αερίων εκπομπών και σωματιδίων από τη βιομηχανία. Η μόλυνση από βαρέα μέταλλα έχει ουσιαστική επίδραση στα υδατικά συστήματα, αλλάζοντας τις ιδιότητες του νερού και μειώνοντας την ποιότητα του νερού. Τα βαρέα μεταλλοειδή, τα στερεά απόβλητα και η περιεκτικότητα σε μέταλλα μολύνουν τις ιδιότητες του εδάφους, οδηγώντας σε σημαντική μείωση της ποιότητας του εδάφους. Οι βιομηχανικοί ρύποι είναι υπεύθυνοι για τον υδάτινο ευτροφισμό και την οξίνιση, τη διαταραχή της αναπτυξιακής διαδικασίας, τη μικροβιακή μόλυνση, την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, τη διαταραγμένη θαλάσσια οικολογία και την υδάτινη βιοποικιλότητα. Τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν τοξικολογική επίδραση στους οργανισμούς, καταστρέφουν την οικολογία των δασών και αλλάζουν τη βιοχημεία των δασικών περιοχών. Η εκβιομηχάνιση είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη και τη σταθερότητα μιας χώρας, αλλά πρέπει να επιτευχθεί με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο. Απαιτούνται απεγνωσμένα πρωτοβουλίες για να διασφαλιστεί ότι η εκβιομηχάνιση είναι βιώσιμη, τόσο όσον αφορά τον μετριασμό της περιβαλλοντικής ζημίας όσο και την προώθηση πιο περιβαλλοντικά υπεύθυνων βιομηχανιών (Gaur et al., 2020).

3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΑ

3.3.1 ΕΛΑΣΤΙΚΑ (WASTE TYRES)

Τα ελαστικά είναι φιλικά προς το χρήστη. Αλλά, δεν είναι φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς είναι μη βιοαποικοδομήσιμα. Η πρακτική της απόρριψης απορριμμάτων ελαστικών κάτω από πλαστικά σε χώρους υγειονομικής ταφής και ανοιχτής καύσης γίνεται απαράδεκτη λόγω της ταχείας εξάντλησης των διαθέσιμων χώρων υγειονομικής ταφής και του καθαρού περιβάλλοντος αντίστοιχα. Το συμβατικό ασφαλτικό μίγμα περιλαμβάνει αδρανή πέτρας και 3% έως 5% άσφαλτο κατά βάρος του αδρανούς. Το καουτσούκ και τα πλαστικά τύπου σκραπ μπορούν να ενσωματωθούν στην άσφαλτο, που συχνά συντομεύεται ως τροποποιημένη άσφαλτος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοκκοποιημένο

ή αλεσμένο καουτσούκ ή θρυμματισμένο καουτσούκ και πλαστικά ως τμήμα του αδρανούς λίθου. Η χρήση απορριμμάτων σε ζεστά ασφαλτούχα μείγματα βελτιώνει την απόδοση του οδοστρώματος, προστατεύει το περιβάλλον και παρέχει χαμηλού κόστους και πιο ήσυχους δρόμους. Τα απορρίμματα πλαστικών και ελαστικών τεμαχίζονται και αναμιγνύονται με την άσφαλτο (Pirakasam et al., 2022). Δημιουργεί τον διαλυτικό σκοπό της πίσσας και κάνει τον δρόμο να διατηρεί την προσαρμοστικότητά του εν μέσω χειμώνων, φέρνοντας τη μεγάλη διάρκεια ζωής του. Η χρήση των κατεστραμμένων πλαστικών είναι ένας συμπαγής «ειδικός περιορισμός» για την παραγωγή πίσσας που η πίσσα συνεχίζει να λειτουργεί για πολύ. Με την ανάμειξη πλαστικού και καουτσούκ με άσφαλτο, η ικανότητα της πίσσας να αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα πλαστικά απορρίμματα και τα απόβλητα καουτσούκ αναμιγνύονται με άσφαλτο σε συγκεκριμένη αναλογία (Tladi et al., 2023).



Εικόνα 5 Ελαστικά παραπροϊόντα (Πηγή: Pirakasam et al., 2022).



Εικόνα 6 Ασφαλτόστρωση δρόμου χρησιμοποιώντας απόβλητα ελαστικών (Πηγή: Pirakasam et al., 2022).

3.3.2 ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ (FLY ASH)

Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένα λεπτό υπόλειμμα που αποτελείται από άκαυστα στερεά σωματίδια αιωρούμενα στα καυσαέρια. Κατά συνέπεια, ταξινομείται σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση τις ομοιότητες στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα ποζολανικό υλικό που περιέχει πυριτικές και αργιλώδεις συνθέσεις ως κύρια συστατικά μαζί με μικρές αναλογίες άλλων υλικών. Είναι ικανό να σχηματίσει μια ένωση με δεσμευτικές ιδιότητες όταν αναμιγνύεται με νερό και ασβέστη.

Λόγω των ευνοϊκών φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων της ιπτάμενης τέφρας (FA), αρκετοί ερευνητές στο παρελθόν έχουν προτείνει πιθανές εφαρμογές της, π.χ. στην κατασκευή τσιμέντου και τούβλων, αντικατάσταση τσιμέντου σε κονίαμα και σκυρόδεμα, κατασκευή δρόμων και επιχωμάτων κλπ (Havanagi et al., 2013).

Επίσης, η ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιείται ευρέως για διάφορες εφαρμογές πολιτικού μηχανικού, δηλαδή τούβλα ιπτάμενης τέφρας, κοίλους τσιμεντόλιθους, πλακάκια, οδοποιίες και διάφορους τύπους υλικών σκυροδέματος. Οι κύριες περιοχές που επιλέχθηκαν για τις εφαρμογές μεγάλης κλίμακας της ιπτάμενης τέφρας είναι η κατασκευή δρόμων και αναχωμάτων. Υπάρχουν αρκετοί άλλοι σημαντικοί φιλικόι προς το περιβάλλον και βιώσιμοι λόγοι για τη χρήση ιπτάμενης τέφρας κατά προτίμηση έναντι των συμβατικών υλικών, μειώνοντας έτσι τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η ιπτάμενη τέφρα είναι ελαφριά σε βάρος σε σύγκριση με άλλα συμβατικά υλικά, με ξηρό μοναδιαίο βάρος μεταξύ 10,9 και 14,10 kN/m³, εξοικονομεί υλικά, μειώνει το κόστος μεταφοράς και την καθίζηση των εδαφών (Sahu et al., 2022).

Το μοναδικό σφαιρικό σχήμα και η κατανομή μεγέθους σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας το καθιστούν καλό ορυκτό πληρωτικό σε εφαρμογές θερμής ασφάλτου (HMA) και βελτιώνει τη ρευστότητα του ρέοντος γεμίσματος και του ενέματος. Η συνοχή και η αφθονία της ιπτάμενης τέφρας σε πολλές περιοχές παρουσιάζει μοναδικές ευκαιρίες χρήσης σε δομικά γεμίσματα και άλλες εφαρμογές αυτοκινητοδρόμων. Υπάρχουν τρεις τύποι ιπτάμενης τέφρας, δηλαδή, ιπτάμενη τέφρα, τέφρα βυθού και τέφρα λιμνών. Η ιπτάμενη τέφρα και η τέφρα βυθού όταν μεταφέρονται και απορρίπτονται στη λίμνη ονομάζονται τέφρα λίμνης (Sahu et al., 2022).

Ευνοϊκές ιδιότητες της ιπτάμενης τέφρας είναι οι ακόλουθες:

- Μικρό βάρος, μικρότερη πίεση στο υπέδαφος
- Υψηλή διατμητική αντοχή
- Οι «χονδρότερες» στάχτες έχουν υψηλή τιμή CBR
- Ποζολανική φύση, πρόσθετη αντοχή λόγω αυτοσκλήρυνσης
- Επιδέχεται σταθεροποίηση
- Ευκολία συμπίεσης
- Υψηλή διαπερατότητα

- Μη πλαστικό
- Ταχύτερος ρυθμός ενοποίησης και χαμηλή συμπιεστότητα
- Μπορεί να συμπιεστεί με δονητικό ή στατικό ρολό (Vestin et al., 2012).

Διεθνώς, η ιπτάμενη τέφρα έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές (Linn and Symons, 1988) εδώ και αρκετά χρόνια, με στόχο πάντα την πιο ωφέλιμη τελική χρήση και την προστασία του περιβάλλοντος (EC, 2000; European Committee for Standardization, 2000). Μέσω της σταθεροποίησης εδαφών υψηλής πλαστικότητας με ιπτάμενη τέφρα, διαπιστώθηκε ότι όχι μόνο βελτιώθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες, αυξήθηκαν οι αντοχές σε θλίψη και διάτμηση και ελεγχόταν η διαστολή όγκου του εδάφους, αλλά επίσης δημιουργήθηκε ένα οικονομικά βιώσιμο και ανθεκτικό οδόστρωμα (Querol et al., 1996).

Στην Ελλάδα, η ετήσια παραγωγή φτάνει τα 12 εκατομμύρια τόνους, ένα ποσοστό των οποίων χρησιμοποιήθηκε σε οδοποιίες και εδαφολογικές κατασκευές, στη σταθεροποίηση-βελτίωση εδαφών, στην κατασκευή αναχωμάτων και κυρίως στη δημιουργία νέων δομικών υλικών, ως προσθήκη τσιμέντο/μπετόν (Φτίκος και Τσίμας, 1985). Ως αποτέλεσμα της σταθεροποίησης του εδάφους με ιπτάμενη τέφρα, βελτιώθηκε η αντοχή στη συμπίεση και η πλαστικότητα, ενώ αποδείχθηκε ότι η τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς ως πρόσθετο για την κατασκευή βασικού και υποβασικού στρώματος του οδοστρώματος, καθώς και για την κατασκευή επιχωμάτων. σε συμπιεσμένα εδάφη (Μουρατίδης, 2004; Κόλιας και Καραχάλιος, 2005). Άλλοι ερευνητές έχουν αποδείξει ότι τα μείγματα στάχτης με αδρανή υλικά φτάνουν το 50%-70% της αντοχής των αντίστοιχων μειγμάτων αδρανών υλικών τσιμέντου (Μουρατίδης, 2004), ενώ η προσθήκη τέφρας μειώνει το απαραίτητο πάχος του οδοστρώματος και, Ταυτόχρονα, το κόστος κατασκευής (Κόλιας και Καραχάλιος, 2005).

Χρήση ιπτάμενης τέφρας σε σκυρόδεμα τσιμέντου Portland για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Η ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιείται σε πρόσμικτα σκυροδέματος για τη βελτίωση της απόδοσης δρόμων και γεφυρών από σκυρόδεμα. Το τσιμέντο Portland περιέχει περίπου 65% ασβέστη. Όταν υπάρχει ιπτάμενη τέφρα με ελεύθερο ασβέστη, αντιδρά χημικά για να σχηματίσει πρόσθετα τσιμεντοειδή υλικά, βελτιώνοντας πολλές από τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα από την ενσωμάτωση ιπτάμενης τέφρας σε σκυρόδεμα από τσιμέντο Πόρτλαντ, τα οποία έχουν αποδειχθεί μέσω εκτεταμένης έρευνας και αμέτρητων έργων κατασκευής αυτοκινητοδρόμων και γεφυρών. Τα οφέλη για το σκυρόδεμα ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο της ιπτάμενης τέφρας, την αναλογία που χρησιμοποιείται, άλλα συστατικά ανάμειξης, τη διαδικασία ανάμειξης, τις συνθήκες πεδίου και την τοποθέτηση (Sahu et al., 2022).

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της ιπτάμενης τέφρας στο σκυρόδεμα αναφέρονται παρακάτω:

- Υψηλότερη τελική αντοχή.
- Βελτιωμένη εργασιμότητα.
- Μειωμένη θερμότητα ενυδάτωσης
- Μειωμένη διαπερατότητα.
- Αυξημένη αντοχή στην προσβολή θεικών αλάτων.
- Αυξημένη αντίσταση στην αντιδραστικότητα αλκαλίου-πυριτίου (ASR).
- Μειωμένο κόστος
- Μειωμένη συρρίκνωση. και
- Αυξημένη αντοχή (Vestin et al., 2012).

Χρήση ιπτάμενης τέφρας σε σταθεροποιημένη βάση για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Η ιπτάμενη τέφρα και ο ασβέστης μπορούν να συνδυαστούν με αδρανή για να δημιουργήσουν μια ποιοτική σταθεροποιημένη βάση. Αυτές οι οδικές βάσεις αναφέρονται ως μείγματα σταθεροποιημένων με ποζολανών (PSM). Η τυπική περιεκτικότητα σε ιπτάμενη τέφρα μπορεί να ποικίλλει από 12 έως 14% με την αντίστοιχη περιεκτικότητα σε ασβέστη από 3 έως 5%. Το τσιμέντο Portland μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αντί του ασβέστη για την αύξηση της αντοχής σε νεαρή ηλικία. Το υλικό που προκύπτει παράγεται, τοποθετείται και μοιάζει με σταθεροποιημένη βάση αδρανών τσιμέντου (Sahu et al., 2022).

Οι βάσεις με σταθεροποιημένο ποζολανικό μίγμα έχουν πλεονεκτήματα έναντι άλλων βασικών υλικών που φαίνονται παρακάτω:

- Χρήση τοπικά διαθέσιμων υλικών
- Παρέχει ένα ισχυρό, ανθεκτικό μείγμα
- Αυξημένη ενεργειακή απόδοση
- Κατάλληλο για χρήση ανακυκλωμένων βασικών υλικών
- Μπορεί να τοποθετηθεί με συμβατικό εξοπλισμό (Sahu et al., 2022).

Χρήση ιπτάμενης τέφρας στη βελτίωση του εδάφους για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένας αποτελεσματικός παράγοντας για τη χημική ή/και μηχανική σταθεροποίηση των εδαφών. Οι ιδιότητες του εδάφους που μπορούν να αλλάξουν με τη χρήση ιπτάμενης τέφρας είναι η πυκνότητα, η περιεκτικότητα σε νερό, η πλαστικότητα, η αντοχή και η συμπιεστότητα των εδαφών, η υδραυλική αγωγιμότητα κ.λπ. Τυπικές εφαρμογές περιλαμβάνουν: σταθεροποίηση εδάφους, ξήρανση εδάφους και έλεγχο συρρίκνωσης-διογκώσεως (Vestin et al., 2012).

Η ιπτάμενη τέφρα παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα όταν χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των συνθηκών του εδάφους:

- Εξαλείφει την ανάγκη για ακριβά δανεικά υλικά
- Επιταχύνει την ολοκλήρωση της κατασκευής
- Προωθεί την εξοικονόμηση κόστους μέσω μείωσης του απαιτούμενου πάχους οδοστρώματος (καθώς αυξάνεται η τιμή CBR)
- Μπορεί να μειώσει ή να εξαλείψει την ανάγκη για ακριβότερα φυσικά αδρανή στη διατομή του οδοστρώματος (Sahu et al., 2022).

Χρήση ιπτάμενης τέφρας σε ασφατικά οδοστρώματα για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ορυκτό πλήρωσης σε εφαρμογές επίστρωσης θερμής μикτής ασφάλτου (HMA) για αύξηση της πυκνότητάς της. Τα ορυκτά πλήρωσης αυξάνουν την ακαμψία της μήτρας του ασφαλτοκονιάματος, βελτιώνοντας την αντίσταση των οδοστρωμάτων και την ανθεκτικότητα του μείγματος. Η ιπτάμενη τέφρα συνήθως πληροί τις προδιαγραφές ορυκτών πληρωτικών για διαβάθμιση, οργανικές ακαθαρσίες και πλαστικότητα (Vestin et al., 2012).

Τα πλεονεκτήματα της ιπτάμενης τέφρας αναφέρονται παρακάτω:

- Μειωμένη δυνατότητα απογύμνωσης ασφάλτου λόγω των υδρόφοβων ιδιοτήτων της ιπτάμενης τέφρας.
- Ο ασβέστης σε ορισμένες ιπτάμενες στάχτες μπορεί, επίσης, να μειώσει την απογύμνωση.
- Μπορεί να έχει χαμηλότερο κόστος από άλλα ορυκτά πληρωτικά (Sahu et al., 2022).

Χρήση ιπτάμενης τέφρας σε ενέματα για υποσφράγιση οδοστρώματος για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Οι αρμόστοκοι είναι αναλογικά μείγματα ιπτάμενης τέφρας, νερού και άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται για την πλήρωση κενών κάτω από ένα σύστημα οδοστρώματος χωρίς ανύψωση των πλακών ή για την ανύψωση και στήριξη οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα σε

καθορισμένες ανοχές ποιότητας με διάτρηση και έγχυση του ενέματος κάτω από συγκεκριμένες περιοχές του οδοστρώματος (Vestin et al., 2012).

Ακολουθούν τα πλεονεκτήματα των ενεμάτων ιπτάμενης τέφρας:

- Χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση της υπονόμησης χωρίς την αφαίρεση του υπερκείμενου οδοστρώματος.
- Γρήγορη ολοκλήρωση έργου με ελάχιστη ενόχληση στην κυκλοφορία.
- Ανάπτυξη υψηλής τελικής αντοχής (Vestin et al., 2012).

3.3.3 ΓΥΑΛΙ

Η χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού σε έργα οδοποιίας εφαρμόζεται τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Τα τελευταία χρόνια, η ανακάλυψη πολλών οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών θα μπορούσε να αυξήσει τη χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, καθιστώντας απαραίτητη την αξιολόγηση των μηχανικών ιδιοτήτων του γυαλιού και των μειγμάτων αδρανών. Οι χρήσεις του ανακυκλωμένου γυαλιού ποικίλλουν ευρέως, ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Το θρυμματισμένο ανακυκλωμένο γυαλί, ή θρυμματισμένο γυαλί, έχει χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα και έχει επίσης αναμειχθεί με αδρανή κατασκευής από φυσική πέτρα σε διαφορετικούς ρυθμούς αντικατάστασης (Ogundana & Afolalu, 2024).

Έχουν διεξαχθεί αρκετές πειραματικές μελέτες για την αξιολόγηση της δυνατότητας των απορριμμάτων υαλοπινάκων σε διάφορες κατασκευαστικές μορφές. Ως εναλλακτική λύση στη σκόνη καπνού πυριτίου, η ανακυκλωμένη σκόνη γυαλιού από απόβλητα βελτιώνει την ικανότητα φόρτωσης και την ολκιμότητα του σκυροδέματος (Tayeh et al., 2021). Πειραματικές μελέτες αποκαλύπτουν ότι η χρήση απορριμμάτων υαλοπινάκων ως υποκατάστατο των αδρανών άμμου κατά 0-15% μειώνει την αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη του σκυροδέματος (Taher et al., 2021). Τα ανακυκλωμένα απορρίμματα γυαλιού αναμειχθηκαν με υδροξείδιο του νατρίου ως υλικό που ενεργοποιείται με αλκάλια, αντικαθιστώντας έως και 17% συνδετικό συνηθισμένο τσιμέντο Portland (OPC) (Samarakoon et al., 2021). Ωστόσο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν έχουν ακόμη αντιμετωπιστεί κατά τη χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού στην κατασκευή οδοστρωμάτων, εκτός από τη μηχανική και χημική απόδοση των υαλοπινάκων.

Επιπλέον, από περιβαλλοντική άποψη, η χρήση ανακυκλωμένων απορριμμάτων γυαλιού ως υποκατάστατο αδρανών υλικών σε οδικές υποδομές έχει γίνει αμφισβητήσιμη λόγω της υπερβολικής κατανάλωσης ενέργειας και του αποτυπώματος άνθρακα κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης σε σύγκριση με την εξόρυξη φυσικών αδρανών λατομείων. Κάποιος σκεπτικισμός έχει αυξηθεί υποδεικνύοντας ότι η χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού για την αντικατάσταση αδρανών υλικών προκαλεί περισσότερη κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές CO₂ από την αποστολή του σε χώρους υγειονομικής ταφής (Didier Bodin et al.,

2022). Η συμπερίληψη ανακυκλωμένων υλικών στα ασφαλικά μείγματα θα απαιτούσε μια ενημερωμένη βάση δεδομένων με επανεπεξεργασμένα προϊόντα για τον σωστό προσδιορισμό των σχετικών περιβαλλοντικών εκπομπών (Tushar et al., 2022b). Η καταλογιστική αξιολόγηση του κύκλου ζωής των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης υλικών (MRF) είναι μία από τις επιλογές για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών γυαλιού για υποδομές οδοστρωμάτων. Ωστόσο, η βιβλιογραφία για αυτόν τον τομέα παραμένει περιορισμένη.

Η διαχείριση απορριμμάτων γυαλιού σε χώρους μιας χρήσης είναι ένα σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα λόγω της μη φθαρτής και άκαυστης φύσης αυτών των αποβλήτων και της τρέχουσας έλλειψης χώρων υγειονομικής ταφής (Hayat, 2023). Τα παραγόμενα απορρίμματα γυαλιού από οικιακά, εργοτάξια και χώρους κατεδάφισης έχουν τη μεγάλη δυνατότητα ανακύκλωσης ως αδρανή αντί για απόρριψη σε χώρους υγειονομικής ταφής. Επιπλέον, απαιτούνται εναλλακτικές πηγές αδρανών υλικών για να δικαιολογηθούν από την άποψη της βιωσιμότητας, καθώς τα τοπικά λατομεία αναμένεται να εξαντληθούν σύντομα.

3.3.4 ΣΚΩΡΙΕΣ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΥ

Η σκωρία υψικαμίνου δημιουργείται κατά τη διαδικασία τήξης στις εργασίες κατασκευής χάλυβα. Η σκωρία είναι μια αρκετά σύνθετη μάζα που είναι σχετικά αδρανής. Αποτελείται από οξειδία μετάλλων (που παράγονται ως αποτέλεσμα της οξειδωσης του μετάλλου κατά τη διαδικασία τήξης), λιωμένο πυρίμαχο, άμμο από ανακυκλωμένα σκραπ, τέφρα οπτάνθρακα και άλλα υλικά. Η φυσική μορφή της σκωρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο συλλογής. Η σκωρία που σβήνεται στο νερό θα σχηματίσει τυπικά σωματίδια μεγέθους χαλικιού. Η σκωρία που αφαιρείται από τον κλίβανο και χύνεται σε καλούπια άμμου ή «γουρούνια» θα μοιάζει τυπικά με μάζες μεγέθους ογκόλιθου. Αυτός ο τύπος σκωρίας έχει γενικά το σχήμα ενός επίπεδου τεμαχίου μετάλλου ή/και μικρών κομματιών σε μέγεθος βράχου. Η σκωρία υψικαμίνου έχει χρησιμοποιηθεί ευεργετικά σε πολλές εφαρμογές.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει εάν η σκωρία υψικαμίνου είναι κατάλληλη ή όχι για χρήση είναι το μέγεθος των σωματιδίων. Το μεγαλύτερο μέρος της σκωρίας υψικαμίνου που έχει χρησιμοποιηθεί είτε έχει δημιουργηθεί ως μέρος ενός συστήματος συλλογής υγρής απόσβεσης είτε εάν συλλεχθεί στεγνό, έχει υποστεί κάποια μείωση του μεγέθους των σωματιδίων (Rouabah et al., 2013).

Μερικές από τις πιθανές ευεργετικές χρήσεις της σκωρίας υψικαμίνου είναι οι εξής (Gáspár & Bencze, 2021):

-Σκουριές

Η συνολική παραγωγή σκωρίας από τις βιομηχανίες χάλυβα είναι περίπου 8,0 εκατομμύρια τόνοι.

-Είδη σκωριών

1. Σκουριές υψικαμίνου

- Κοκκώδης σκωρία υψικαμίνου (GBFS)
- Αερόψυκτη σκωρία

2. Σκουριές χάλυβα

- Κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνου
- Περιέχει αντιδραστικό πυρίτιο
- Κατάλληλο για ασβέστη / τσιμέντο

3. Αερόψυκτη σκωρία υψικάμινου

- Μη αντιδραστικό
- Κατάλληλο για χρήση ως χονδροειδή αδρανή

4. Σκουριές χάλυβα

- Λαμβάνεται ως απόβλητο κατά την παραγωγή χάλυβα
- Το μέγεθος των σωματιδίων ποικίλλει από 80 mm έως 300 μικρά
- Σε σύγκριση με τη σκωρία υψικαμίνου, η σκωρία χάλυβα περιέχει μικρότερη ποσότητα πυριτίου, υψηλότερες ποσότητες οξειδίου του σιδήρου και οξειδίου του ασβεστίου
- Λόγω της παρουσίας ελεύθερου ασβέστη, η σκωρία χάλυβα θα πρέπει να ξεπεραστεί πριν τη χρήση στην κατασκευή (Rouabah et al., 2013).

Χρήση σκωρίας υψικαμίνου ως τσιμεντοειδούς συνδετικού υλικού για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Η σκωρία υψικαμίνου έχει χρησιμοποιηθεί ως συνδετικό τσιμέντο στην οδοποιία. Οι ιδιότητες της σκωρίας υψικαμίνου έχουν αναπτυχθεί στη Γαλλία με τον τίτλο χαλίκι-σκωρία για τη σταθεροποίηση χαλικιού και άμμου για την κατασκευή υποβάσεως και βάσης. Το χαλίκι-σκωρία είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό οδικής βάσης στη Γαλλία και υπολογίζεται ότι το 65% των γαλλικών δρόμων έχουν ένα στρώμα πεζοδρομίου που αποτελείται από χαλίκι-σκωρία (Gáspár & Bencze, 2021).

Ακολουθούν τα πλεονεκτήματα της σκωρίας υψικαμίνου ως τσιμεντοειδούς συνδετικού υλικού:

- Υπάρχει ανάπτυξη καλύτερης αντοχής.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές έντασης εργασίας, η σκωρία θα αναμειγνύεται σε μια τοπική εγκατάσταση κεντρικής ανάμειξης και στη συνέχεια

θα ανασύρεται, θα απλώνεται, θα διαμορφώνεται, θα συμπιέζεται και θα ωριμάζει με μεθόδους έντασης εργασίας.

- Χαμηλή ενεργειακή απαίτηση – απαιτείται μόνο λείανση του υλικού.
- Σημαντικές χαμηλότερες κεφαλαιακές απαιτήσεις σε σύγκριση με το τσιμέντο.
- Η ανάμειξη ασβέστη και κοκκοποιημένης σκωρίας υψικαμίνου με 7,5 τοις εκατό γύψο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή κονιαμάτων.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μιγμάτων σκυροδέματος για χρήση σε βάσεις δρόμων και σύνθετα πεζοδρόμια.
- Αυτό παρέχει μεγάλες δυνατότητες για κερδοφόρα χρήση αυτού του αποβλήτου και παράγει εναλλακτικό συνδετικό με το τσιμέντο
- Σε έκταση 30 km χαλυβουργιών είναι οικονομικό από τα συμβατικά υλικά (Rouabah et al., 2013).

Χρήση της σκωρίας υψικαμίνου ως χονδροειδούς αδρανούς για άσφαλτο για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Ακριβώς όπως η σκωρία χυτηρίου έχει χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των αυτοφύων χονδροειδών αδρανών σε μείγματα σκυροδέματος, έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε ασφαλικά μείγματα. Και εδώ, η σκωρία συνήθως συνθλίβεται για να επιτευχθεί το επιθυμητό μέγεθος σωματιδίων. Γενικά, η σκωρία θρυμματίζεται έτσι ώστε να περάσει το κόσκινο των $\frac{3}{4}$ ιντσών (Gáspár & Bencze, 2021).

Τα πλεονεκτήματα της σκωρίας υψικαμίνου ως χονδροειδούς αδρανούς για την άσφαλτο τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- Χαμηλότερο κόστος από άλλα ορυκτά πληρωτικά.
- Κατάλληλο για δρόμους κοντά στην τοποθεσία των χαλυβουργιών. (Rouabah et al., 2013).

Χρήση σκωρίας υψικαμίνου ως χονδροειδούς αδρανούς για υποβάση για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Πολλά χαλυβουργεία έχουν χρησιμοποιήσει τη σκωρία τους ως υποκατάστατο χονδροειδών αδρανών σε έργα οδοποιίας εντός και γύρω από τις χαλυβουργίες για πολλά χρόνια. Σε πολλές περιπτώσεις, έχει χρησιμοποιηθεί ως η μοναδική πηγή υλικού για την κατασκευή οδοποιίας με χαλίκι. Σε άλλες περιπτώσεις, χρησιμοποιείται για οδόστρωμα, πίστα βάσης ή υλικό υποβάσεως.

Η σκωρία υψικαμίνου παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα όταν χρησιμοποιείται ως χονδροειδές αδρανή για υποβάση:

- Η σκωρία που έχει σβήσει με νερό τείνει να έχει χαμηλότερη αντοχή στη φθορά και σταθερότητα.
- Για τις περισσότερες εφαρμογές υποβάσεως, στις οποίες οι παραπάνω δύο ιδιότητες είναι κρίσιμες, χρησιμοποιείται σκωρία με ψύξη με αέρα, σε αντίθεση με την σβήση με νερό. Τις περισσότερες φορές, η αερόψυκτη σκωρία συνθλίβεται σε μέγεθος σωματιδίων $\frac{3}{4}$ ίντσας ή λιγότερο προκειμένου να πληρούνται οι περισσότερες προδιαγραφές χονδρόκοκκου αδρανούς κατάστασης. Εφόσον έχουν το κατάλληλο μέγεθος, αυτά τα παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμεύσουν ως κατάλληλα υποκατάστατα για τα εγγενή χονδροειδή αδρανή σε αυτήν την εφαρμογή. και
- Τα τμήματα του οδοστρώματος στα οποία χρησιμοποιήθηκε σκωρία υψικαμίνου ως μέσο παροχής σταθεροποίησης μαλακού εδάφους παρείχαν βαθμό σταθεροποίησης ισοδύναμο με εκείνον της παραδοσιακής μεθόδου χρήσης αδρανών πετρωμάτων (Gáspár & Bencze, 2021).

3.3.5 ΣΚΟΝΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΛΙΒΑΝΩΝ

Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων (CKD) είναι τα λεπτώς διαιρεμένα ξηρά αλκαλικά σωματίδια που μεταφέρονται από έναν κλίβανο τσιμέντου από τα καυσαέρια και δεσμεύονται από το σύστημα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του κλιβάνου. Γενικά, ωστόσο, η σύνθεση της σκόνης τσιμεντοκλιβάνων είναι παρόμοια με αυτή του τσιμέντου και αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο, ασβεστίτη, πυριτικό άλας, θεικό κάλιο, θεικό ασβέστιο, οξείδιο αργιλίου, οξείδιο σιδήρου, χλωριούχο κάλιο, οξείδιο μαγνησίου, θειούχο νάτριο φθοριούχος. Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων έχει χημική σύνθεση παρόμοια με αυτή του τσιμέντου. Επομένως, η πρωταρχική αξία της σκόνης τσιμεντοκλιβάνων είναι οι τσιμεντοειδείς ιδιότητές της. Η αλκαλικότητα και το μέγεθος των σωματιδίων του παρέχουν επίσης αξία για μια ποικιλία ευεργετικών επιλογών χρήσης (Al-Asi & Asi, 2021).

Χρήση σκόνης τσιμεντοκλιβάνων για σταθεροποίηση εδάφους για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

- Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους in situ και ως ενεργοποιητής σε μίγματα βάσεων με σταθεροποιημένη ποζολανική βάση.
- Η απορροφητική ικανότητα και οι ιδιότητες της σκόνης τσιμεντοκλιβάνων της επιτρέπουν να μειώσει την περιεκτικότητα σε υγρασία και να αυξήσει τη φέρουσα ικανότητα του μαλακού εδάφους (Mahdi et al., 2018).

- Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων για τη σταθεροποίηση του εδάφους έχει πλεονεκτήματα που φαίνονται παρακάτω:
- Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων βελτιώνει αποτελεσματικά την αντοχή του εδάφους και επίσης μειώνει τον χρόνο και το κόστος κατασκευής.
- Όταν χρησιμοποιείται ασβέστης ως σταθεροποιητικός παράγοντας, το έδαφος πρέπει να αναμιγνύεται και να συμπίεζεται 48 ώρες μετά την πρώτη εφαρμογή του ασβέστη.
- Όταν η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητικός παράγοντας, η ανάμειξη και η συμπίεση της σκόνης κλιβάνου τσιμέντου ολοκληρώνεται κατά την αρχική εφαρμογή ή εντός 24 ωρών.
- Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων μπορεί να αναμιχθεί με χώμα για να τροποποιηθούν τα όρια πλαστικού ή η περιεκτικότητα σε υγρασία για να παρέχει τις επιθυμητές σταθεροποιημένες ιδιότητες (Mahdi et al., 2018).

Χρήση σκόνης τσιμεντοκλιβάνων ως ορυκτού πληρωτικού σε ασφαλτοστρώσεις για εφαρμογές στην κατασκευή αυτοκινητοδρόμων:

Η εν θερμώ ανάμικτη άσφαλτος (HMA) είναι ένα κοινό υλικό επίστρωσης. Η εν θερμώ ανάμικτη άσφαλτος γίνεται με επίστρωση αποξηραμένων χονδροειδών και λεπτών αδρανών με ζεστό ασφαλτικό τσιμέντο, το οποίο λειτουργεί ως συνδετικό υλικό. Η σκόνη κλιβάνου τσιμέντου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει ένα τμήμα του ορυκτού πληρωτικού που χρησιμοποιείται στην άσφαλτο εν θερμώ. Η σκόνη κλιβάνου τσιμέντου ως ορυκτό πληρωτικό σε ασφαλτοστρώσεις έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Οι τρέχουσες προδιαγραφές για ορυκτό πληρωτικό σε θερμή μίκτη άσφαλτο (AASHTO M17) είναι ότι το υλικό που περνά από το κόσκινο No. 50 είναι μεταξύ 95 και 100%. Τυπικά, το μέγιστο μέγεθος σωματιδίων της σκόνης τσιμεντοκλιβάνων είναι περίπου 0,3 mm (No. 50 κόσκινο), το οποίο συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις ανώτατου μεγέθους του ορυκτού πλήρωσης, και
- Οι επιθυμητές φυσικές του ιδιότητες, οι τσιμεντοειδείς ιδιότητες της σκόνης τσιμεντοκλιβάνων έχει αποδειχθεί ότι αυξάνουν τη σταθερότητα και την ακαμψία της εν θερμώ ανάμικτη ασφάλτου (Al-Asi & Asi, 2021).

3.3.6 ΦΩΣΦΟΓΥΨΟΣ

Στις βιομηχανίες λιπασμάτων το φωσφορικό πέτρωμα επεξεργάζεται για την παραγωγή φωσφορικού οξέος, περιέχει περίπου 70% φωσφορικό ασβέστιο, περιέχει επίσης μεγάλο αριθμό ακαθαρσιών, όπως φθοριούχο ασβέστιο, χλωριούχα, χρώμιο και πολλές άλλες ενώσεις. Στην υγρή διαδικασία το φωσφορικό πέτρωμα επεξεργάζεται με θειικό οξύ για να παραχθεί το φωσφορικό οξύ που είναι το τελικό προϊόν στο λίπασμα. Το υποπροϊόν που

απομένει μετά την όξινη μετατροπή είναι σε μεγάλο βαθμό θεικό ασβέστιο και έχει λάβει το όνομα φωσφογύψος. Η παραγωγή φωσφορικών αλάτων δημιουργεί τεράστιες ποσότητες αποβλήτων. Η παραγωγή κάθε τόνου φωσφορικού οξέος συνοδεύεται από την παραγωγή 4½ τόνων φωσφογύψου. Ο φωσφογύψος αποθηκεύεται σε υπαίθριους αποθηκευτικούς χώρους γνωστούς ως στοίβες. Οι στοίβες σχηματίζονται καθώς ο πολτός που περιέχει το παραπροϊόν φωσφογύψο αντλείται σε ένα σημείο διάθεσης. Με την πάροδο του χρόνου τα στερεά στον πολτό συσσωρεύονται και σχηματίζεται μια στοίβα. Οι στοίβες κατασκευάζονται γενικά σε αχρησιμοποίητη ή εξορυσσόμενη γη στο χώρο επεξεργασίας. Η επιφάνεια που καλύπτεται από στοίβες κυμαίνεται από περίπου 5 έως 740 στρέμματα. Το ύψος κυμαίνεται από περίπου 10 έως 200 πόδια. Ο φωσφογύψος επαναχρησιμοποιείται για αδρανή κατασκευής αυτοκινητοδρόμων (θρυμματισμένη βάση και θρυμματισμένα αδρανή για άσφαλτο) (Folek et al., 2011).

Ο φωσφογύψος είναι ένα γκρίζο, υγρό, λεπτόκοκκο υλικό σκόνης, λάσπης ή ιλύδους άμμου με μέγιστο μέγεθος κυμαίνεται μεταξύ 0,5 mm (κόσκινο No. 40) και 1,0 mm (κόσκινο No. 20) και το μεγαλύτερο μέρος του Τα σωματίδια (50-75 %) είναι λεπτότερα από 0,075 mm (κόσκινο No. 200). Το ειδικό βάρος του φωσφογύψου κυμαίνεται από 2,3 έως 2,6. Η μέγιστη ξηρή χύδην πυκνότητα είναι πιθανό να κυμαίνεται από 1470 έως 1670 kg/m³, με βάση το Standard Proctor Compaction. Το κέικ γύψου, μετά το φιλτράρισμα, έχει συνήθως ελεύθερη περιεκτικότητα σε υγρασία μεταξύ 25 και 30%. Το ημιένυδρο, παρουσία ελεύθερου νερού, θα μετατραπεί γρήγορα σε διένυδρο και στη διαδικασία, εάν αφεθεί αδιατάρακτο, θα πήξει σε μια σχετικά σκληρή τσιμεντοειδούς μάζα και δεν προκαλεί πρόβλημα σκόνης εκτός και αν διαταραχθεί (Folek et al., 2011).

Ο φωσφογύψος αποτελείται κυρίως από διένυδρο θεικό ασβέστιο με μικρές ποσότητες πυριτίου, συνήθως ως χαλαζία και φωσφορικά πετρώματα που δεν αντέδρασαν, ραδιενεργό υλικό (όπως ράδιο, ουράνιο), βαρέα μέταλλα και συγκεκριμένα αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, υδράργυρο και φθόριο. Η συγκέντρωση των μετάλλων εξαρτάται από τη σύνθεση του φωσφορικού πετρώματος. Τα ακόλουθα είναι οι κύριες ανησυχίες σχετικά με τη διαχείριση του φωσφογύψου.

- Υψηλή συγκέντρωση φθορίου (στην περιοχή από 0,5 -1,5 %) μπορεί να εκπλύνει φθόριο και να μολύνει τα υπόγεια ύδατα, εάν δεν αποθηκεύεται και δεν χρησιμοποιείται σωστά.
- Παρουσία ραδιονουκλεϊδίου ραδίου -226 το οποίο κατά την αποσύνθεση μπορεί να εκπέμπει επιβλαβή σωματίδια άλφα.
- Μπορεί να περιέχει βαρέα μέταλλα (Cd, Cr, Pb κ.λπ.) που μπορεί να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα μέσω του πόσιμου νερού και των γεωργικών προϊόντων. Η διαπερατότητα του φωσφογύψου εξαρτάται από τη σταθεροποίηση. Η διαπερατότητα σε μη αποστειρωμένο φωσφογύψο έχει βρεθεί ότι κυμαίνεται από 1,3 x10⁻⁴ cm/sec έως 2,1 x10⁻⁵ cm/sec για σταθεροποιημένο φωσφογύψο (Folek et al., 2011).

3.3.7 ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΣΑΚΟΥΛΕΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Στην Ινδία 330 εκατομμύρια άνθρωποι εξαρτώνται από τις πλαστικές σακούλες. Η Ινδία κατέχει την τρίτη θέση στον κόσμο στην κατανάλωση πλαστικών. Βρέθηκε ότι τεμαχισμένα πλαστικά απόβλητα μεγέθους 2-8 mm μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε ασφαλτούχα μείγματα που χρησιμοποιούνται για οδοποιίες. Η βέλτιστη δόση είναι περίπου 0,4-0,5% κατά βάρος ασφαλτούχου μίγματος και 6-8% κατά βάρος πίσσας. Το ασφαλτικό σκυρόδεμα (BC) είναι ένα σύνθετο υλικό που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε κατασκευαστικά έργα όπως οδοστρώματα, αεροδρόμια, χώρους στάθμευσης κ.λπ. Αποτελείται από άσφαλτο ή πίσσα (χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό) και ορυκτά αδρανή που αναμειγνύονται μεταξύ τους και απλώνονται σε στρώσεις και στη συνέχεια συμπιέζονται (Ogundana, 2023).

Ο ρόλος των απορριμμάτων πλαστικών σακουλών στο μείγμα μελετήθηκε για διάφορες μηχανικές ιδιότητες με την προετοιμασία δειγμάτων Marshall μίγμάτων BC με και χωρίς πολυμερές. Ιδιότητες Marshall όπως σταθερότητα, τιμή ροής, βάρος μονάδας, κενά αέρα χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας σε πολυαιθυλένιο για τη δεδομένη ποιότητα πίσσας (80/100). Οι λεπτές πλαστικές σακούλες αποτελούνται κυρίως από χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE) και χρησιμοποιούνται συνήθως για συσκευασία, προστασία και πολλές άλλες εφαρμογές. Οι πλαστικές σακούλες απορριμμάτων (WPB) ως μία μορφή πολυμερών μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί ως τροποποιητής για ασφαλτικά μείγματα ως μέρος της βιώσιμης διαχείρισης πλαστικών απορριμμάτων καθώς και για βελτιωμένη απόδοση του ασφαλτομίγματος. Η περιεκτικότητα σε WPB περίπου 10% κατά βάρος σε Βέλτιστη Περιεκτικότητα Ασφάλτου συνιστάται ως η βέλτιστη περιεκτικότητα σε WPB για τη βελτίωση της απόδοσης του ασφαλτομίγματος. Η θερμοβαρυμετρική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπάρχει έκλυση αερίου στην περιοχή θερμοκρασίας 130-180°C. Επιπλέον, τα μαλακωμένα πλαστικά έχουν συνδετική ιδιότητα. Ως εκ τούτου, τα τηγμένα πλαστικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνδετικό υλικό και/ή μπορούν να αναμιχθούν με συνδετικό υλικό όπως η πίσσα για να ενισχυθεί η συνδετική τους ιδιότητα. Αυτό μπορεί να είναι ένας καλός τροποποιητής για την πίσσα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή δρόμων (Mundhe & Dhawale, 2018).

3.3.8 ΑΜΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΩΠΥΧΕΙΟΥ

Η βιομηχανία χυτηρίου χρησιμοποιεί πυριτική άμμο βιομηχανικής ποιότητας για καλούπια στη χύτευση μετάλλων. Η απόβλητη άμμος χυτηρίου είναι υποπροϊόν της διαδικασίας χύτευσης σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων, το 95% αυτού του υλικού παράγεται από τη διαδικασία χύτευσης σιδηρούχων. Η χρησιμοποιημένη άμμος χυτηρίου αποτελείται κυρίως από πυριτική άμμο, επικαλυμμένη με λεπτή μεμβράνη καμένου άνθρακα, υπολειμματικό συνδετικό υλικό (μπεντονίτης, θαλάσσιος άνθρακας, ρητίνες) και σκόνη.

Οι βιομηχανίες σιδήρου αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία της χρησιμοποιούμενης άμμου χυτηρίου. Η άμμος χυτηρίου μπορεί επίσης να περιέχει ορισμένους ρύπους που μπορούν

να εκπλυθούν, με τις μη σιδηρούχες άμμους χυτηρίου που συχνά περιέχουν υψηλά επίπεδα βαρέων μετάλλων που ταξινομούνται ως επικίνδυνα. Η λεία του ανθρακωρυχείου είναι το απόβλητο υλικό που παράγεται από τη διαδικασία εξόρυξης άνθρακα και την εμπορευσιμότητά του. Όταν ο άνθρακας υποβάλλεται σε επεξεργασία με πλύσιμο πριν από την πώληση στον πελάτη, η λεία του ανθρακωρυχείου παράγεται με τη μορφή χονδροειδούς ή λεπτής απόρριψης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήρη χρήση, αν και κύρια χρήση είναι σε εφαρμογές υποδομής (Bhardwaj et al., 2022).

3.3.9 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) εξακολουθεί να παραμένει ένα από τα πιο παραμελημένα μείζονα ζητήματα στις πόλεις της Ινδίας λόγω της ταχείας αστικοποίησης, της αύξησης του αστικού πληθυσμού και της εκβιομηχάνισης. Οι περισσότερες τοπικές διοικήσεις απορρίπτουν απευθείας ΑΣΑ χωρίς διαχωρισμό και μεταχείριση στον ανοιχτό χώρο απόρριψης, αυτός ο τρόπος ακατάλληλης απόρριψης των ΑΣΑ αποτελεί σημαντική απειλή για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία σε αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Ινδία. Η ποσότητα των αστικών στερεών αποβλήτων που παράγεται στην Ινδία αυξάνεται σταθερά όλα αυτά τα χρόνια. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην ταχεία αύξηση του πληθυσμού, τη μαζική μετανάστευση πληθυσμού από τις αγροτικές στις αστικές περιοχές, την ταχεία εκβιομηχάνιση και την αύξηση των οικονομικών δραστηριοτήτων γενικότερα και την αλλαγή του τρόπου ζωής των ανθρώπων. (Rawat & Mohanty, 2022).

Σύμφωνα με την έκθεση (Μάιος 2000) του Υπουργείου Αστικής Ανάπτυξης (MoUD), της κυβέρνησης της Ινδίας, 1.00.000 MT αστικών στερεών αποβλήτων παράγονται καθημερινά στη χώρα. Η έρευνα που διεξήχθη από το κεντρικό ινστιτούτο Τεχνολογίας και Μηχανικής Πλαστικών (CIPET) στην περίπτωση της CPCB ανέφερε παραγωγή 50.592 τόνων ΑΣΑ την ημέρα το έτος 2010-11 σε περίπου 59 πόλεις. Η ποσότητα των ΑΣΑ αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά μέχρι το έτος 2020 λόγω της αύξησης του πληθυσμού, του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων και του βαθμού εμπορευματοποίησης, εκβιομηχάνισης και διαφόρων άλλων δραστηριοτήτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες κατασκευές και άλλες δραστηριότητες που αναφέρονται παρακάτω για την αποφυγή της ρύπανσης και την ασφαλή διάθεση, όπως:

- Γέμισμα επιχώματος
- Υλικό βάσης δρόμου
- Αδρανή για ασφάλτο
- Αδρανή για δομικά στοιχεία σκυροδέματος
- Υλικό τσιμέντου
- Μείγματα ασβέστη/ιπτάμενη τέφρα

- Μέσα αποστράγγισης χωματερών (Havanagi et al., 2017).

3.5 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

Ως μέρος της θεματικής στρατηγικής του 2005 για την πρόληψη και την ανακύκλωση της σύνδεσης αποβλήτων με τη δήλωση αποποίησης ευθυνών της EPA για την εξωτερική σύνδεση, που ολοκληρώθηκε στις 21 Δεκεμβρίου 2005, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε πρόταση για τη θέσπιση κριτηρίων σχετικά με το πότε ορισμένες ροές αποβλήτων παύουν να είναι απόβλητα - για παράδειγμα, όταν τα κομποστοποιημένα βιολογικά απόβλητα γίνονται κομπόστ. Η ανακοίνωση του Φεβρουαρίου 2007 για τα υποπροϊόντα που προέκυψε αφορά την υφιστάμενη νομοθεσία, όπως ορίζεται στην οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα Σύνδεση με τη δήλωση αποποίησης ευθύνης για την εξωτερική σύνδεση της EPA και ερμηνεύεται από το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο. Δεν επηρεάζει τις συνεχιζόμενες ενέργειες για την αναθεώρηση της Οδηγίας Πλαισίου για τα απόβλητα

Τα υποπροϊόντα υλικά από διαδικασίες παραγωγής προέρχονται από ευρύ φάσμα επιχειρηματικών τομέων και μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ώθηση για την ανακοίνωση εν μέρει μπορεί να βρεθεί σε ανησυχίες που σχετίζονται με αβέβαιο νομικό καθεστώς για τα υποπροϊόντα και ασυνεπείς ερμηνείες του ορισμού των αποβλήτων από τα κράτη μέλη της ΕΕ. Αυτές οι αβεβαιότητες και οι συνέπειες μπορεί να οδηγήσουν σε άνιση μεταχείριση των επιχειρήσεων και, εάν τα χρήσιμα προϊόντα ταξινομηθούν εσφαλμένα ως απόβλητα, να εμποδίσουν την αποτελεσματική χρήση των πόρων (Πηγή: <https://archive.epa.gov/oswer/international/web/html/byproducts-guidance-053007.html>).

Τόσο τα προϊόντα όσο και τα απόβλητα ενδέχεται να περιέχουν τοξικά υλικά και να αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, η ανακοίνωση εξετάζει τόσο περιβαλλοντικά όσο και ζητήματα της αγοράς που σχετίζονται με τα υποπροϊόντα.

Διευκρινίζοντας τον ορισμό του «υποπροϊόντος», η ανακοίνωση συμβάλλει στους στόχους του δέκατου προγράμματος δράσης για το περιβάλλον της Ευρωπαϊκής Κοινότητας 2002-2012. στόχους βιώσιμης ανάπτυξης. Η ανακοίνωση υποστηρίζει επίσης τον στόχο της θεματικής στρατηγικής της ΕΕ για τους φυσικούς πόρους Σύνδεση με τη δήλωση αποποίησης ευθύνης για τον εξωτερικό σύνδεσμο της EPA για την αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από τη χρήση πόρων. Η αποτελεσματικότητα των κατευθυντήριων γραμμών στην ανακοίνωση θα επανεξεταστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2010.

Οι αποφάσεις του EJC προσδιορίζουν έναν αριθμό άλλων παραγόντων που μπορεί ή δεν είναι κατάλληλοι για χρήση στη διάκριση μεταξύ αποβλήτων και υποπροϊόντων:

- Εάν δεν μπορεί να προβλεφθεί άλλη χρήση εκτός από την απόρριψη, η χρήση έχει σημαντικές δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με εναλλακτικές ή η

χρήση απαιτεί ειδικά μέτρα προστασίας, το υλικό μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλα ως απόβλητο,

- Η μέθοδος επεξεργασίας που χρησιμοποιείται για το εν λόγω υλικό δεν μπορεί να παρέχει οριστική απάντηση σχετικά με το εάν πρόκειται για απόβλητο,
- Η αντίληψη ότι ένα υλικό είναι απόβλητο μπορεί να είναι παράγοντας για τον καθορισμό του κατά πόσον θα πρέπει να ρυθμιστεί ως απόβλητο
- Εάν η επιχείρηση για την οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ένα υλικό επιδιώκει να περιορίσει την ποσότητα αυτού. υλικό που παράγεται (για παράδειγμα επειδή το υλικό δεν έχει αξία επαναχρησιμοποίησης), αυτό το γεγονός μπορεί να υποδηλώνει ότι το υλικό είναι απόβλητο. Η ανακοίνωση αναγνωρίζει ότι η αυστηρή εφαρμογή αυτού του τελευταίου παράγοντα θα μπορούσε να αποθαρρύνει την πρόληψη της ρύπανσης σε ορισμένες περιπτώσεις.

Η ανακοίνωση εξετάζει, επίσης, τρόπους με τους οποίους οι παράγοντες μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη. Παρέχει πολλά παραδείγματα υλικών που μπορούν να ταξινομηθούν ως απόβλητα ή υποπροϊόντα και εξηγεί τη λογική που χρησιμοποιείται. Αυτά τα παραδείγματα περιλαμβάνουν σκωρίες και σκόνες από την παραγωγή σιδήρου και χάλυβα, υποπροϊόντα από τη βιομηχανία τροφίμων και ποτών που χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές, υποπροϊόντα από διεργασίες καύσης και κοψίματα που δημιουργούνται από πριονιστήρια ή περίσσεια υλικού από μια διαδικασία πρωτογενούς παραγωγής. Ένα δέντρο αποφάσεων για αποφάσεις αποβλήτων έναντι υποπροϊόντων συνοδεύει την επικοινωνία (Πηγή: <https://archive.epa.gov/oswer/international/web/html/byproducts-guidance-053007.html>).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα ανωτέρω, η υπερβολική ανάπτυξη στις υποδομές μεταφορών και η κατασκευή πεζοδρομίων έχει οδηγήσει σε αυξημένη ζήτηση και εξάντληση των συμβατικών κοκκωδών και αδρανών υλικών. Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη να χρησιμοποιηθεί σημαντική ποσότητα βιομηχανικών υποπροϊόντων σε χρήσιμα προϊόντα για την αντικατάσταση των φυσικών/εμπορικών προϊόντων όπου είναι δυνατόν. Αντίστοιχα, οι κώδικες σχεδιασμού έχουν αναθεωρηθεί και συνιστούν τη χρήση σταθεροποιημένων βιομηχανικών υποπροϊόντων ή τοπικού/οριακού υλικού για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση του κόστους κατασκευής. Ωστόσο, αναφέρεται επίσης ότι αυτά τα υλικά πρέπει να επιτυγχάνουν την ελάχιστη αντοχή όπως ορίζεται από διάφορους κώδικες και επίσης να εξασφαλίζουν ανθεκτικότητα.

Υπάρχουν πολλές κατευθυντήριες γραμμές και κώδικες για τα υλικά οδοστρώματος, οι οποίες/οι αναφέρουν ότι η ελάχιστη αντοχή του υλικού πρέπει να επιτυγχάνεται επί τόπου για να επιτευχθεί η μακροπρόθεσμη απόδοση του υλικού οδοστρώματος, αλλά το περιθώριο ασφαλείας δεν έχει αναφερθεί. Έχει υποτεθεί ότι η φέρουσα ικανότητα που αποκτάται στο εργαστήριο μπορεί να αποκατασταθεί και επί τόπου. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η καθορισμένη αντοχή που επιτυγχάνεται στο εργαστήριο οφείλεται σε ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, δηλαδή στη διαδικασία ανάμειξης και σκλήρυνσης. Περαιτέρω, είναι δύσκολο να επιτευχθεί η ίδια επιτόπια προσαρμογή σε διακυμάνσεις στην ανάμειξη και σε άλλες συνθήκες επί τόπου. Ως εκ τούτου, συνιστάται η αντοχή που επιτυγχάνεται από το υλικό στο εργαστήριο να έχει πολύ μεγαλύτερη αντοχή από τις προδιαγραφές στο προδιαγεγραμμένο πρότυπο.

Η σπανιότητα ποιοτικών δομικών υλικών και η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή απορριμμάτων έχουν παρακινήσει τους ερευνητές να διερευνήσουν τη συμβατότητα των βιομηχανικών υποπροϊόντων/απορριμμάτων στις κατασκευές. Η βιώσιμη επαναχρησιμοποίηση βιομηχανικών υποπροϊόντων στην κατασκευή τεχνικών έργων οδοποιίας, η οποία περιλαμβάνει στρώσεις οδοστρώματος, έχει προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια.

Καταλήγοντας λοιπόν, τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα βιομηχανικά παραπροϊόντα που ενσωματώνονται σε έργα οδοποιίας είναι τα ελαστικά (waste types), η ιπτάμενη τέφρα (fly ash), το γυαλί, οι σκουριές υψικαμίνου, η σκόνη τσιμεντοκλιβάνων, ο φωσφογύψος, οι πλαστικές σακούλες απορριμμάτων, η άμμος χυτηρίου και ανθρακωρυχείου καθώς και τα επεξεργασμένα στερεά απόβλητα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Akshay, M. & Tapase, Anand & Ghugal, Yuwaraj & Konnur, B. & Dombé, Shrikant. (2020). *Investigation on the Use of Crumb Rubber and Bagasse Ash in Road Construction*. 10.1007/978-3-030-34196-1_1.
2. Al-Asi, Aya & Asi, Ibrahim. (2021). Using Cement Kiln Dust in Asphalt Concrete Mixes in Jordan. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 33. 04021010. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003465.
3. Amrani, Mustapha, Yassine Taha, Azzouz Kchikach, Mostafa Benzaazoua, and Rachid Hakkou. (2020). "Industrial Waste recycling: New horizons for a more sustainable road material application." *Journal of Building Engineering* 30: 101267. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101267>
4. Anupam, Aditya & Kumar, Praveen & R.N., G.D. & Shah, Yogesh. (2017). *Study on Performance and Efficacy of Industrial Waste Materials in Road Construction: Fly Ash and Bagasse Ash*. 45-56. 10.1061/9780784480946.005.
5. Anupam, Aditya & Kumar, Praveen & R.N., G.D.. (2013). Use of Various Agricultural and Industrial Waste Materials in Road Construction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 104. 264-273. 10.1016/j.sbspro.2013.11.119.
6. Azanov, B.. (2014). Recommendations on the Use of Industrial Wastes in Road Construction. *Metallurgist*. 58. 91-94. 10.1007/s11015-014-9874-6.
7. Batrakova, A. & Dorozhko, Yevhen & Zakharova, Elina & Kliuka, O.. (2022). FEATURES OF THE COMPOSITION OF ENGINEERING AND GEODESIC SURVEYS IN ROAD CONSTRUCTION. *Municipal economy of cities*. 81-85. 10.33042/2522-1809-2022-6-173-81-85.
8. Bhardwaj, Atish & Kumar, Pankaj & Siddique, Salman & Shukla, Abhilash. (2022). Comprehensive review on utilization of waste foundry sand in concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 10.1080/19648189.2022.2070778.
9. Biranje, Tejas & Lad, Omkar & Navale, Shataratha & Bankar, Sumeet & Dhokpande, Sonali. (2022). Economical Application of Industrial Waste in Road Construction. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 291-300. 10.32628/IJSRST229171.
10. Bukowski, J., J. Youtcheff, and T. Harman. (2012). "An Alternative Asphalt Binder, Sulfur-Extended Asphalt (SEA)". *Federal Highway Administration, and Office of Pavement Technology*. FHWA-HIF-12- 037. Washington, DC
11. Cabrera, Manuel & López-Alonso, Mónica & Garach, Laura & Bayo, Javier & García, Javier & Agrela, Francisco. (2021). Feasible Use of Recycled Concrete Aggregates with Alumina Waste in Road Construction. *Materials*. 14. 1466. 10.3390/ma14061466.

12. Chandra, Sarath & Reddy, Narala Gangadhara & Rao, Bendadi. (2016). *Assessment of Industrial Wastes as a Road Construction Material: A Review*.
13. Chandra, Sarath & S, Krishnaiah & Sahile, Kibebe. (2021). Utilization of Red Mud-Fly Ash Reinforced with Cement in Road Construction Applications. *Advances in Materials Science and Engineering*. 10.1155/2021/3728652.
14. Didier Bodin, D.N.Z., Pike, Stewart, Harrison, Jaimi, Lincoln, Latter, D.G., Rice, Zia, Thomas, Lydia, Moffatt, Michael, Umer, Chaudhry, P.D., Grenfell, James, Trochez, Jenny, Javad, Yaghoubi (2022). *Development of a Specification for Recycled Crushed Glass as a Sand Aggregate Replacement*.
15. Dombe, Shrikant & Tapase, Anand & Ghugal, Yuwaraj & Konnur, B. & Patil, Akshay. (2020). *Investigation on the Use of E-Waste and Waste Plastic in Road Construction*. 10.1007/978-3-030-34196-1_6.
16. EAPA. (2022). "Asphalt and Circular Economy". European Asphalt Pavement Association. Asphalt and Circular Economy - EAPA
17. Folek, Stanisław & Walawska, Barbara & Wilczek, Bożena & Miśkiewicz, Jolanta. (2011). Use of phosphogypsum in road construction. *Polish Journal of Chemical Technology*. 13. 10.2478/v10026-011-0018-5.
18. Folek, Stanislaw, Barbara Walawska, Bożena Wilczek, and Jolanta Miskiewicz. (2011). "Use of Industrial Waste in road construction." *Polish Journal of Chemical Technology* 13, no. 2: 18–22.
19. Gáspár, László & Bencze, Zsolt. (2021). Blast furnace slag in road construction and maintenance. *Dorogi i mosti*. 53-59. 10.36100/dorogimosti2021.23.053.
20. Gaur VK, Sharma P, Sirohi R, Awasthi MK, Dussap CG, Pandey A. (2020). Assessing the impact of industrial waste on environment and mitigation strategies: A comprehensive review. *J Hazard Mater.* ;398:123019. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123019.
21. Havanagi, Vasant & Sinha, Anil & S., Parvathi & Chandra, Satish. (2017). *Municipal solid waste in road embankment construction - a case study*. Ανακτήθηκε από: [https://www.researchgate.net/publication/322593928 Municipal solid waste in road embankment construction - a case study](https://www.researchgate.net/publication/322593928_Municipal_solid_waste_in_road_embankment_construction_-_a_case_study)
22. Havanagi V.G., Sinha A., Guruvittal U.K., Mathur S., (2013). Utilization of fly ash in road construction □CRRI experiences. In: Proceeding of National Seminar on Utilization of Fly Ash in Geotechnical Structures, Bhubaneswar, Orissa, India
23. Hayat, P., (2023). Integration of advanced technologies in urban waste management. *Advancements in Urban Environmental Studies: Application of Geospatial Technology and Artificial Intelligence in Urban Studies*. Springer, pp. 397–418.

24. Kareem, Hafiz Abdul & Riaz, Sobia & Sadia, Haleema & Mehmood, Rizwan. (2022). *Industrial-Waste, Types, Sources, Pollution Potential, Country Wise Comparisons*. 10.1201/9781003283621-8.
25. Kopynets, Ivan & Kaskiv, Volodymyr & Sokolov, Oleksii. (2021). USE OF INDUSTRIAL BY-PRODUCTS AS MINERAL POWDERS IN ROAD CONSTRUCTION. *Dorogi i mosti*. 193-205. 10.36100/dorogimosti2021.24.193.
26. Kumar, Pradeep & Shukla, Shaline. (2022). Flexible pavement construction using different waste materials: A review. *Materials Today: Proceedings*. 65. 10.1016/j.matpr.2022.04.713.
27. Kuttah, Dina. (2023). Recycling of industrial and construction waste materials in roads construction. *International Journal of Geotechnical Engineering*. 1-14. 10.1080/19386362.2023.2239684.
28. Mahdi, Zaid & Al-Jumaili, Mohammed & Ahmad Jasim, Heydar. (2018). Assessment of Using Cement Kiln Dust Stabilized Roads Subbase Material. *Conference: 1st international conference for civil engineering scienceAt: Iraq*
29. Maksimych, O.I. & Karelina, M.Y. & Ostroukh, A.V. & Zhankaziev, S.V. & Pastukhov, D.A. & Nuruev, Y.E.-O. (2016). Automated control system of road construction works. *International Journal of Applied Engineering Research*. 11. 6441-6446.
30. Millati, R., R.B. Cahyono, T. Ariyanto, I.N. Azzahrani, R.U. Putri, M.J. Taherzadeh, (2019). *Agricultural, industrial, municipal, and forest wastes, in Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*, (Elsevier, St. Louis), pp. 1–22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00001-3>
31. Mishra, Brajesh. (2015). A Study on Use of Industrial Wastes in Rural Road Construction. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 4. 10387-10398. 10.15680/IJIRSET.2015.0411009.
32. Mitrofanov, N. & Sushilova, A.. (2021). Environmental assessment of road construction materials and technologies with the use of production wastes. *E3S Web of Conferences*. 265. 04007. 10.1051/e3sconf/202126504007.
33. Mundhe, Ms & Dhawale, Arun. (2018). An Overview of Use of Waste Plastic In Road Construction. *Journal of Advances and Scholarly Researches in Allied Education*. 15. 446-448. 10.29070/15/56864.
34. Ogundana, Ayodeji & Afolalu, Adeniran. (2024). Waste Glass in Road Construction: A Review. *Key Engineering Materials*. 974. 3-11. 10.4028/p-2RZXAl.
35. Ogundana, Ayodeji. (2023). Waste Plastic in Road Construction, Pathway to a Sustainable Circular Economy: A Review. *E3S Web of Conferences*. 391. 10.1051/e3sconf/202339101116.

36. Olugbenga, Oyedepo. (2019). Utilization of Industrial Waste Products in the Production of Asphalt Concrete for Road Construction. *Slovak Journal of Civil Engineering*. 27. 11-17. 10.2478/sjce-2019-0026.
37. Pasetto, M., and N. Baldo. (2012). "Laboratory Investigation on Foamed Bitumen Bound Mixtures Made with Steel Slag, Foundry Sand, Bottom Ash and Reclaimed Asphalt Pavement." *Road Materials and Pavement Design* 13 (4): 691–712. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.742629>
38. Pirakasam A, V Harshidha, TM Mahalakshmy, K Arthi and R Aarthi (2022). Use of waste tyres and plastics for road constructions, *Magna Scientia Advanced Engineering and Technology*, 01(01), 030–037, <https://doi.org/10.30574/msaet.2022.1.1.0057>
39. Prathap M G, & J.S, Sudarsan & N., Balaji. (2020). Experimental Study on Usage of Industrial Waste in Road Construction. *AIP Conference Proceedings*. 2277. 10.1063/5.0025309.
40. Rashad, Alaa M. (2017). "Industrial Waste as a construction material." *Journal of cleaner production* 166: 732–743. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.049>
41. Rawat, Parul & Mohanty, Supriya. (2022). Study of Municipal Solid Waste in Road Embankment. In book: *Proceedings of the 7th Indian Young Geotechnical Engineers Conference* (pp.195-207), 10.1007/978-981-16-6456-4_22.
42. Reid M., (2000). *The use of alternative materials in road construction*, TRL.
43. Rouabah, Kamel & Abdesselam, Zergua & Ahmed, Beroual & Guetteche, Mohamed. (2013). Recovery and Use of Blast Furnace Slag in the Field of Road Construction in Algeria. *Open Journal of Civil Engineering*. 03. 113-118. 10.4236/ojce.2013.32013.
44. Ruba, Umama & Chakma, Kakon & Senthil, Jarrin & Rahman, Saidur. (2021). Impact of Industrial Waste on Natural Resources: A Review in the Context of Bangladesh. *Current World Environment*. 16. 348-361. 10.12944/CWE.16.2.03.
45. Sahu, Vaishali & Misra, Anil & V, Gayathri. (2022). *Fly ash in road construction*. 10.1016/b978-0-12-817686-3.00024-4.
46. Samarakoon, M., Ranjith, P., Duan, W.H., Haque, A., Chen, B.K., 2021. Extensive use of wasteglass in one-part alkali-activated materials: towards sustainable construction practices. *Waste Manag.* 130, 1–11.
47. Schneider, Petra & Ahmed, Naveedh & Mihai, Florin & Belousova, Anna & Kucera, Radek & Oswald, Klaus-Dieter & Lange, Thomas & Le Hung, Anh. (2023). Life Cycle Assessment for Substitutive Building Materials Using the Example of the Vietnamese Road Sector. *Applied Sciences*. 13. 6264. 10.3390/app13106264.
48. Shanbayev, Maxat & Turgumbayeva, Khalima & Blumberga, Dagnija & Beysekova, Tuleuzhan. (2021). Features of the Technology of Application of Industrial Waste in

- the Construction of Constructive Layers of Roadwear. *Environmental and Climate Technologies*. 25. 965-977. 10.2478/rtuct-2021-0073.
49. Srivastava, R.R., D.K. Rajak, S. Ilyas, H. Kim, P. Pathak. (2023). Challenges, regulations, and case studies on sustainable management of industrial waste. *Minerals* 13(1), 1, <https://doi.org/10.3390/min13010051>
 50. Taher, S.M., Saadullah, S.T., Haido, J.H., Tayeh, B.A.,2021. Behavior of geopolymer concrete deep beams containing waste aggregate of glass and limestone as a partial replacement of natural sand. *Case Stud. Constr. Mater.* 15, e00744.
 51. Tharakupeedikayil Abdul Majeed, Sajeena & Pallath, Nisha. (2023). *Industrial Waste*. In book: *Handbook of Biomass* (pp.1-16), 10.1007/978-981-19-6772-6_9-1. https://www.researchgate.net/publication/374318821_Industrial_Waste
 52. Tladi, Motlatso & Mashifana, Tebogo & Sithole, Thandiwe. (2023). Utilization of Plastic Waste and Waste Rubber Tyres to Modify Bitumen Binder in Road Construction. *Key Engineering Materials*. 947. 131-138. 10.4028/p-16e0qr.
 53. Τσώχος Γ., *Χρήση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων και Εναλλακτικών Υλικών στην Οδοποιία*, Ημερίδα Εργαστηρίου Οδοποιίας, Μάϊος 2004
 54. Tushar, Q., Santos, J., Zhang, G., Bhuiyan, M.A., Giustozzi, F., 2022b. Recycling waste vehicle tyres into crumb rubber and the transition to renewable energy sources: a comprehensive life cycle assessment. *J. Environ. Manag.* 323, 116289.
 55. UEPG. (2017). European Aggregates Association Annual Review 2016-2017. AR_2016-2017. Brussels: European Aggregate Association. (uepg.eu).
 56. Vestin, Jenny & Arm, Maria & Nordmark, Désirée & Lagerkvist, Anders & Hallgren, Per & Lind, Bo. (2012). Fly ash as a road construction material. Conference: Int Conf on Environmental and technical implications of construction with alternative materials, WASCON 2012At: Gothenburg, Sweden
 57. Walotek, Konrad & Bzówka, Joanna & Ciołczyk, Adrian. (2022). *Impact of Shredded Rubber Waste (SRW) on the Range of Elastic Work of Road Construction Mixtures Containing Industrial Waste Bound with a Binder*. *Materials*. 15. 8503. 10.3390/ma15238503.
 58. <https://archive.epa.gov/oswer/international/web/html/byproducts-guidance-053007.html>