



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Πτυχιακή Εργασία**

**«Εναλλακτικές μέθοδοι εκσκαφής και αντιστήριξης σε τεχνικά έργα – Μελέτες  
περιβαλλοντικών επιπτώσεων»**

**"Alternative excavation and support methods in technical projects - Environmental impact  
studies"**

**Όνομα φοιτήτριας: Ελένη Σαμπατακάκη**

**Επιβλέπων: Δρ. Δημήτριος Χριστοδούλου, Επίκουρος Καθηγητής**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του Πτυχίου του  
Τμήματος Περιβάλλοντος

Λάρισα, 2023

**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.

Επώνυμο: Σαμπατακάκη

Όνομα: Ελένη

Αριθμός Μητρώου: 3019127

Ημερομηνία: 22-06-2023

Υπογραφή

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

.....

.....

.....

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται το ζήτημα των εναλλακτικών μεθόδων εκσκαφής και αντιστήριξης σε τεχνικά έργα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αναφέρονται οι βασικότερες εναλλακτικές και μη μέθοδοι εκσκαφών και αντιστήριξης, ο μηχανικός εξοπλισμός που απαιτείται για την υλοποίησή τους, οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και επίσης οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνία. Οι μέθοδοι εκσκαφών χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το υλικό που πρόκειται να εκσκαφτεί, τη μορφολογία του εδάφους και άλλα χαρακτηριστικά. Κάθε κατηγορία απαιτεί διαφορετικό μηχανικό εξοπλισμό, οχήματα και γενικότερα διαφορετικό χειρισμό.

Σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναλύεται η διαδικασία μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επίσης γίνεται αναφορά στα σχετικά νομοθετικά πλαίσια που επιβάλλονται από την Ε.Ε. Ένα από τα σοβαρότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από τις εκσκαφές και τα κατασκευαστικά έργα, είναι τα απόβλητα, οι εκπομπές αερίων και τα ορυκτέλαια από τα μηχανήματα και τα οχήματα. Στην εργασία αναλύονται οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι βλαβερές επιπτώσεις στο περιβάλλον από τις κυριότερες κατασκευαστικές δραστηριότητες. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που αναλύεται στην παρούσα εργασία, είναι οι τρόποι πρόληψης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα κατασκευαστικά έργα.

**Λέξεις-κλειδιά:** εναλλακτικοί μέθοδοι εκσκαφής, μέθοδοι αντιστήριξης, περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

## **Abstract**

This project deals with the question of alternative methods of excavation and support in technical projects and the environmental effects. The main alternative and non-excavation and support methods, the mechanical equipment required for their implementation, the factors influencing the choice of the appropriate method and also the effects on the environment and society are mentioned. Excavation methods are divided into categories depending on the material to be excavated, soil morphology and other characteristics. Each category requires different mechanical equipment, vehicles and generally different handling.

Regarding the environmental impacts, the environmental impact study process is analyzed and reference is also made to the relevant legislative frameworks imposed by the EU. One of the most serious environmental problems arising from excavation and construction projects is waste, gas emissions and mineral oils from machinery and vehicles. The work analyzes the ways in which the harmful effects on the environment from the main construction activities can be minimized. A very important element that is analyzed in this work is the ways to prevent environmental impacts in construction projects.

**Keywords:** alternative excavation methods, retaining methods, environmental impact.

# Περιεχόμενα

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....                                                                                               | iii |
| Abstract.....                                                                                               | iv  |
| Κατάλογος Εικόνων.....                                                                                      | vii |
| Κατάλογος Ακρωνυμίων.....                                                                                   | ix  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                                                                               | 1   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....                                                                               | 2   |
| ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΚΣΚΑΦΩΝ.....                                                                                   | 2   |
| 1.1. Οι ανασκαφές - Ιστορική αναδρομή.....                                                                  | 2   |
| 1.2. Τι είναι η εκσκαφή.....                                                                                | 4   |
| 1.3. Οι κυριότεροι τύποι εκσκαφών.....                                                                      | 5   |
| 1.4. Μηχανική εκσκαφή – οχήματα.....                                                                        | 8   |
| 1.5. Παράγοντες επιλογής τύπου εκσκαφής.....                                                                | 10  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....                                                                               | 14  |
| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....                                                                                    | 14  |
| 2.1. Επιφανειακές εκσκαφές.....                                                                             | 14  |
| 2.1.1. Είδη και περιγραφή.....                                                                              | 14  |
| 2.2. Υπόγειες εκσκαφές.....                                                                                 | 18  |
| 2.2.1. Υπόγειες εκσκαφές σύμφωνα με τη θέση διάνοιξης.....                                                  | 20  |
| 2.2.2. Υπόγειες εκσκαφές ανάλογα με τις συνθήκες εδάφους, τον περιβάλλοντα χώρο και το είδος του έργου..... | 20  |
| 2.2.3. Μηχανικός εξοπλισμός που απαιτείται.....                                                             | 23  |
| 2.2.4. Υπόγειες εκσκαφές για την αποθήκευση πηγών ενέργειας.....                                            | 24  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....                                                                               | 26  |
| ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΣΚΑΦΩΝ.....                                                                          | 26  |
| 3.1. Η Μέθοδος πλήρους ανοιχτής τομής (open cut method).....                                                | 26  |
| 3.1.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία.....                                                        | 26  |
| 3.1.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....                                                                 | 28  |
| 3.2. Μέθοδος εκσκαφής με αντιστήριξη.....                                                                   | 29  |
| 3.2.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία.....                                                        | 29  |
| 3.2.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....                                                                 | 31  |
| 3.3. Η μέθοδος με εκσκαφέα κενού (εκσκαφή υπό κενό) ή Υδροεκσκαφή.....                                      | 32  |
| 3.3.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία.....                                                        | 33  |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....                          | 34 |
| 3.4. Μέθοδος NATM.....                                               | 35 |
| 3.4.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία.....                 | 35 |
| 3.4.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....                          | 37 |
| 3.5. Η μέθοδος αγκυρωμένης εκσκαφής.....                             | 38 |
| 3.5.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία.....                 | 38 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> .....                                        | 40 |
| ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ .....                | 40 |
| 4.1. Τι είναι η κατασκευή αντιστήριξης.....                          | 40 |
| 4.3. Κατασκευές αντιστήριξης - Ιστορική αναδρομή .....               | 42 |
| 4.3. Είδη κατασκευών αντιστήριξης.....                               | 43 |
| 4.3.1. Εσωτερικές και εξωτερικές κατασκευές αντιστήριξης.....        | 43 |
| 4.3.2. Συστήματα τοίχων αντιστήριξης.....                            | 48 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> .....                                        | 61 |
| ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....                                     | 61 |
| 5.1. Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) .....                  | 61 |
| 5.1. Τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (CDW) .....             | 65 |
| 5.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την υλοποίηση εκσκαφής.....      | 65 |
| 5.3. Οι στόχοι της Ε.Ε.....                                          | 66 |
| 5.3.1. Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία. ....                                   | 66 |
| 5.4. Εναλλακτικές μέθοδοι εκμετάλλευσης των απόβλητων.....           | 67 |
| 5.4.1. Τα BC Materials.....                                          | 67 |
| 5.4.2. Η μέθοδος LCA .....                                           | 67 |
| 5.5. Μέτρα για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ..... | 68 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> .....                                        | 70 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                                   | 70 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                                    | 71 |
| Παραρτήματα.....                                                     | 77 |

## Κατάλογος Εικόνων

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1.Ο πρώτος εκσκαφέας ατμού, .....                                         | 3  |
| Εικόνα 2 .Η πρώτη φωτογραφία του εκσκαφέα ατμού το 1872 .....                    | 3  |
| Εικόνα 3. Εκσκαφέας τύπου Caterpillar 321C.....                                  | 5  |
| Εικόνα 4. Εξερεύνηση της περιοχής πριν από την εκσκαφή (20).....                 | 9  |
| Εικόνα 5. Διαρροή νερού κατά την εκσκαφή (23).....                               | 11 |
| Εικόνα 6. Εκσκαφές πολύ μεγάλης κλίμακας. ....                                   | 12 |
| Εικόνα 7. Εκσκαφή Μικρής κλίμακας (25).. ....                                    | 13 |
| Εικόνα 8. Ταξινόμηση τύπων επιφανειακών εκσκαφών (26). ....                      | 15 |
| Εικόνα 9. Διαδικασία επιφανειακής εκσκαφής ύδατος και εδάφους (27). ....         | 16 |
| Εικόνα 10. Επιφανειακή εκσκαφή μικρού βάθους .....                               | 17 |
| Εικόνα 11. Επιφανειακή εκσκαφή σε βραχώδες έδαφος (28).....                      | 17 |
| Εικόνα 12. Υπόγεια εκσκαφή (7). ....                                             | 18 |
| Εικόνα 13. Ταξινόμηση υπόγειων εκσκαφών. ....                                    | 19 |
| Εικόνα 14. Μηχάνημα για το άνοιγμα μεγάλης σήραγγας στο Ντάλας .....             | 23 |
| Εικόνα 15. Μία μηχανή διάνοιξης σήραγγας.....                                    | 24 |
| Εικόνα 16. Εκσκαφή για υπόγεια αποθήκευση ενέργειας (33).....                    | 25 |
| Εικόνα 17. Μέθοδος εκσκαφής πλήρους ανοιχτής τομής με πλαϊνές κλίσεις (40). .... | 27 |
| Εικόνα 18. Μέθοδος εκσκαφής πλήρους ανοιχτής τομής με πρόβολο (40). ....         | 28 |
| Εικόνα 19. Μέθοδος εκσκαφής με σύστημα αντιστήριξης (41). ....                   | 29 |
| Εικόνα 20. Εκσκαφή με τη μέθοδο της αντιστήριξης (40). ....                      | 30 |
| Εικόνα 21. Μέθοδος εκσκαφής με το σύστημα Sheet Pile (43). ....                  | 31 |
| Εικόνα 22. Εκσκαφή με τη χρήση εκσκαφέα κενού (45). ....                         | 32 |
| Εικόνα 23. Τα στάδια της διαδοχικής μεθόδου εκσκαφής NATM (49). ....             | 35 |
| Εικόνα 24. Η μέθοδος της αγκυρωμένης εκσκαφής (40). ....                         | 38 |
| Εικόνα 25. Στηρίγματα κυλίνδρου σε κατασκευή γέφυρας (53). ....                  | 44 |
| Εικόνα 26. Αρθρωτό στήριγμα σε γέφυρα στο Σίδνεϋ (54).....                       | 45 |
| Εικόνα 27. Καρφισσωμένη υποστήριξη (55). ....                                    | 45 |
| Εικόνα 28. Κατασκευή σταθερού στηρίγματος (54).....                              | 46 |
| Εικόνα 29. Μέθοδος στηρίγματος ελατηρίου (56). ....                              | 47 |
| Εικόνα 30. Είδη κατασκευών αντιστήριξης.....                                     | 48 |
| Εικόνα 31. Διαφορετικοί τύποι τοίχων αντιστήριξης. ....                          | 50 |
| Εικόνα 32. Τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας (33). ....                              | 51 |
| Εικόνα 33. Τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας (14). ....                              | 51 |
| Εικόνα 34. Τοίχος πασσάλων. ....                                                 | 52 |
| Εικόνα 35. Τοίχος αντιστήριξης με προβόλους .....                                | 53 |
| Εικόνα 36. Υποστηριζόμενος τοίχος πασσάλων .....                                 | 54 |
| Εικόνα 37. Συνεχόμενος τοίχος πασσάλων.....                                      | 55 |
| Εικόνα 38. Τοίχος πασσάλων σε τέμνουσα ή εφραπτόμενη .....                       | 56 |
| Εικόνα 39.Τοίχος αντιστήριξης με πασσάλους.....                                  | 56 |
| Εικόνα 40. Τοίχος αντιστήριξης με ελικοειδείς άγκυρες .....                      | 57 |
| Εικόνα 41. Τοίχος αντιστήριξης με τη μέθοδο Gabion Tail (57).....                | 58 |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 42. Τοίχος αντιστήριξης με άγκυρες πλάκας (58). .....                    | 59 |
| Εικόνα 43. Μέθοδος αντιστήριξης με αρθρωτή βάση και με σταθερή βάση (59). ..... | 60 |

## Κατάλογος Ακρωνυμίων

|      |                                                                                                   |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OSHA | Occupational Health and Safety Organization<br>Οργανισμός Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία       |
| E.E. | Ευρωπαϊκή Ένωση                                                                                   |
| GIS  | Geographic Information Systems                                                                    |
| RS2  | Rock and Soil 2-dimensional analysis program<br>Πρόγραμμα ανάλυσης 2-διάστατων βράχου και εδάφους |
| UGS  | Underground Gas Storage – Υπόγεια αποθήκευση αερίου                                               |
| HS   | Hydrogen Storage – Αποθήκευση Υδρογόνου                                                           |
| CAES | Compressed Air Energy Storage - Αποθήκευση Ενέργειας<br>Συμπιεσμένου Αέρα                         |
| UPHS | Underground Pumped Hydro Storage - Υπόγεια Αντλούμενη<br>Υδρολογική Αποθήκευση                    |
| TES  | Thermal Energy Storage - Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας                                            |
| NATM | New Australian Tunneling method                                                                   |
| CDW  | Construction and demolition waste - Τα απόβλητα<br>κατασκευών και κατεδαφίσεων                    |
| ISO  | International Organization for Standardization – Διεθνής<br>Οργανισμός Τυποποίησης                |
| EOA  | Ειδική οικολογική Αξιολόγηση                                                                      |

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες ο αριθμός των κατασκευαστικών έργων αυξάνεται και ειδικότερα των εκσκαφών για τη δημιουργία σηράγγων και άλλων υπόγειων έργων, κτηρίων, σιδηροδρομικών μεταφορών και άλλων. Η παρούσα εργασία μελετά κυρίως τα έργα των εκσκαφών, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους και το υλικό που πρόκειται να εκσκαφθεί ή το βάθος της εκσκαφής, όπως επιφανειακές και οι εν τω βάθει. Με διαφορετικό τρόπο πραγματοποιούνται οι εκσκαφές σε βραχώδη εδάφη και με διαφορετικό οι εκσκαφές για τη δημιουργία υπόγειας σήραγγας σε μαλακά εδάφη. Για τον λόγο αυτό απαιτείται σε κάθε τύπο εκσκαφής και ο κατάλληλος μηχανολογικός εξοπλισμός και οχήματα.

Σε πολλά από αυτά τα έργα περιλαμβάνεται και η κατασκευή έργων αντιστήριξης, όπως τοίχων αντιστήριξης, αντιστήριξη με προβόλους ή πασσάλους. Η αύξηση των κατασκευαστικών έργων έχει επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, την κοινωνία και την εθνική οικονομία.

Η ανακάλυψη νέων εναλλακτικών μεθόδων εκσκαφής και αντιστήριξης παρέχει αποδοτικότητα και ταυτόχρονα ελαχιστοποιούνται οι ρύποι, τα απόβλητα, τα ορυκτέλαια και ηχητικοί ρύπανση και γενικότερα όλες οι βλαβερές ενέργειες που επιβαρύνουν το περιβάλλον και τη φύση.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καθιερώσει τους κατάλληλους κανονισμούς και μέτρα για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. θα πρέπει να υλοποιούν τα κατασκευαστικά τους έργα μέσα στα πλαίσια των νομοθεσιών, για την βέλτιστη και ασφαλέστερη απόδοση του έργου αλλά και την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που βλάπτουν το περιβάλλον (Duan, 2005).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΚΣΚΑΦΩΝ

### 1.1. Οι ανασκαφές - Ιστορική αναδρομή

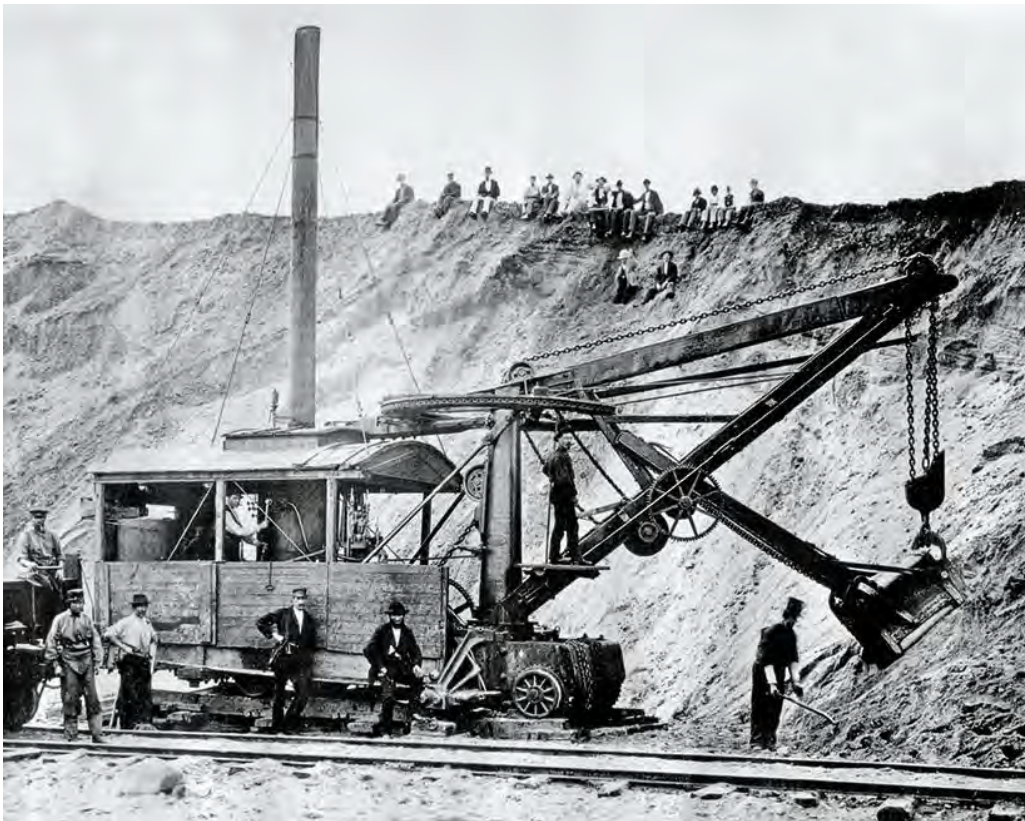
Η έννοια της ανασκαφής υπήρχε από τις πολύ πρώιμες μέρες της ανθρωπότητας, ως η διαδικασία κατά την οποία οι άνθρωποι καθάριζαν με τα χέρια τους το έδαφος από βράχους, δέντρα και άλλα εμπόδια με σκοπό να χτίσουν τα σπίτια τους σε επίπεδο έδαφος. Εκείνη την εποχή δεν υπήρχε η ονομασία ανασκαφή, όμως η κεντρική ιδέα ήταν η ίδια. Δεν ήταν δυνατό να χτίσουν τα σπίτια τους εκεί όπου υπήρχαν μεγάλα δέντρα, διότι δεν είχαν ανακαλυφθεί ακόμη τα κατάλληλα εργαλεία και μηχανήματα, οπότε οι άποικοι της εποχής εκείνης έχτιζαν μόνο σε περιοχές όπου υπήρχαν μόνο μικρά εμπόδια όπως χόρτα, μικρά φυτά και μικροί βράχοι ή πέτρες. Οι εργασίες όλες πραγματοποιούνταν με το χέρι και με εργαλεία που κατασκεύαζαν οι ίδιοι κυρίως από πέτρες. Γύρω στο 4.000 π.Χ. δημιουργήθηκαν τα πρώτα εργαλεία για το κόψιμο των δέντρων «οι πελέκειες», ωστόσο η κατασκευή σπιτιού σε περιοχές με μεγάλα δέντρα δεν ήταν ακόμη εφικτή. Τον 15<sup>ο</sup> αιώνα με τη χρήση των αλόγων η αφαίρεση δέντρων από το έδαφος γίνεται εφικτή και πραγματοποιούνται εκσκαφές για την κατασκευή σπιτιών. Τα άλογα ήταν το μηχανήμα της εποχής εκείνης που πραγματοποιούσε το τράβηγμα των δέντρων, βράχων και εμποδίων που υπήρχαν στη γη για την πραγματοποίηση της εκσκαφής. Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα ανακαλύφθηκε το τρακτέρ και έπειτα η τεχνολογία άρχισε να εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς. Κατά την αυγή του 20<sup>ου</sup> αιώνα κατασκευάστηκε ο «εκσκαφέας», ένα μηχανήμα το οποίο ήταν ικανό να σκάψει τρύπες στο έδαφος σε πολύ μεγάλο βάθος μέσα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα λίγων λεπτών. Ο εκσκαφέας της εποχής εκείνης ήταν ένα φτυάρι ατμού, με το οποίο κατασκευάστηκαν έργα όπως η Διώρυγα του Παναμά. Εφευρέθηκε το 1839 από τον William Otis και ήταν γνωστή ως μηχανή «μερικής αιώρησης» διότι η μπούμα δεν μπορούσε να επιστραφεί κατά 360° (Εικ. 1 και 2) (Liang, 2021).

Έως τη δεκαετία του 1930 εφευρέθηκε ένας διαφορετικός τύπος εκσκαφέα ισχυρότερος και αποτελεσματικότερος από τον ατμοκίνητο. Ο δεύτερος εκσκαφέας ήταν πετρελαιοκίνητος καθιστώντας εκείνον του ατμού ξεπερασμένο. Οι καινούργιοι πλέον εκσκαφείς ήταν πιο γρήγοροι και είχαν τη δύναμη να σκάβουν σε μεγαλύτερο βάθος, ωστόσο δεν ήταν εύκολοι στον χειρισμό τους επάνω σε λόφους και απότομες πλαγιές και υπήρχε έλλειψη ακρίβειας. Επιπλέον ήταν επιρρεπείς σε ανατροπές.

Στην σύγχρονη εποχή η όλη διαδικασία της ανασκαφής καθοδηγείται από την τεχνολογική ανάπτυξη, είναι πιο γρήγορη, ακριβής και αποτελεσματική σε σχέση με τις τεχνικές που χρησιμοποιούνταν πριν από εκατό χρόνια (Liang, 2021).



*Εικόνα 1. Ο πρώτος εκσκαφέας ατμού, μία μεγάλη ατμοκίνητη μηχανή για την ανύψωση και τη μετακίνηση υλικών όπως βράχοι και χώμα (Anon., 2023).*



*Εικόνα 2. Η πρώτη φωτογραφία του εκσκαφέα ατμού το 1872 στην κατασκευή του σιδηρόδρομου Midland κοντά στο Person new Jersey (Anon., 2023)*

## 1.2. Τι είναι η εκσκαφή

Σύμφωνα με την Papadopoulou και συνεργάτες (2020), εκσκαφή ονομάζεται η διαδικασία κατά τη οποία μετακινείται τμήμα από τη γη, από βράχο ή άλλα υλικά με τη χρήση εργαλείων, εξοπλισμού ή άλλων μέσων όπως εκρηκτικά. Η διαδικασία της εκσκαφής περιλαμβάνει χωματουργικές εργασίες, φρεάτια τοίχων σήραγγες, χαράξεις και υπόγεια. Περιλαμβάνει μία σειρά από σημαντικές διαδικασίες όπως η εξερεύνηση, η εξόρυξη, η κατασκευή και η περιβαλλοντική αποκατάσταση και πραγματοποιείται στις κατασκευές για τη δημιουργία δρόμων, θεμελίων στα κτήρια και δεξαμενών. Όλα τα στάδια που περιλαμβάνει η εκσκαφή, απαιτούν εξειδικευμένες τεχνικές, τη χρήση ειδικών εργαλείων και μηχανημάτων, έτσι ώστε η διαδικασία να πραγματοποιηθεί σωστά και εξαρτώνται από τη δομή που θα προκύψει από τη διαδικασία κατασκευής (Papadopoulou, 2020).

Σύμφωνα με τον OSHA (Occupational Health and Safety Organization), (2015), εκσκαφή είναι οποιαδήποτε τεχνητή τομή, κοιλότητα ή τάφος σχηματίζεται στην επιφάνεια της Γης από την αφαίρεση τμήματος γης (OSHA, 2015).

Άλλοι ερευνητές όπως η Nie (2019) αναφέρουν ότι γενικά εκσκαφή ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται η αφαίρεση της γης με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μία κοιλότητα. Σε μικρούς και περιορισμένους χώρους η εκσκαφή μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση εργαλείων όπως λαβές, καρότσια και φτυάρια, ενώ όταν οι εργασίες είναι μεγαλύτερης κλίμακας, απαιτείται η χρήση μεγάλων μηχανημάτων όπως μπουλντόζες και οπίσθιες μηχανές (Nie, 2019).

Οι εκσκαφές είναι ένα από τα σημαντικότερα έργα στον κλάδο των τεχνικών έργων. Τα τελευταία χρόνια έχουν εισαχθεί διάφορες τεχνολογίες με σκοπό την πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας της εκσκαφής, αποτελώντας ένα τρόπο βελτίωσης της αισθητικής και της παραγωγικότητας στον τομέα των τεχνικών έργων (Yeom et al., 2019).

Σύμφωνα με την E.E. (European Union, 2021) η εκσκαφή είναι η διαδικασία κατά την οποία μετακινούνται βράχοι ή άλλα υλικά με τη χρήση εργαλείων, ειδικού εξοπλισμού ή εκκριτικών μέσων, πολλές φορές για περαιτέρω χρήση ή επεξεργασία. Οι σημαντικοί τομείς εφαρμογής που περιλαμβάνουν τις εκσκαφές είναι οι τομείς εξερευνήσεων, εξόρυξης, αποκατάστασης εδάφους και της κατασκευής.

Παραδείγματα εκσκαφών αναφέρουν συγγραφείς όπως ο Chen και λοιποί (2013), ο οποίος απεικονίζει ένα βαθύ λάκκο μεγάλης κλίμακας ο οποίος ανασκάφθηκε με την τεχνική κεντρικής νησίδας, η οποία χωρίστηκε σε δύο μέρη με ένα κυκλικό τοίχο αντιστήριξης, στο Πεκίνο. Ο Shen (2012) αναφέρει μία διαδικασία ανασκαφής στο Tianjin της Κίνας σύμφωνα με την οποία πραγματοποιήθηκαν 12 ανεξάρτητοι λάκκοι παρακείμενοι ή συνδεδεμένοι μεταξύ τους, για την κατασκευή γραμμής του υπόγειου σιδηρόδρομου. Στον δυτικό κόσμο και συγκεκριμένα στο Τορόντο του Καναδά ο Cao και λοιποί (2016) αναφέρουν σε μελέτη τους παραδείγματα εκσκαφών και κυρίως μεγάλου βάθους λόγω της φύσης του πυκνοκατοικημένου αστικού κέντρου και της ανάγκης για την κατασκευή επιπέδων υπογείων σε έδαφος για πολυώροφα κτίρια (Εικ. 3). Η εκσκαφή πραγματοποιείται σύμφωνα με το είδος της κατασκευής που πρόκειται να πραγματοποιηθεί ή το υλικό που πρόκειται να εκσκαφθεί.



*Εικόνα 3. Εκσκαφέας τύπου Caterpillar 321C σκάβει στην κορυφή ενός ψηλού σωρού χώματος στη νοτιοανατολική γωνία της τοποθεσίας ανασκαφής Couture Contos στο Ted Rogers Way στη γειτονιά Bloor Jarvis, στο Τoróntonτο του Καναδά (Anon., 2023).*

### 1.3. Οι κυριότεροι τύποι εκσκαφών

Οι τύποι των εκσκαφών διαχωρίζονται σύμφωνα με διάφορους παράγοντες. Με βάση τη φύση του εδάφους οι τύποι των εκσκαφών κατατάσσονται ως εξής:

- Εκσκαφές σε χαλαρά εδάφη.

Χαλαρά, συμπιεστά ή οργανικά εδάφη θεωρούνται οι επιφανειακές εδαφικές στρώσεις όπου εντάσσονται τα οργανικά εδάφη, η ίλυσ, οι φυτικές γαίες, η τύφρη και τα εδάφη που προέρχονται από επιχωματώσεις με ανομοιογενή υλικά (Golser, 2021).

- Εκσκαφές σε εδάφη γαιώδη – ημιβραχώδη εδάφη.

Περιλαμβάνουν κάθε είδους εδαφικών σχηματισμών όπως ο πηλός, η μάργα, ο άργιλος, τα χαλίκια, τα αμμοχάλικα, οι κροκάλες, οι λατύπες, οι λίθοι, τα είδη πετρωμάτων τα οποία είναι κατακερματισμένα, εύθραυστα, αποφλοιούμενα ή αποσαθρωμένα, τα εύθρυπτα, οι στρώσεις άμμου ή χαλικιών οι οποίες είναι σταθεροποιημένες λόγω χημικών αντιδράσεων, οι στρώσεις μάργας, ή άλλων σκληρών εδαφών τα οποία είναι επαρκώς συγκολλημένα ή συνδεδεμένα, χωρίς λίθους διαμέτρου μεγαλύτερης των 200 mm. Σε αυτές τις περιπτώσεις εκσκαφών δεν απαιτείται η χρήση κρουστικού εξοπλισμού ή εκρηκτικών (Gupta, 2016).

- Εκσκαφές σε εδάφη βραχώδη.

Οι εκσκαφές σε βραχώδη εδάφη μπορεί να γίνουν με τη χρήση κρουστικού εξοπλισμού, όπως είναι οι υδραυλικές σφύρες ή οι αερόσφυρες ή/και με τη χρήση διογκωτικών υλικών. Επίσης οι εκσκαφές αυτού του τύπου μπορεί να γίνουν με τη χρήση εκρηκτικών υλικών. Ένα έδαφος βραχώδες αποτελείται από συμπαγές πέτρωμα στο οποίο είναι αδύνατον να πραγματοποιηθεί εκσκαφή εάν δεν χαλαρωθεί με τη χρήση εκρηκτικών ή κρουστού εξοπλισμού, όπως είναι η αερόσφυρα ή η υδραυλική σφύρα. Σε αυτή την κατηγορία εδάφους περιλαμβάνονται και μεμονωμένοι ογκόλιθοι οι οποίοι ξεπερνούν σε μέγεθος τα 0,50 m<sup>3</sup> (Chen, 2014).

Οι εκσκαφές με βάση τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται χωρίζονται σε:

- Εκσκαφές που πραγματοποιούνται με χωματουργικά μηχανήματα, όπως οι εκσκαφείς και οι προωθητές,
- Σε εκσκαφές που πραγματοποιούνται αποκλειστικά με εργαλεία χειρός οι οποίες αποτελούν ένα μικρό ποσοστό εκσκαφών,
- Οι εκσκαφές που πραγματοποιούνται με τη χρήση εκρηκτικών και διογκωτικών υλικών χαλάρωσης του εδάφους και
- Οι εκσκαφές οι οποίες πραγματοποιούνται με τη χρήση κρουστικού εξοπλισμού όπως οι αερόσφυρες και οι υδραυλικές σφύρες.

- Μαζική εκσκαφή.

Έτσι ονομάζονται οι εκσκαφές κατά τις οποίες αναγκαία θεωρείται η αφαίρεση δέντρων από το τμήμα γης όπου θα πραγματοποιηθεί η εκσκαφή καθώς επίσης και τμήματος επιφανειακού εδάφους, πριν δημιουργηθεί η μεγάλη οπή στο έδαφος. Με τη χρήση φορτηγών ανασύρονται τα συντρίμια και με τη χρήση μπουλντόζας ισοπεδώνεται το έδαφος (Golser, 2021).

- Εκσκαφή θεμελίωσης.

Οι εκσκαφές θεμελίωσης πραγματοποιούνται για την προετοιμασία του εδάφους έτσι ώστε να τοποθετηθούν τα θεμέλια για την κατασκευή κάποιου κτιρίου. Η διαδικασία της εκσκαφής σε αυτή την περίπτωση γίνεται με τη χρήση ενός υδραυλικού εκσκαφέα με λείζερ έτσι ώστε να εκτελεστεί η διαδικασία της εκσκαφής με ακρίβεια και υψηλή απόδοση. Παλαιότερα για την ολοκλήρωση μιας εκσκαφής θεμελίωσης απαιτούνταν κάποιες εβδομάδες, ενώ με την εξέλιξη των μέσων απαιτούνται πλέον μόνο μερικές ημέρες, ανάλογα με το βάθος και το μέγεθος της βάσης (Cao, 2013).

- Εκσκαφή τάφρων.

Η εκσκαφή τάφρων πραγματοποιείται κυρίως για έργα όπως γραμμές αποχέτευσης, για την τοποθέτηση ηλεκτρικών καλωδίων και επικοινωνίας ή για τις σωλήνες νερού. Η διαδικασία της εκσκαφής τάφρων πραγματοποιείται με τη χρήση εκσκαφέα και ανάλογα με το βάθος και το πλάτος του χώρου που απαιτείται να εκσκαφθεί (Heikkinen, 2021).

Οι εκσκαφές ανάλογα με το υλικό που εξορύσσεται διακρίνονται σε:

- Εκσκαφή άμμου και λεπτού εδάφους.

Το είδος αυτό της εκσκαφής είναι από τα βασικά και περιλαμβάνει την αφαίρεση υλικών από το έδαφος όπως η άμμος. Σε πολλές περιπτώσεις αυτό το είδος εκσκαφής πραγματοποιείται για την μετακίνηση και μετέπειτα συσκευασία του υλικού ή σε άλλες περιπτώσεις απλά για την απομάκρυνση του υλικού από την περιοχή (European Union, 2021).

- Εκσκαφή φυτικών γαιών.

Η εκσκαφή αυτού του είδους καθορίζεται από το υλικό που αφαιρείται από το έδαφος, όπως το ανώτερο επίπεδο του εδάφους το οποίο περιλαμβάνει τη βλάστηση και τη ζώνη των ριζών του. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για να αφαιρεθεί οτιδήποτε είναι αναγκαίο, ανάλογα με το έργο για το οποίο πραγματοποιείται η εκσκαφή. Εάν για παράδειγμα η εκσκαφή πραγματοποιείται για την κατασκευή ενός κτιρίου, τότε οτιδήποτε

είναι ακατάλληλο να φέρει δομικά φορτία, αφαιρείται, όπως η βλάστηση, τμήμα του εδάφους και οποιοδήποτε άλλο υλικό του εδάφους. Η εκσκαφή φυτικού εδάφους είναι μια από τις πιο συχνά εκτελεσμένες μεθόδους εκσκαφής (Li, 2021).

➤ Εκσκαφή βράχου.

Η εκσκαφή βράχου αποτελεί έναν από τους δυσκολότερους τύπους εκσκαφών, λόγω της φύσης του υλικού που πρέπει να εκσκαφθεί. Είναι η διαδικασία καθαρισμού βραχώδους εδάφους και επιφανειών και πραγματοποιείται κατά την προετοιμασία της περιοχής ενός κατασκευαστικού έργου. Ο συμβατικός τύπος εξοπλισμού όπως οι εκσκαφείς και οι λαβές, δεν είναι η ιδανική επιλογή εξοπλισμού σε αυτές τις περιπτώσεις. Λόγω της κλίμακας και της σκληρότητας του εδάφους και των πετρωμάτων ο συμβατικός εξοπλισμός δεν είναι αποτελεσματικός στη διάσπαση και την αφαίρεση του συγκεκριμένου υλικού. Το είδος του απαραίτητου εξοπλισμού εξαρτάται από το μέγεθος των βράχων και σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η χρήση εκρηκτικών υλικών για να επιτευχθεί αποτελεσματικά η διάσπαση των βράχων και η διεύθυνση σε βάθος του εδάφους (European Union, 2021).

➤ Εκσκαφή λάσπης.

Αυτό το είδος εκσκαφής αναφέρεται σε ένα συνδυασμό υγρού και κυρίως νερού με χώμα, δηλαδή κάθε είδος λάσπης, καθιστώντας το ως ένα δυσάρεστο υλικό, ανεπιθύμητο το οποίο συχνά έχει αρνητικές συνέπειες σε λίμνες και ποτάμια που βρίσκονται στην κοντινή περιοχή. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συνήθως οι συμβατικοί εκσκαφείς, μεγάλα οχήματα και εκσκαφείς κενού, έτσι ώστε να μπορεί να απλωθεί το υλικό για να στεγνώσει (European Union, 2021).

➤ Εκσκαφή εδάφους.

Οι ανασκαφές εδάφους είναι μία μέθοδος κατά την οποία αφαιρείται τμήμα του εδάφους που βρίσκεται κάτω από το φυτικό έδαφος. Μία διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη χάραξη μιας δομικής θεμελίωσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αποστραγγιστικών τάφρων και άλλων έργων. Τα περισσότερα έργα εκσκαφής εδάφους είναι μεγάλα και εκτελούνται συνήθως από οχήματα εκσκαφής, όπως εκσκαφείς αναρρόφησης και ανατρεπόμενα φορτηγά (Gupta, 2016).

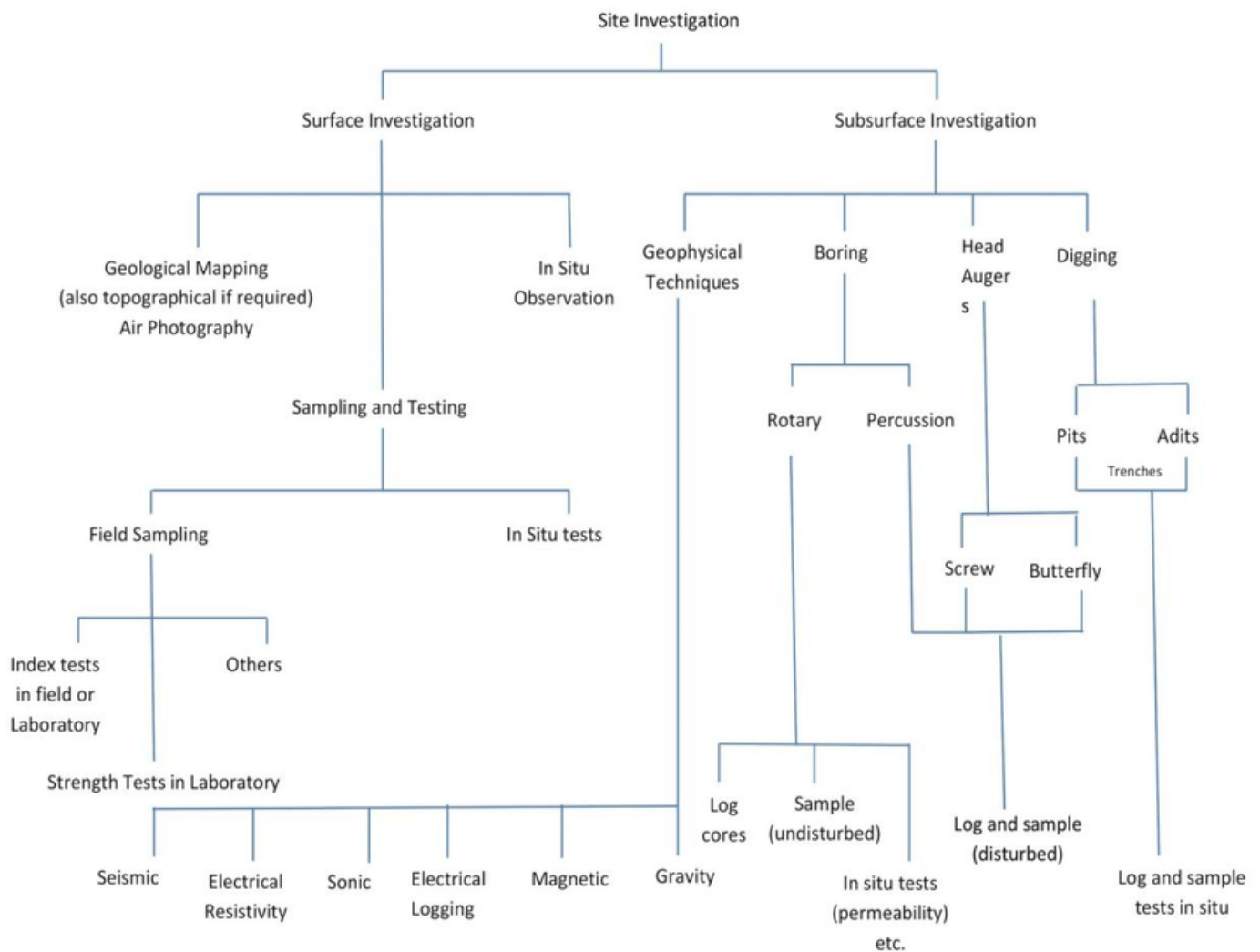
➤ Εκσκαφή εν υγρώ.

Η εκσκαφή εν υγρών συνήθως συγχέεται με την εκσκαφή λάσπης, ωστόσο δεν είναι το ίδιο, αλλά είναι η μετεγκατάσταση και η αφαίρεση υγρού από μία περιοχή. Οι περιπτώσεις όπου πραγματοποιείται μία εκσκαφή εν υγρώ είναι σε περιοχές έπειτα που έχουν βιώσει κάποια πλημμύρα ή σε περιοχές όπως μικρές λίμνες. Τα ιδανικά οχήματα για αποτελεσματική εκσκαφή εν υγρώ, είναι οι εκσκαφείς αναρρόφησης και τα φορτηγά κενού (Gupta, 2016).

## 1.4. Μηχανική εκσκαφή – οχήματα

Σύμφωνα με διατάξεις της Ε.Ε. η μηχανική εκσκαφή είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος εκσκαφής κυρίως σε περιπτώσεις μη σκληρών υλικών. Τα οχήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση μιας εκσκαφής επιλέγονται σύμφωνα με το υλικό που θα εκσκαφθεί (European Union, 2021).

Οι ερπυστριοφόροι ή τροχοφόροι εκσκαφείς, είναι εξοπλισμένοι με κουβά στο μπροστινό μέρος για την πραγματοποίηση εκσκαφής εδάφους και βράχων και τη φόρτωση του υλικού που έχει εκσκαφθεί σε οχήματα μεταφοράς. Τα οχήματα αυτά είναι κατάλληλα για την ανύψωση βαρέων υλικών, για το σκάψιμο τάφρων αλλά και την απομάκρυνση συντριμμίων και γενικότερα μεγάλης κλίμακας μετακίνηση εδάφους (Li, 2014). Ένα άλλο όχημα που χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου πρέπει να εκσκαφθούν βαριά υλικά, είναι ο φορτωτής τύπου τροχού. Οι μπουλντόζες χρησιμοποιούνται για να ωθούν μεγάλες ποσότητες βράχων ή χώματος και όχι να το ανυψώνουν. Οι εκσκαφείς κενού είναι μη υδραυλικά μηχανήματα και χρησιμοποιούνται σε μαλακά εδάφη και όταν απαιτείται μια μη επεμβατική τεχνική εκσκαφής. Ο τύπος του οχήματος που επιλέγεται για την πραγματοποίηση της εκσκαφής εξαρτάται από το υλικό που πρόκειται να εκσκαφθεί και το βαθμό δυσκολίας εκσκαφής του. Για τη μέτρηση του βαθμού δυσκολίας ή ευκολίας με την οποία μπορεί να εκσκαφθεί το υλικό, χρησιμοποιείται η ψηφιακή τεκμηρίωση με τη χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (Geographic Information Systems - GIS) και της τεχνικής τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Όταν οι τιμές είναι υψηλές τότε υπάρχει μεγαλύτερη αντοχή της βραχομάζας και πιθανόν να απαιτείται η χρήση εκρηκτικών υλικών, δηλαδή η χρήση ανατινάξεων ή σφύρας έτσι ώστε να είναι δυνατή η διάσπαση του βράχου (Ershad, 2020). Κατά τη διαδικασία μίας εκσκαφής υπάρχουν και άλλοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση της εύκολης χρήσης του υλικού που πρέπει να εκσκαφθεί. Τέτοιοι δείκτες είναι το εύρος της αντίστασης που πρέπει να ξεπεραστεί, το βάρος και η πυκνότητα του υλικού καθώς και η ικανότητα σχισμής (Bilgin, 2014) (Εικ. 4.). Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα το οποίο δείχνει τη διαδικασία που πραγματοποιείται για τη διερεύνηση της περιοχής πριν από την εκσκαφή.



Εικόνα 4. Εξέρευνηση της περιοχής πριν από την εκσκαφή (Wazoh, 2014).

Μετάφραση εικόνας: site investigation – έρευνα τοποθεσίας, surface investigation – έρευνα επιφάνειας, Geological Mapping (Also geographical if required) Air photography - Γεωλογική Χαρτογράφηση (Επίσης γεωγραφική εάν απαιτείται) Αεροφωτογραφία, In Situ Observation - Παρατήρηση επί τόπου, Sampling and Testing - Δειγματοληψία και Δοκιμή, Field Sampling - Δειγματοληψία πεδίου, In Situ tests – Δοκιμές επί τόπου, Index tests in field or Laboratory - Δοκιμές ευρετηρίου σε πεδίο ή Εργαστήριο, Others – Άλλα, Strength Test in laboratory - Δοκιμή αντοχής στο εργαστήριο, Seismic – Σεισμικός, Electrical Resistivity - Ηλεκτρική αντίσταση, Sonic – Ηχητικός, Electrical Logging - Ηλεκτρική υλοτομία, Magnetic - Μαγνητικός, Gravity – Βαρύτητα, Geophysical Techniques - Γεωφυσικές Τεχνικές, Head Augers – Κύρια Τροχάνια, Digging – Σκάψιμο, Rotary – Περιστροφικός, Percussion – Κρούση, Log cores - Πυρήνες κορμών, Sample (undisturbed) - Δείγμα (ανενόχλητο), In Situ tetsts (permeability) - Δοκιμές Επί τόπου (διαπερατότητα), Screw – Βίδα, Butterfly – πεταλούδα, Log and sample (disturbed) - Καταγραφή και δείγμα (ενοχλημένο), Trenches – χαρακώματα.

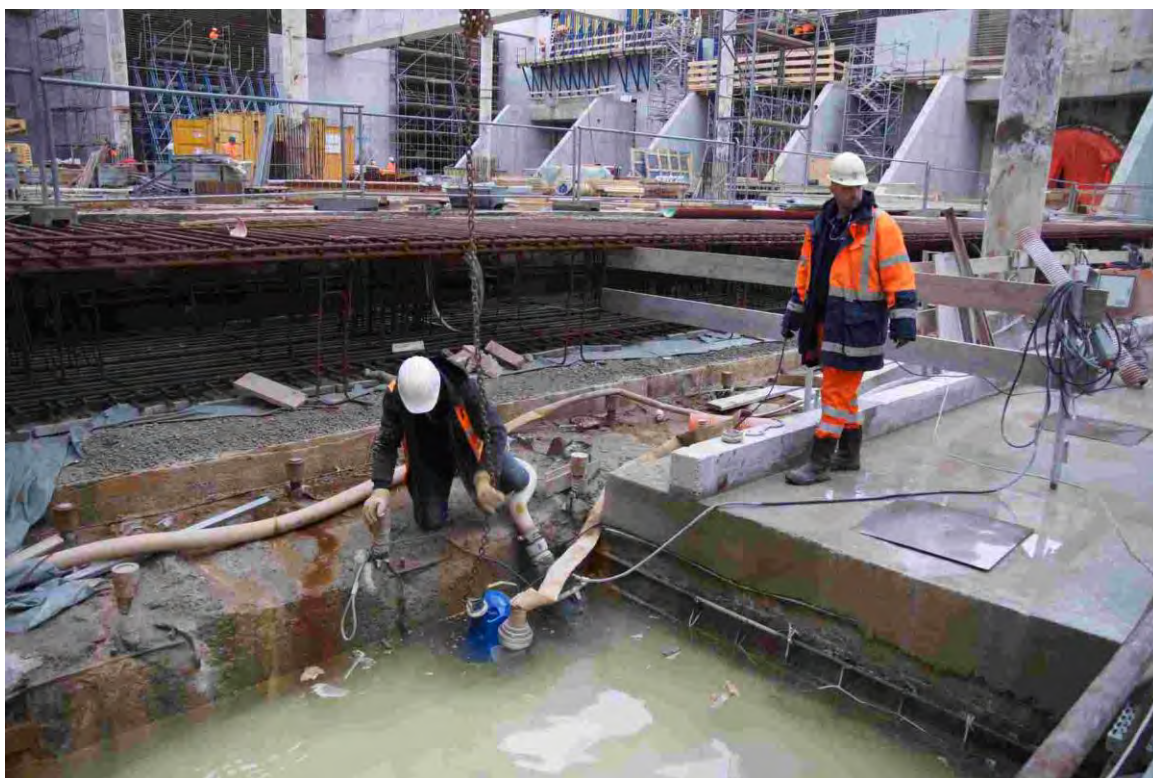
## 1.5. Παράγοντες επιλογής τύπου εκσκαφής

Για την επιλογή του τύπου της εκσκαφής που θα πραγματοποιηθεί, πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι σημαντικοί παράγοντες έτσι ώστε να επιλεγθεί ο κατάλληλος τύπος εκσκαφής, η διαδικασία να είναι αποτελεσματική, χωρίς περιττό οικονομικό κόστος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή τύπου της εκσκαφής, είναι ο λόγος για τον οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή. Διαφορετικός τύπος εκσκαφής και εξοπλισμός απαιτείται για μια εκσκαφή θεμελίωσης κτηρίου, για μία εκσκαφή απομάκρυνσης υγρού στοιχείου, για μία εκσκαφή για την απομάκρυνση και συσκευασία υλικού ( άμμος) και για μια εκσκαφή με σκοπό τη δημιουργία υπόγειου σιδηρόδρομου (Aziz, 2015).

Το είδος του εδάφους αποτελεί έναν εξίσου σημαντικό παράγοντα επιλογής τύπου εκσκαφής. Πριν την έναρξη της διαδικασίας εκσκαφής θα πρέπει να πραγματοποιείται μία γεωτεχνική έρευνα της περιοχής, η οποία θα μελετά το υπέδαφος. Η γεωτεχνική έρευνα έχει ως σκοπό την λεπτομερή μελέτη του υπεδάφους της περιοχής που πρέπει να εκσκαφθεί και συνεπώς την επιλογή του κατάλληλου τύπου εκσκαφής και εξοπλισμού που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η περίπτωση εκτέλεσης μίας εκσκαφής σε μεγάλο βάθος, σε μία περιοχή με πολύ μαλακό έδαφος – χώμα, όπου θα πρέπει για τη διαδικασία της εκσκαφής να χρησιμοποιηθούν στηρίγματα τοίχου για να αποφευχθεί η κατάρρευση. Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εκσκαφή σε βραχώδες έδαφος. Ο συγκεκριμένος τύπος εκσκαφής για βραχώδη εδάφη αποτελεί μία διαδικασία διαφορετική από τις εκσκαφές σε συνηθισμένα εδάφη και απαιτεί εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό, εξοπλισμό, εργαλεία και οχήματα. Η επιλογή του εξοπλισμού και της τεχνικής εξαρτάται από το βάθος της εκσκαφής (Chen, 2014).

Η εκσκαφή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες υπόγειων υδάτων στην περιοχή όπου θα πραγματοποιηθεί. Η επιλογή του τύπου της εκσκαφής θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες υπόγειων υδάτων. Σε περιοχές με υψηλούς υδροφόρους ορίζοντες υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να απαιτείται η χρήση αντλιών αφυδάτωσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκσκαφής έτσι ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε ανεπιθύμητη παρουσία υγρού στοιχείου σε βαθμό που να θεωρείται εμπόδιο (Εικ. 5), (Sherafat, et al., 2019).



*Εικόνα 5. Διαρροή νερού κατά την εκσκαφή (Obinna, 2022).*

Τα υπόγεια ύδατα είναι ένα από τα σημαντικότερα και τα δυσκολότερα προβλήματα που συναντώνται σε μία εκσκαφή και εάν δεν επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος εκσκαφής και τα κατάλληλα μέσα και τεχνικές, υπάρχει η περίπτωση η συνεχής άντληση και ροή ύδατος, να προκαλέσει καθίζηση στο περιβάλλον έδαφος ή σε παρακείμενες κατασκευές (Obinna, 2022).

Η μελέτη της γειτονικής περιοχής είναι πολύ σημαντική πριν την έναρξη διαδικασίας εκσκαφής. Οι συνθήκες της περιοχής που συνορεύει και γειτνιάζει η περιοχή η οποία θα εκσκαφθεί μπορεί να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την πορεία της εκσκαφής και ασκεί επίδραση στον τύπο εκσκαφής που θα επιλεγεί, το χρόνο που θα απαιτηθεί για να ολοκληρωθεί η διαδικασία και της τεχνικής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η παρουσία κάποιου κτηρίου που μπορεί να γειτνιάζει με την περιοχή που θα εκσκαφθεί, το οποίο μπορεί να ωθήσει τον ανάδοχο της εκσκαφής ώστε να υποστηρίξει τα θεμέλια του παρακείμενου κτηρίου. Ως αποτέλεσμα επιτυγχάνεται η αποτροπή κατάρρευσης όταν το έδαφος σε πολύ κοντινή περιοχή διαταράσσεται λόγω των εργασιών εκσκαφής. Σε τέτοιες περιπτώσεις γίνεται ένας εκτενείς σχεδιασμός εκσκαφής, για την αποφυγή της αποδυνάμωσης των θεμελίων της κατασκευής. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η παρουσία δημοτικών αποχετεύσεων κοντά στην περιοχή όπου πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις πολλές φορές απαιτείται η εκτροπή τους, όταν αυτές διέρχονται από την προτεινόμενη περιοχή εκσκαφής. Σε κάθε περίπτωση συνθηκών του περιβάλλοντα χώρου θα πρέπει να επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος εκσκαφής (Suleymanov, et al., 2019).

Το μέγεθος του έργου όπου πρόκειται να πραγματοποιηθεί η ανασκαφή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες σύμφωνα με τον οποίο θα επιλεγεί ο τύπος της εκσκαφής. Το μέγεθος και η κλίμακα των εργασιών που θα πραγματοποιηθούν κατά την εκσκαφή, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τύπο της εκσκαφής που θα επιλεγεί. διαφορετικά οχήματα, εξοπλισμός και ανθρώπινο δυναμικό θα χρησιμοποιηθούν σε μια εκσκαφή μικρής κλίμακας και διαφορετικά σε μία μεγαλύτερης. Όταν η έκταση που πρόκειται να εκσκαφθεί είναι μικρή, ίσως να μην απαιτείται η αλληλουχία των εργασιών εκσκαφής, ενώ σε μια εκσκαφή για την ανέγερση ενός μεγάλου κτηρίου, η αλληλουχία είναι απαραίτητη για τη δημιουργία πρόσβασης μεγάλων οχημάτων και για άλλους λόγους. Ο μεγάλος όγκος εκσκαφής είναι περίπλοκη διαδικασία και περιλαμβάνει προγραμματισμό των εργασιών (Εικ. 6).



*Εικόνα 6. Εκσκαφές πολύ μεγάλης κλίμακας.*

Εκσκαφές πολύ μεγάλης κλίμακας που απαιτούν τεράστιες εισροές πόρων και προσεκτικό σχεδιασμό εργασιών (Maidl, 2014).

Στην εικόνα 6 απεικονίζονται δύο περιπτώσεις εκσκαφής μεγάλης κλίμακας όπου απαιτείται μεγάλο ανθρώπινο δυναμικό (μεγάλος αριθμός εργαζομένων), πολλά και μεγάλα οχήματα, υλικά , εξοπλισμός ακόμη και μελέτες. Ενώ στην εικόνα 7 όπου απεικονίζεται μια εκσκαφή μικρής κλίμακας, ο όγκος των εργασιών είναι πολύ μικρότερος, απαιτείται μικρότερο όχημα, ελάχιστο ανθρώπινο δυναμικό και μικρότερης κλίμακας μελέτες (Bilgin, 2014).



*Εικόνα 7. Εκσκαφή Μικρής κλίμακας (Ανοπ., 2023).*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ**

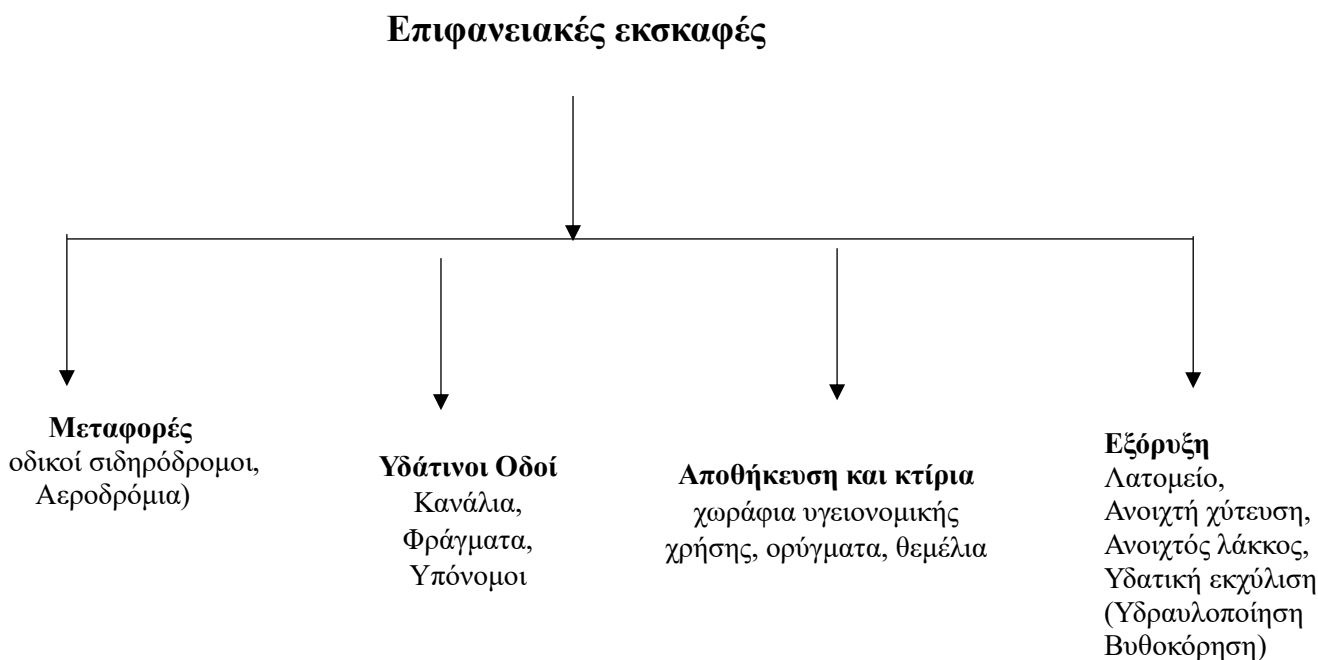
Μία εκσκαφή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε σχηματισμό υπάρχει εντός του φλοιού της γης. Αυτή η λειτουργία μπορεί να δημιουργήσει ανοίγματα ή εκσκαφές διαφορετικών μεγεθών, σχημάτων και διαμορφώσεων στην επιθυμητή θέση. Η τοποθεσία στην οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή, θα μπορούσε να είναι ένα λοφώδες έδαφος, πεδινό έδαφος, έρημος, καλλιεργήσιμη έκταση, δάση ή οποιοδήποτε άλλο ανάγλυφο. Θα μπορούσε να είναι μέσα σε μια αστική γη ή στην ύπαιθρο και ακόμη και μερικές φορές μέσα σε υδάτινα σώματα ή σε έδαφος γεμάτο νερό. Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί στην επιφάνεια ή κάτω από το επίπεδο του εδάφους ή να εκτείνεται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, οριζόντια, με κλίση, κατακόρυφα πάνω ή κάτω. Στη σύγχρονη εποχή είναι απαραίτητες οι ανασκαφές διαφορετικών ειδών και κατηγοριών για να καλύψουν κάθε είδους εκσκαφής ανάγκης.

Πιθανώς με βάση την τοποθεσία από την οποία αφαιρείται το υλικό, οι εκσκαφές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, σε επιφανειακές εκσκαφές και σε υπόγειες εκσκαφές. Και στις δύο αυτές κατηγορίες απαιτούνται εκσκαφές κυρίως για την εκμετάλλευση ορυκτών, οι οποίες αναφέρονται και ως μιμητικές εκσκαφές και εκσκαφές απαραίτητες για κατασκευές όπως οι υπόγειες σήραγγες, οι οποίες αναφέρονται και ως εκσκαφές πολιτικών έργων ή αστικές εκσκαφές (Chen, 2014).

#### **2.1. Επιφανειακές εκσκαφές**

##### **2.1.1. Είδη και περιγραφή**

Το μέγεθος των επιφανειακών εκσκαφών είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο των υπογείων και αντιπροσωπεύει δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα επιφάνειας της γης ή τόνους υλικού που αφαιρείται. Η επιφανειακές εκσκαφές είναι απαραίτητες για πολλούς λόγους αλλά κυρίως για την απομάκρυνση τεράστιων ποσοτήτων βραχώδους υλικού που βρίσκεται πάνω από κοιτάσματα ορυκτών ως επιφανειακά και επίσης για την παραγωγή χρήσιμων ορυκτών στα ορυχεία που θα μπορούσαν να είναι ανοιχτοί λάκκοι, ανοιχτές χυτεύσεις ή λατομεία. Ένας άλλος σημαντικός λόγος για τον οποίο οι επιφανειακές εκσκαφές είναι πολύ σημαντικές, είναι ότι αφαιρείται τεράστιος όγκος υλικού της γης κατά την κατασκευή φραγμάτων σιδηροδρομικών γραμμών και οδικών καναλιών και πολλών ζωτικής σημασίας αστικών κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων των κτηρίων. Στην πραγματικότητα, αυτές είναι οι δραστηριότητες ανάπτυξης ή οικοδομικής υποδομής που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την ευημερία κάθε χώρας (Tatiya, 2013).



**Εικόνα 8.** Ταξινόμηση τύπων επιφανειακών εκσκαφών (Tatiya, 2013).

Επιφανειακές θεωρούνται οι εκσκαφές οι οποίες πραγματοποιούνται σε βάθος έως και 150-200 εκατοστά από την επιφάνεια της γης. Οι επιφανειακές εκσκαφές πραγματοποιούνται κυρίως για αστικά και γεωτεχνικά έργα. Το έδαφος το οποίο εκτίθεται στις διάφορες κλιματικές συνθήκες αναλύεται με RS2 (Rock and Soil 2-dimensional analysis program - Πρόγραμμα ανάλυσης 2-διάστατων βράχου και εδάφους) για τον σχεδιασμό της επιφάνειας και τη σταθερότητα του εδάφους. Το πρόγραμμα RS2 πραγματοποιεί τη δισδιάστατη ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων γεωτεχνικών κατασκευών για αστικά και μεταλλευτικά έργα. Εφαρμόζεται για πετρώδη εδάφη αλλά και για χωματώδη εδάφη και χρησιμοποιείται για την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων γενικής χρήσης για το σχεδιασμό σήραγγας και στήριξης, για υπόγειες εκσκαφές, για επιφανειακές εκσκαφές, για τη ευστάθεια πρανών, σε επιχώσεις, στην κατασκευή θεμελίων και σε άλλα έργα. Όταν πρόκειται να πραγματοποιηθεί μία επιφανειακή εκσκαφή θα πρέπει να γίνει με βάση την τοποθεσία, το είδος και τη φύση του εδάφους. Θα πρέπει να υπάρχει πλήρη απεικόνιση και ακριβής στόχος σχεδιασμού, μηχανισμοί που είναι πιθανό να απαιτηθούν και γενικότερα ένας συντονισμένος σχεδιασμός. Για παράδειγμα στην εκσκαφή βράχων, η οποία είναι επιφανειακή εκσκαφή, θα πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα για μηχανισμούς αστάθειας η σταδιακή βελτίωση του σχεδιασμού και της ανάλυσης, από μια αρχική σκελετική προσέγγιση έως έναν ολοκληρωμένο και λεπτομερώς συντονισμένο σχεδιασμό (Tatiya, 2013).

Παραδείγματα επιφανειακών εκσκαφών είναι:

- Οι εκσκαφές χωματουργικών εργασιών.

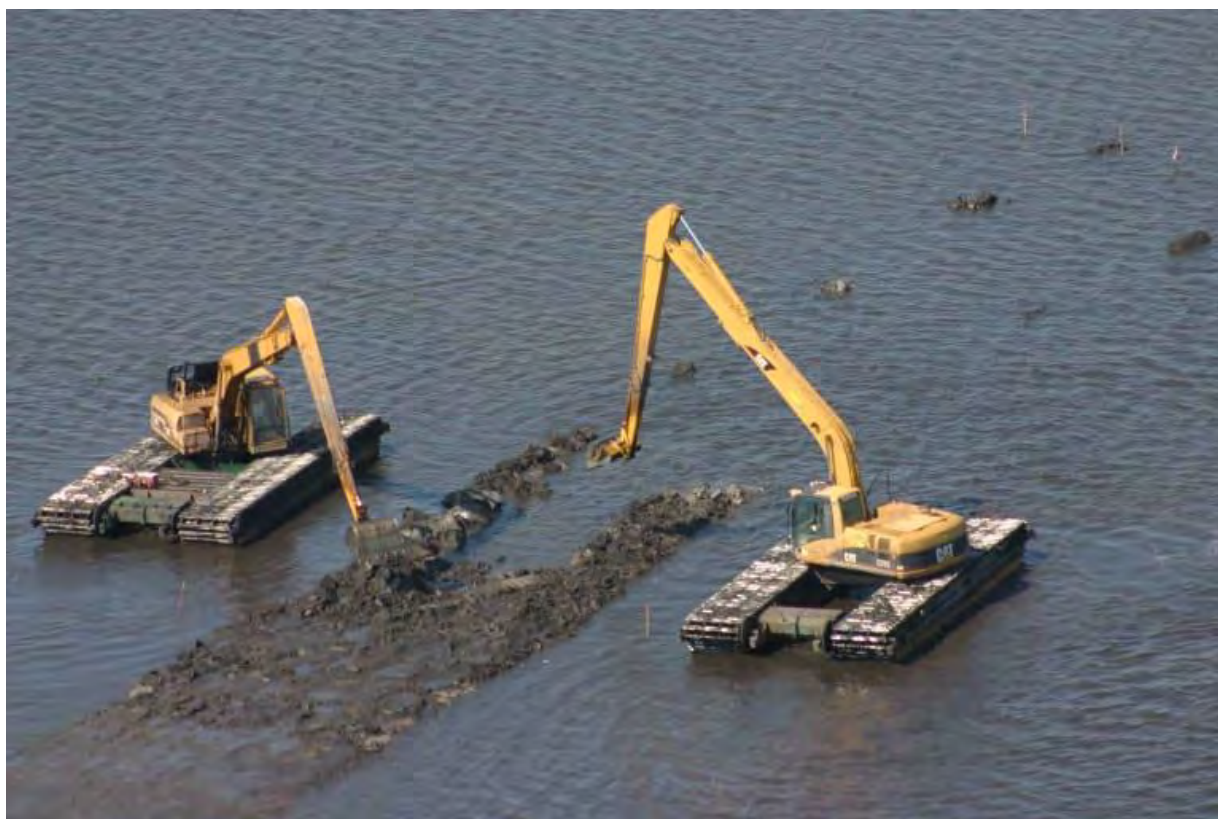
Πραγματοποιούνται σε έργα όπως μια κατασκευή πισίνας, δρόμων, σιδηροδρόμων και τοποθέτηση σωλήνων και δεν απαιτούν εκσκαφή μεγάλου βάθους από την επιφάνεια της γης. Οι εκσκαφές αυτού του είδους περιλαμβάνουν μικρές και μεγάλες εργασίες και πραγματοποιείται ισοπέδωση της επιφάνειας της γης στην περιοχή που πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή. Σε πολλές περιπτώσεις η χρήση μηχανημάτων είναι απαραίτητη.

➤ Απομάκρυνση της βλάστησης από το έδαφος - Εκσκαφή φυτικού εδάφους.

Οι επιφανειακές εκσκαφές περιλαμβάνουν τις εργασίες για την αφαίρεση οποιασδήποτε βλάστησης ή αποσύνθεσης για διάφορους λόγους, όπως για την κατασκευή κτηρίων, για την προετοιμασία του εδάφους για μελλοντικές κατασκευές, ή γενικότερα όταν η βλάστηση καταστά το έδαφος συμπίεσιμο και ως εκ τούτου ακατάλληλο για να φέρει δομικά φορτία. Το βάθος αυτών των εκσκαφών κυμαίνεται από 150-300 mm.

➤ Εκσκαφή λάσπης.

Η εκσκαφή λάσπης είναι συνήθως η απομάκρυνση υλικού το οποίο είναι ένας συνδυασμός νερού και εδάφους. Σε πολλές περιπτώσεις οι επιφανειακές αυτές εκσκαφές πραγματοποιούνται για την απομάκρυνση της λάσπης λόγω πρόκλησης μολύνσεων ή σε άλλες περιπτώσεις για να απλωθεί η λάσπη με σκοπό να στεγνώσει το έδαφος, έτσι ώστε η περιοχή να μην είναι πλέον αδιάβατη (Tatiya, 2013).



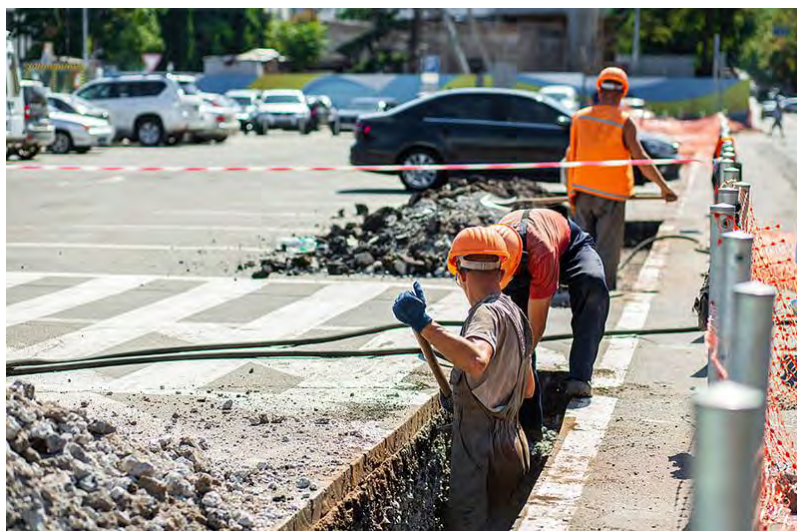
Εικόνα 9. Διαδικασία επιφανειακής εκσκαφής ύδατος και εδάφους (Forestell, 2023).

➤ Εκσκαφή βράχων.

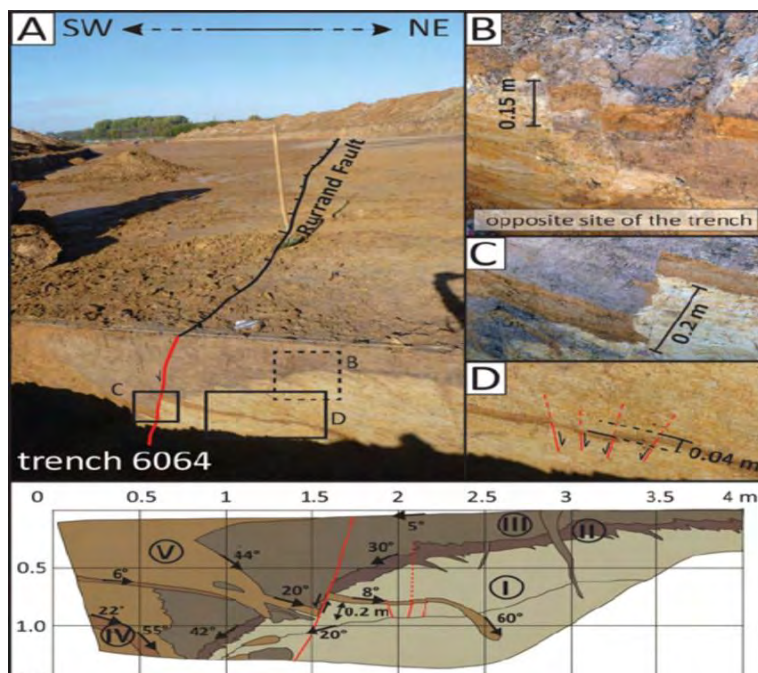
Οι εκσκαφές αυτές περιλαμβάνουν την απομάκρυνση βράχων από το έδαφος, είναι μια δύσκολη κατηγορία εκσκαφών και σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η χρήση εκρηκτικών υλών.

➤ Μη ταξινομημένη εκσκαφή με βάθος έως 1,5 – 2 μέτρα.

Επιφανειακές είναι γενικότερα όλες οι εκσκαφές, ανεξαρτήτως υλικού που πρόκειται να εκσκαφθεί και εδάφους, οι οποίες δεν ξεπερνούν το βάθος των δύο μέτρων (Tatiya, 2013).



**Εικόνα 10.** Επιφανειακή εκσκαφή μικρού βάθους, λιγότερου των δύο μέτρων, εντός αστικού κέντρου (Heikkinen, 2021).



**Εικόνα 11.** Επιφανειακή εκσκαφή σε βραχώδες έδαφος (Reicherter, 2023).

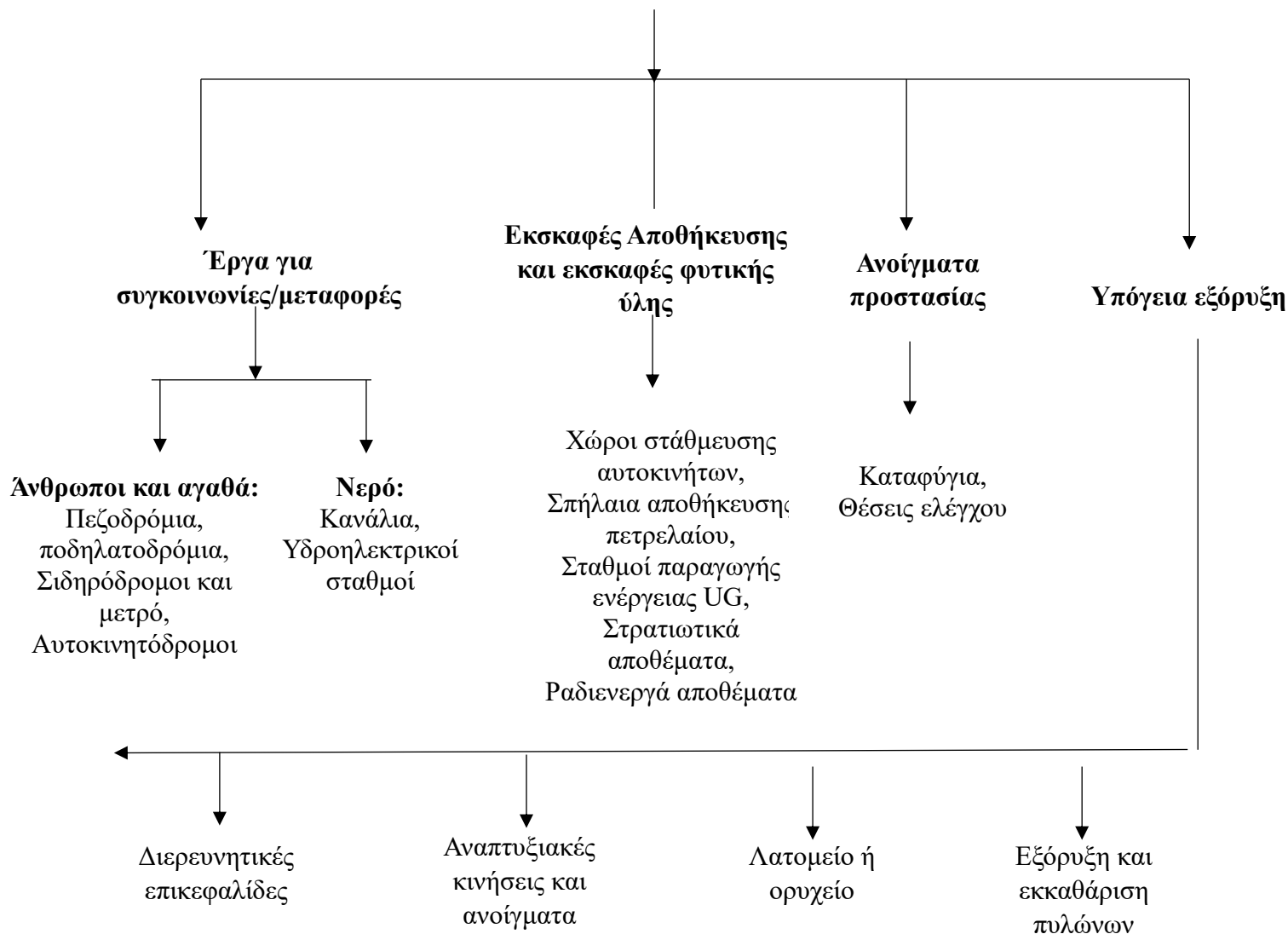
## 2.2. Υπόγειες εκσκαφές

Οι υπόγειες εκσκαφές είναι εκείνες οι οποίες υπερβαίνουν το βάθος των 4,5 μέτρων. Λόγω της αστικοποίησης και της οικονομικής ανάπτυξης που έχουν οδηγήσει σε μεγαλύτερη ανάγκη για γήινους πόρους με σκοπό την κατασκευή έργων υποδομής, οι υπόγειες εκσκαφές και οι εκσκαφές μεγάλου βάθους έχουν πληθήνει και πολλές φορές γειτνιάζουν με άλλες εκσκαφές. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις θα πρέπει να υποστηρίζονται με τη χρήση των κατάλληλων μέσων, σε αντίθεση με τις μη υποστηριζόμενες εκσκαφές οι οποίες είναι ανοιχτές με κλίση (Tatiya, 2013).



Εικόνα 12. Υπόγεια εκσκαφή (Chen, 2011).

## Υπόγειες εκσκαφές σήραγγες και ανοίγματα



**Εικόνα 13.** Ταξινόμηση υπόγειων εκσκαφών (σήραγγων και μεγάλων ανοιγμάτων) με βάση τη λειτουργία και τις χρησιμότητες τους (Tatiya, 2013).

### **2.2.1. Υπόγειες εκσκαφές σύμφωνα με τη θέση διάνοιξης**

Κύριο χαρακτηριστικό των υπόγειων εκσκαφών είναι τα υποεπιφανειακά ανοίγματα ή οι σήραγγες που ανοίγονται. Γενικότερα και σύμφωνα με τη θέση διάνοιξης υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες υπόγειων εκσκαφών. Η πρώτη είναι εκείνη που περιλαμβάνει την πραγματοποίηση της υπόγειας εκσκαφής για σωληνώσεις ή κατασκευαστικές εργασίες, όπως για παράδειγμα εκείνες που εξυπηρετούν τον πληθυσμό μέσω της παροχής διέλευσης σε σιδηροδρομικές οδούς πλοήγησης πεζών, ή όπως για την αποχέτευση νερού.

Σε τέτοιου είδους έργα οι δεξαμενές που κατασκευάζονται για τόσο μεγάλες και βαριές εργασίες, θα πρέπει να εξασφαλίζουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ασφάλεια σχετικά με τη σταθερότητά τους, την κατάσταση φωτισμού, αερισμού, τους κινδύνους για πλημμύρες και άλλα προβλήματα που θα μπορούσαν να προκληθούν σε κάποιο κατασκευαστικό έργο σαν και αυτό. Σε παγκόσμιο επίπεδο τέτοιου είδους υπόγειων εκσκαφών καταλαμβάνουν αρκετά χιλιόμετρα κάτω από την επιφάνεια της γης (Arshad, 2016).

Η δεύτερη κατηγορία υπόγειων εκσκαφών σύμφωνα με τη θέση διάνοιξης, είναι εκείνη των βυρσοδεψιών ή ανοιγμάτων που προορίζονται για την εξερεύνηση και εκμετάλλευση ορυκτών κοιτασμάτων, τα οποία είναι βαθιά εδραιωμένα και δεν μπορούν να εξορυχθούν με μεθόδους επιφανειακής εξόρυξης. Συνήθως αυτές οι σήραγγες έχουν διατομή μικρού μεγέθους, ωστόσο καταλαμβάνουν πολλά χιλιόμετρα σε μήκος κάτω από την επιφάνεια της γης.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα ορυχεία Isa στην Αυστραλία, μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις παραγωγής αργύρου και ψευδαργύρου, με μήκος υπόγειων ανοιγμάτων, φρεατίων και σηράγγων, που καταλαμβάνει 975 χιλιόμετρα, πλάτος 1,2 χιλιόμετρα και μεγαλύτερο βάθος τους το οποίο φτάνει τα 1800 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης (Vydrova, 2016).

### **2.2.2. Υπόγειες εκσκαφές ανάλογα με τις συνθήκες εδάφους, τον περιβάλλοντα χώρο και το είδος του έργου**

Ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες, τον περιβάλλοντα χώρο και το είδος του έργου, υπάρχουν διάφορα είδη τεχνικών για την πραγματοποίηση μίας υπόγειας εκσκαφής, όπως η μικρό-σήραγγα, η μεγάλη σήραγγα, οι συμβατικές στοές κ.α.

#### **➤ Σωληνώσεις με γρύλο**

Η ανύψωση σωληνώσεων είναι ένας συνηθισμένος και κοινός τύπος υπόγειων κατασκευαστικών και τεχνικών έργων, με αναγκαία την ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε διαταραχής. Η αποκατάσταση του εδάφους που απαιτείται κατά την ολοκλήρωση του έργου είναι ελάχιστη και η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την τοποθέτηση υπόγειων σωλήνων σε μεγάλο βάθος από την επιφάνεια της γης. Η διαδικασία για την

πραγματοποίηση ενός έργου ανύψωσης σωληνώσεων περιλαμβάνει την κατασκευή λάκκων εισόδου και εξόδου, την εκσκαφή για την αφαίρεση υλικού από το έδαφος και την ώθηση του σωλήνα εισόδου καθώς πραγματοποιείται η εργασία (Maidl, 2014).

➤ Οριζόντια και κατευθυντική διάτρηση

Η διαδικασία υπόγειας εκσκαφής για την δημιουργία οριζόντιας και κατευθυντικής γεώτρησης, πραγματοποιείται για την τοποθέτηση σωληνώσεων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, όπου υπάρχουν εμπόδια που δυσκολεύουν το έργο, όπως ποτάμια, λίμνες, υπόγεια ύδατα και κτίρια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε πολλές διαφορετικές τοποθεσίες και εδάφη. Η διαδικασία της εκσκαφής περιλαμβάνει τη δημιουργία οπής μίας κατεύθυνσης στο έδαφος, με σκοπό τη δημιουργία μιας οριζόντιας οπής υπόγεια, κάτω από την επιφάνεια της γης και κατά μήκος της προσχεδιασμένης διαδρομής για την εγκατάσταση των σωλήνων (Titirmare, 2017).

➤ Μικρό-σήραγγα

Η μικρό-σήραγγα αποτελεί ένα είδος υπόγειων έργων χωρίς τη χρήση τάφρων και χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή συστημάτων αποχέτευσης ή πόσιμου νερού, καθώς επίσης και για την τοποθέτηση δικτύων ενέργειας και τηλεπικοινωνιών. Οι περιορισμοί που μπορεί να υπάρχουν σχετικά με το μήκος του έργου είναι λίγοι, εφόσον ο τροχός κοπής προσαρμόζεται σε οποιεσδήποτε εδαφικές συνθήκες. Στα έργα για την κατασκευή μικρό-σηράγγων πραγματοποιούνται συνήθως οπές διάνοιξης μέσω ενός πίνακα ελέγχου (απομακρυσμένη καθοδήγηση), ο οποίος βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Σε περίπτωση τοποθέτησης σωλήνων, η διαδικασία αυτή επιτρέπει την ταυτόχρονη τοποθέτηση σωλήνων κατά την πραγματοποίησή της εκσκαφής (Titirmare, 2017).

➤ Διάνοιξη σήραγγας

Ένας από τους σημαντικότερους τύπους υπόγειων εργασιών είναι η εκσκαφή για τη διάνοιξη σήραγγας. Είναι ένας αποτελεσματικός τύπος εκσκαφής και μπορεί να δημιουργήσει αγωγούς μεγάλης διαμέτρου με πολύ μικρή επιφανειακή πρόσκρουση. Υπάρχουν κάποιες βασικές κατηγορίες υπόγειων σηράγγων, ανάλογα με το υλικό από το οποίο διέρχονται, όπως το μαλακό έδαφος το οποίο αποτελείται από χώμα και πολύ αδύναμο βράχο, το σκληρό έδαφος το οποίο αποτελείται από βράχους, το μαλακό πέτρωμα, όπως είναι ο σχιστόλιθος και ο εύθρυπτος ψαμμίτης και τα εδάφη με υπόγεια ύδατα. Ενώ ο κάθε τύπος εδαφικών συνθηκών απαιτεί διαφορετικού είδους μεθόδους εκσκαφής, ωστόσο σχεδόν όλες οι εργασίες διάνοιξης σήραγγας, περιλαμβάνουν κάποιες βασικές διαδικασίες, όπως είναι η έρευνα, η εκσκαφή και η μεταφορά υλικού που θα αφαιρεθεί, περιβαλλοντικό έλεγχο και υποστήριξη εδάφους. Ωστόσο οι σήραγγες για εξόρυξη διαφέρουν ως προς τη σχεδιαστική προσέγγιση και τη μονιμότητα, λόγω της διαφορετικής λειτουργίας τους. Σε όλες σχεδόν τις σήραγγες τον κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζουν οι γεωλογικές συνθήκες, σχετικά με τις ρυθμίσεις αποδοχής των μεθόδων κατασκευής και της πρακτικότητας των διαφορετικών σχεδίων (Titirmare, 2017).

Για την πραγματοποίηση μιας εκσκαφής για τη δημιουργία σήραγγας, απαραίτητος είναι ο γεωλογικός έλεγχος, έτσι ώστε να γίνει η σωστή αξιολόγηση των σχετικών κινδύνων που προκύπτουν από τις διαφορετικές τοποθεσίες καθώς και η ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας των εδαφικών συνθηκών και του νερού, στην περιοχή της εκσκαφής. Πολύ σημαντικό ρόλο κατά την υπόγεια εκσκαφή για τη δημιουργία σήραγγας, κατέχει η συμπεριφορά τη βραχομάζας του εδάφους, το μέγεθος της πέτρας μεταξύ των αρμών, οι αδυναμίες που παρουσιάζονται στο έδαφος, όπως κάποιο ρήγμα, ζώνη διάτμησης ή και αλλοιωμένες περιοχές του εδάφους, οι οποίες είναι εξασθενημένες λόγω των καιρικών συνθηκών. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν κίνδυνοι που μπορεί να παρουσιαστούν όπως η ροή και η πίεση του νερού σε περίπτωση υπόγειων υδάτων, η θερμότητα, τα αέρια που μπορεί να υπάρχουν, και μια πιθανή σεισμική δόνηση. Για τις υπόγειες εκσκαφές σε ορεινές περιοχές απαιτείται μεγαλύτερο οικονομικό κόστος και περισσότερος χρόνος. Σε πολλές περιπτώσεις μεγάλων σιηράγγων σε δύσκολες και δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες, η εκσκαφή μπορεί να καταστεί αδύνατη ή εξαιρετικά δαπανηρή (Titirmare, 2017).

Κατά την εκσκαφή για τη δημιουργία σήραγγας, η οπή στο έδαφος μπορεί να είναι είτε ημί-συνεχής, όπως για παράδειγμα γίνεται με φορητά ηλεκτρικά εργαλεία ή με μηχανές εξόρυξης, είτε κυκλική, όπως πραγματοποιείται με μεθόδους διάτρησης και ανατίναξης σε περίπτωση σκληρού βραχώδους εδάφους. Σε περιπτώσεις σκληρού βραχώδους εδάφους, η διαδικασία υπόγειας εκσκαφής περιλαμβάνει τη διάτρηση, φόρτωση εκρηκτικών υλικών, τις ανατινάξεις, τον αερισμό των αναθυμιάσεων και την εκσκαφή του ανατιναχθέντος υλικού (βράχου - mucking). Σε περιπτώσεις σιηράγγων μικρότερης διαμέτρου χρησιμοποιείται ένας σιδηρόδρομος στενού εύρους για την αφαίρεση και απομάκρυνση της λάσπης και τη μεταφορά των εργατών και του δομικού υλικού. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μεταφορά λάσπης μπορεί να είναι δύσκολη και να προκαλεί προβλήματα όταν πραγματοποιείται σε αστικά κέντρα, με μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Στην Ιαπωνία χρησιμοποιούν ένα σύστημα μεταφορά της λάσπης με αγωγό, σε τοποθεσίες όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποκατάσταση εδάφους. Με την εξέλιξη των τεχνολογικών μέσων, χρησιμοποιείται πλέον η τεχνολογία λείζερ, με δέσμη φωτός αναφοράς που παρέχει ακρίβεια έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί σωστά η εκσκαφή (Cao, 2016).

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τη σωστή διαδικασία υπόγειας εκσκαφής είναι η έκταση της υποστήριξης που χρησιμοποιείται έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η διάτρηση του εδάφους με ασφάλεια. Οι υπεύθυνοι μηχανικοί θα πρέπει να ελέγξουν και να εξετάσουν τον τύπο του στηρίγματος, τα επίπεδα αντοχής του και το χρονικό διάστημα που απαιτείται έως ότου εγκατασταθεί μετά την εκσκαφή, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από το είδος του εδάφους. Στις περισσότερες εκσκαφές διάνοιξης σήραγγας προκαλείται μεταφορά φορτίου του εδάφους με εδάφους με ασίδα στις πλευρές του ανοίγματος, που ονομάζεται φαινόμενο τόξου εδάφους. Στις περιπτώσεις όπου η μονιμότητα του τόξου είναι απόλυτα εξασφαλισμένη, δεν απαιτείται υποστήριξη. Καθώς αυξάνεται το μέγεθος του ανοίγματος, η καταλληλότερη μέθοδος για ισχυρό έδαφος ή για μικρότερες σήραγγες, είναι η μέθοδος προώθησης σε πλήρη όψη, στην οποία ολόκληρη η διάμετρος της σήραγγας ανασκάπτεται ταυτόχρονα. Όταν το έδαφος είναι ασθενές τότε αυτή η κατάσταση μπορεί να

αντισταθμίζεται με τη μείωση του μεγέθους του ανοίγματος το οποίο εξορύχθηκε και υποστηρίχθηκε αρχικά. Όταν το έδαφος είναι μαλακό , πραγματοποιείται η μέθοδος της πολλαπλής μετατόπισης κατά την οποία μειώνονται σε μικρό μέγεθος τα επιμέρους τμήματα υλικού που παρασύρονται , έτσι ώστε να είναι ασφαλή για την πραγματοποίηση της εκσκαφής (Catarina, 2019).

### 2.2.3. Μηχανικός εξοπλισμός που απαιτείται



Εικόνα 14. Μηχάνημα για το άνοιγμα μεγάλης σήραγγας στο Ντάλας στις ΗΠΑ (Anon., 2023).

Για τις υπόγειες εκσκαφές και κυρίως για την κατασκευή σήραγγας απαιτείται ειδικός μηχανικός εξοπλισμός και όχι απλά οι εκσκαφείς που χρησιμοποιούνται στις επιφανειακές εκσκαφές. Η διαδικασία εκσκαφής εκατοντάδων χιλιομέτρων για την κατασκευή μεγάλων σιράγγων κάτω από το έδαφος και σε πολλές περιπτώσεις σε κοντινή απόσταση από κτήρια και κατοικημένες ζώνες, απαιτεί γιγάντιες μηχανές διάνοιξης σήραγγας. Οι μηχανές αυτές είναι γνωστές και ως TBM - tunnel boring machines (μηχανές διάνοιξης σήραγγας). Τα μηχανήματα αυτά μπορεί να ζυγίζουν περισσότερο από 6.000 τόνους και το μήκος τους φτάνει τα 150 μέτρα (εικ. 13).

Τα μηχανήματα αυτά μπορούν να εισέλθουν σχεδόν σε κάθε είδους εδάφη, όπως σε ιζηματογενή, μεταμορφωμένα και ηφαιστειακά πετρώματα, σε περιοχές με πηλό, χαλκό, χαλίκι, άμμο ή οποιοδήποτε άλλο υλικό του εδάφους. Σε πολλές χώρες παγκοσμίως χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη και κατασκευή σιράγγων. Στην Ισπανία υπάρχουν τέτοια μηχανήματα στις σήραγγες Guadarrama, Pajares, Butarque, στον περιφερειακό M-30 της Μαδρίτης ή στον υπόγειο σιδηρόδρομο της Βαρκελώνης (Chapman, 2010).

Το 2013, ένα μηχάνημα διάνοιξης σήραγγας που ονομάζεται Bertha, με τεράστια διάμετρο 18 μέτρων, έγινε το μεγαλύτερο μηχάνημα διάνοιξης στον κόσμο και πέρασε χρόνια ανασκάπτοντας, όχι χωρίς δυσκολία, μια μεγάλη σήραγγα κάτω από το Σιάτλ (Ηνωμένες Πολιτείες), την οποία ολοκλήρωσε το 2017. Οι μηχανές αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία σε έργα του Λονδίνου, όπως στο Crossrail: μια τεράστια κατασκευή σιδηροδρόμων υψηλής ταχύτητας που εκτείνεται σε περίπου 118 χιλιόμετρα από τα οποία τα 21 τρέχουν υπογείως, κάτω από τους δρόμους του Λονδίνου (Chapman, 2010).



Εικόνα 15. Μία μηχανή διάνοιξης σήραγγας, με μήκος μεγαλύτερο από 140 μέτρα (Anon., 2023).

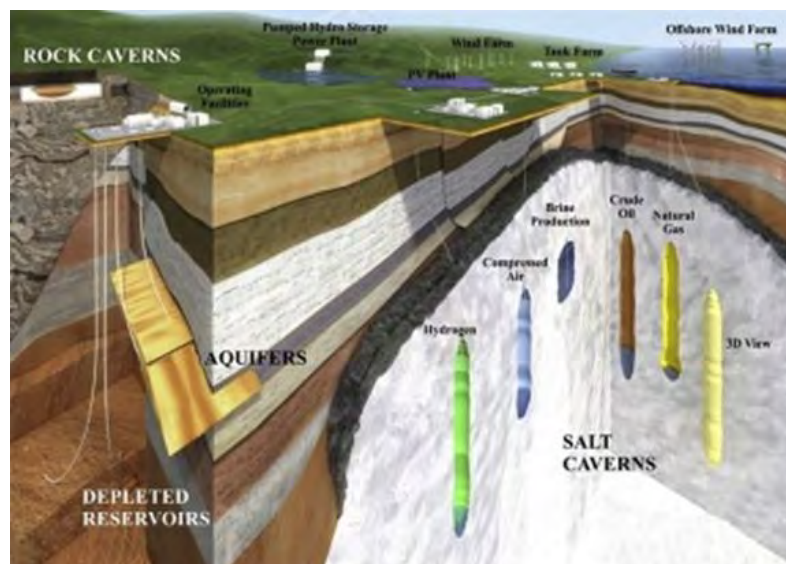
Στην εικόνα 15 απεικονίζεται μία εντυπωσιακή θέα των μηχανών διάνοιξης σήραγγας που έχουν μήκος πάνω από 140 μέτρα, σαν ένα μικρό εργοστάσιο επάνω σε τροχούς το οποίο δουλεύει κάτω από την επιφάνεια της γης, στο Λονδίνο.

#### 2.2.4. Υπόγειες εκσκαφές για την αποθήκευση πηγών ενέργειας.

Η αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας πραγματοποιείται σε πολλές περιπτώσεις με τη διαδικασία υπόγειας εκσκαφής. οι γεωλογικοί σχηματισμοί έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν μεγάλους όγκους ενέργειας με ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τέτοια παραδείγματα είναι η Υπόγεια Αποθήκευση Αερίου (UGS), Αποθήκευση Υδρογόνου (HS), Αποθήκευση Ενέργειας Συμπιεσμένου Αέρα (CAES), Υπόγεια Αντλούμενη Υδρολογική

Αποθήκευση (UPHS) και Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας (TES) (Hassanpouryouzband, et al., 2021).

Ο όγκος που παρέχουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί για την αποθήκευση ρευστής ενέργειας μπορεί να περιλαμβάνει εκατοντάδες κυβικά μέτρα για τις κοιλότητες που έχουν εκσκαφθεί σε πετρώματα έως δεκάδες km<sup>3</sup> για αποθήκευση σε πορώδη ιζηματογενή πετρώματα. Ο κυριότερος τύπος κατάλληλων γεωλογικών σχηματισμών είναι οι μηχανικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές αναφέρονται στην κατασκευή υπόγειων σπηλαίων με καθορισμένη γεωμετρία και καταλαμβάνουν έκταση εκατοντάδων τετραγωνικών μέτρων. Στην έκταση αυτή η αποθηκευμένη ρευστή ενέργεια μπορεί να καταλαμβάνει όλο το διαθέσιμο χώρο στην κοιλότητα. Οι κοιλότητες δημιουργούνται κυρίως με την εκσκαφή του βραχώδους εδάφους και των σκληρών πετρωμάτων (Dagdougui, et al., 2018).



Εικόνα 16. Εκσκαφή για υπόγεια αποθήκευση ενέργειας (Catarina, 2019).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΣΚΑΦΩΝ**

#### **3.1. Η Μέθοδος πλήρους ανοιχτής τομής (open cut method) .**

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι εκσκαφής που χρησιμοποιούνται για επιφανειακές εργασίες, για βαθιά θεμελίωση και για υπόγειες εργασίες. Μία μέθοδος εκσκαφής είναι η μέθοδος ανοιχτής τομής. Η μέθοδος αυτή είναι η τεχνική κατά την οποία μεγάλες ποσότητες υλικού από το έδαφος (χώματος) εξορύσσονται από ένα εργοτάξιο στα αρχικά στάδια της κατασκευαστικής διαδικασίας και επίσης η περιοχή που έχει εκσκαφθεί πρόκειται να γίνει ο χώρος θεμελίωσης ενός κτηρίου, όταν πρόκειται για εκσκαφή θεμελίωσης. Όταν πρόκειται να κατασκευαστεί ένα υπόγειο κτηρίου, τότε θα ενταχθεί στην ίδια περιοχή εκσκαφής (Butcher, 2021).

##### **3.1.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία**

Η μεθοδολογία που ακολουθείται κατά τη μέθοδο εκσκαφής ανοιχτής τομής, είναι ότι στέκεται και πρωτίστως πραγματοποιείται η εκσκαφή του υπογείου του κτηρίου και από εκεί και έπειτα το κτήριο ανέρχεται. Σε αντίθεση με τη μέθοδο κατασκευής από πάνω προς τα κάτω, η οποία ξεκινά με κάθετη τομή για τους τοίχους θεμελίωσης και ακολουθείται από μια ανοδική κατασκευή και επίσης η περιοχή του υπογείου ανασκάπτεται σε δεύτερο στάδιο (Butcher, 2021).

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει δύο κύριους τύπους οι οποίοι είναι ο τύπος της πλήρους κεκλιμένης ανοικτής τομής (Εικ. 17) και ο τύπος της πλήρους ανοικτής τομής με πρόβολο (προβολικές εκσκαφές ανοιχτής τομής), (Εικ. 18). Ο πρώτος τύπος δεν απαιτεί υποστήριξη διότι η πλευρά της εκσκαφής είναι κεκλιμένη και δε χρειάζεται υποστήριξη για να συγκρατηθεί ο τοίχος θεμελίωσης, οπότε έχει και μικρότερο οικονομικό κόστος. Η τυπική μεθοδολογία που ακολουθείται σε αυτού του είδους τις εκσκαφές είναι η εκσκαφή τμήματος του εδάφους (χώματος), στην περιοχή όπου περιβάλλεται από τους τοίχους θεμελίωσης ενός κτιρίου. Έπειτα το χώμα που έχει εκσκαφθεί τοποθετείται σε μία πλαγιά, η οποία εκτείνεται προς τις πλευρές της περιοχής όπου έχει γίνει η εκσκαφή, με σκοπό η κλίση να ξεκινά ακριβώς στο επίπεδο του εδάφους σε απόσταση από το κτήριο και να κατευθύνεται προς τις βάσεις των θεμελίων (προς τα κάτω). Η ανάγκη για τοίχους αντιστήριξης εξαλείφεται από τις φυσικές ιδιότητες των πρανών, καθιστώντας τις εκσκαφές ανοιχτής τομής χαμηλότερου

κόστους από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εκσκαφής, κυρίως σε περιπτώσεις κατασκευής υπογείου χώρου σε κτήριο (Butcher, 2021).



*Εικόνα 17. Μέθοδος εκσκαφής πλήρους ανοιχτής τομής με πλαϊνές κλίσεις (Anon., 2023).*

Ωστόσο σε περιπτώσεις όπου η κλίση είναι ήπια σε μεγάλο βαθμό ή/και η εκσκαφή έχει μεγάλος βάθος από την επιφάνεια της γης, τότε η συνολική εκσκαφή θα έχει υψηλό κόστος. Ο δεύτερος τύπος απαιτεί τοίχο αντιστήριξης με σκοπό την στήριξη του εδάφους του τοίχου θεμελίωσης και την αποφυγή και πρόληψη τυχόν κατάρρευσης του τοίχου θεμελίωσης. Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την εξέλιξη της εκσκαφής κατ' αυτή την μέθοδο, είναι η ποιότητα του εδάφους. Σε εδάφη με μεγάλη πυκνότητα το έργο είναι ευκολότερο να πραγματοποιηθεί και το οικονομικό κόστος χαμηλότερο (Butcher, 2021).

Η μέθοδος εκσκαφής ανοιχτής τομής είναι ιδανική για την κατασκευή κτηρίων με ένα ή δύο ορόφους τα οποία έχουν υπόγεια μικρού βάθους. Η μέθοδος έχει οικονομικό πλεονέκτημα σε σχέση με άλλες και χρησιμοποιεί τους βασικούς κανόνες της φυσικής για την προστασία της βάσης του κτηρίου από κατάρρευση του γύρω τοιχώματος. Μπορεί να εφαρμοστεί και σε ψηλότερα κτήρια τα οποία απαιτούν θεμελίωση μεγαλύτερου βάθους καθώς και υπόγεια πολλαπλών επιπέδων, με την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης. Η αντοχή του εδάφους στην περιοχή είναι πολύ σημαντικό παράγοντας για τα συστήματα αντιστήριξης, διότι οι βαθιές ανοιχτές τομές λαμβάνουν πλεονέκτημα από τα συστήματα στήριξης. Σε εκσκαφή όπου πραγματοποιείται η διαδικασία αντιστήριξης, γίνεται η εκφόρτωση του βάρους από τον τοίχο αντιστήριξης και μεταφέρεται σε οριζόντιους

αντηρίδες (horizontal struts). Οι αντηρίδες εγκαθίστανται μπροστά από τον τοίχο αντιστήριξης και εκτείνονται από τη μία πλευρά της θεμελίωσης έως την άλλη. Η σωστή τοποθέτηση των οριζοντίων στηριγμάτων αποτελεί σωστή βάση για τη δημιουργία ενός υπογείου σε κτήριο (Butcher, 2021).



Εικόνα 18. Μέθοδος εκσκαφής πλήρους ανοιχτής τομής με πρόβολο (Anon., 2023).

### 3.1.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου ανοιχτής τομής είναι αρκετά. Ένα από τα σημαντικότερα είναι το χαμηλότερο οικονομικό κόστος σε σχέση με άλλες μεθόδους εκσκαφής, ιδιαίτερα όταν το έδαφος έχει μεγάλη πυκνότητα και ανθεκτικότητα. Σε πολλές περιπτώσεις δεν απαιτείται αντιστήριξη και επίσης όταν πρόκειται για κτήρια με λίγους ορόφους και υπόγεια με μικρό βάθος, η μέθοδος αυτή απαιτεί μόνο τις βασικές αρχές της μηχανικής της κατασκευής, καθιστώντας τις τεχνικές που απαιτούνται ευέλικτες. Οι σπές που δημιουργούνται καλύπτονται εύκολα με τη χρήση της μεθόδου τομής και κάλυψης, όπου το υλικό εκσκαφής επιχωματώνεται στην κορυφή μιας πλαγιάς.

Ωστόσο παρουσιάζονται και κάποια μειονεκτήματα από αυτή τη μέθοδο, όπως η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια που απαιτεί, διότι εφαρμόζεται το σύστημα κατασκευής «από κάτω προς τα επάνω», σε σχέση με το γρηγορότερο να πραγματοποιηθεί σύστημα «από πάνω προς τα κάτω», το οποίο μπορεί να αντιμετωπίσει την ανοδική εκσκαφή κτηρίου και

υπογείου ταυτόχρονα, ενώ με τη μέθοδο ανοιχτής τομής αυτό δε γίνεται. Σε αστικές περιοχές οι εμπορικοί προγραμματιστές πολλές φορές απορρίπτουν τη μέθοδο για αυτούς τους λόγους.

Η μέθοδος αυτή δεν είναι ιδανική για κάθε είδους τοπογραφία. Σε περιπτώσεις κτηρίων όπου βρίσκονται σε πλαγιά πιθανότατα απαιτείται ένα σύστημα αγκυρώσεων και δημιουργικών θεμελίων, δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος, καθιστώντας την μια μέθοδο περιορισμένης εφαρμογής.

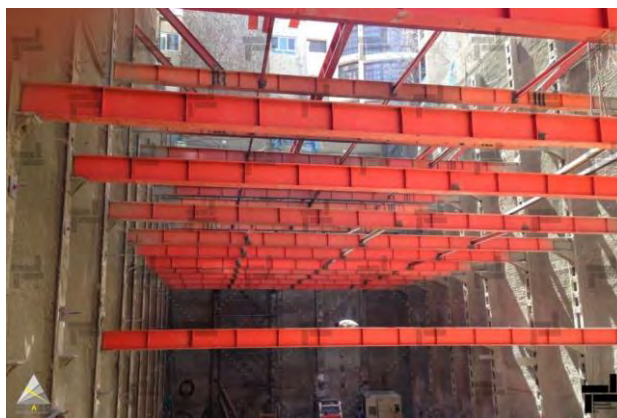
Σε πολλές περιπτώσεις κατά την εφαρμογή της μεθόδου, μπορεί να προκληθούν προβλήματα με τα υπόγεια ύδατα. Σε εργοτάξια όπου το επίπεδο νερού είναι υψηλό, απαιτούνται εξειδικευμένα συστήματα για να κρατούν τα υπόγεια ύδατα μακριά από την κατασκευή θεμελίωσης του κτηρίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μέθοδος ανοιχτής τομής απορρίπτεται, ακόμη και η προβολική μέθοδος εκσκαφής (με προβόλους), θα παρουσιάσει μειονεκτήματα (Butcher, 2021).

### **3.2. Μέθοδος εκσκαφής με αντιστήριξη**

Η μέθοδος εκσκαφής με αντιστήριξη είναι η διαδικασία κατά την οποία τοποθετούνται οριζόντιες αντηρίδες μπροστά από τον τοίχο αντιστήριξης ως προς τη συγκρατημένη πίεση υλικού του τοίχου εκσκαφής (Εικ. 19 και 20).

#### **3.2.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία**

Κατά τη διαδικασία αντιστήριξης τοποθετείται ένα σύστημα στερέωσης το οποίο αποτελείται από βραχίονες, κεντρικούς στύλους, γωνιακά και ακραία στηρίγματα και αντηρίδες. Ο σκοπός των ακραίων στηριγμάτων είναι να μειωθεί το άνοιγμα της αντηρίδας χωρίς να αυξηθεί ο αριθμός των αντηρίδων. Επίσης με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η μεταφορά της πίεσης της γης σε οριζόντια στηρίγματα, διαμέσου του ορθοστάτη. Η αστοχία των αντηρίδων λόγω του βάρους τους αποτρέπεται από τους κεντρικούς στύλους (Butcher, 2021).



**Εικόνα 19.** Μέθοδος εκσκαφής με σύστημα αντιστήριξης (Anon., 2023).



Εικόνα 20. Εκσκαφή με τη μέθοδο της αντιστήριξης (Anon., 2023).

Σε πολλές περιπτώσεις τοποθετούνται και κάθετη μέλη έτσι ώστε να αποτρέπεται η παραμόρφωση των τοίχων, τοποθετώντας ένα οριζόντιο μέλος μεταξύ των καθέτων (Εικ. 20). Η μέθοδος της αντηρίδας είναι μία κατάλληλη εναλλακτική λύση σε περιπτώσεις έλλειψης χώρου για την πραγματοποίηση του στελέχους κλίσης του ζευκτού (truss inclination member) και όταν η μέθοδος συγκράτησης του ζευκτού εξαλείφεται (Chapman, 2010). Για την υλοποίηση αυτής της μεθόδου τα μέλη συμπίεσης (compression struts) χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της πίεσης του εδάφους. Τα κύρια στοιχεία αυτής της μεθόδου είναι:

➤ Ο Τοίχος

Σε αυτή τη μέθοδο οι τοίχοι λειτουργούν κυρίως ως στήριγμα για τα μέλη συμπίεσης, πέρα από τη λειτουργία τους ως αντίστασης στην πίεση του εδάφους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τοίχου αντιστήριξης είναι το λεγόμενο «Sheet Pile», ένας σωρός συμπιεσμένος ή χυτευμένος από λαμαρίνα ή βινύλιο, ο οποίος συμπλέκεται με πασσάλους με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός τοίχου αντιστήριξης (Εικ. 23). Άλλα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μέθοδο είναι οι μεταλλικοί σωροί συγκράτησης, τα τοιχώματα διαφράγματος και οι σωροί συγκράτησης σκυροδέματος (Pisconti, 2020).



Εικόνα 21. Μέθοδος εκσκαφής με το σύστημα Sheet Pile (Anon., 2023).

➤ Τα στοιχεία συμπίεσης (Strut ή Brace)

Μεταφέρουν την πίεση του εδάφους από τον ένα τοίχο στον άλλο και υπάρχουν σε διάφορους τύπους όπως το διπλό IPE, το διπλό IPB, ο σωλήνας, το κουτί και η τομή από σκυρόδεμα.

➤ Μέλη Wale.

Μεταδίδουν την ισχύ από τον τοίχο στο δοκάρι συμπίεσης. Ουσιαστικά τα μέλη Wale λαμβάνουν την πίεση του εδάφους η οποία ασκείται από τον τοίχο και την μεταφέρουν στο δοκάρι συμπίεσης. Ο σχεδιασμός των αντηρίδων και της σύνδεσής τους, γίνεται με βάση τη δύναμη διάτμησης (Pisconti, 2020).

### 3.2.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα από τη μέθοδο με σύστημα αντιστήριξης είναι:

- Περιορισμός παραμορφώσεων,
- Κατάλληλο για βαθιές ανασκαφές που βρίσκονται σε αστικές περιοχές,
- Κατάλληλο για εκσκαφές χαμηλού πλάτους,
- Δυνατότητα ανακύκλωσης μέρους του υλικού (οριζόντια μέλη),
- Μην εισέρχεστε σε παρακείμενους χώρους,
- Ικανότητα προσαρμογής σε μεθόδους αποστράγγισης,
- Ευελιξία και δυνατότητα ενίσχυσης του σχεδιασμού κατά τη διάρκεια και μετά την εκτέλεση,

- Ανεξαρτησία της αποτελεσματικότητας της μεθόδου από τον τύπο του εδάφους,
- Δεν χρειάζεται η άδεια των γειτόνων.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα από τη μέθοδο εκσκαφής με το σύστημα αντιστήριξης είναι:

- Μη οικονομικό σε μεγάλες εκτάσεις εδάφους,
- Καταλαμβάνουν το χώρο μέσα στην εκσκαφή και τη δυσκολία εκσκαφής και εκτέλεσης της κύριας κατασκευής,
- Σχετικά χαμηλή ταχύτητα λειτουργίας,
- Περιορισμοί εκτέλεσης σε έργα με ακανόνιστη γεωμετρία,
- Αδυναμία χρήσης για την αύξηση του βάθους της εκσκαφής κατά τη στιγμή της εκτέλεσης ή μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής,
- Απαιτείται ειδικός εξοπλισμός και μηχανήματα,
- Απαιτούνται έμπειρα άτομα και αυστηρός ποιοτικός έλεγχος για την εκτέλεση αντηρίδων, ειδικά συνδέσεων (Pisconti, 2020).

### 3.3. Η μέθοδος με εκσκαφέα κενού (εκσκαφή υπό κενό) ή Υδροεκσκαφή

Η εκσκαφή υπό κενό (υδροεκσκαφή) αποτελεί μία εναλλακτική μέθοδο εκσκαφής σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους, κυρίως όταν πρόκειται για περιπτώσεις ανασκαφών γύρω από προ υπάρχουσες υπόγειες εγκαταστάσεις (Franz, 1993).



Εικόνα 22. Εκσκαφή με τη χρήση εκσκαφέα κενού (Taing, 2017).

### 3.3.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία

Η μέθοδος εκσκαφής με κενό ή αλλιώς η μαλακή εκσκαφή, είναι μία μη μηχανική μέθοδος και σε μικρότερο βαθμό επεμβατική, σε σχέση με τις κοινές μεθόδους εκσκαφής. Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την πραγματοποίηση της εκσκαφής με τη χρήση εκσκαφέα κενού, ξεκινά με μία έκρηξη αέρα ή νερού με κατεύθυνση πρωτίστως στο σημείο εκσκαφής, με σκοπό τη χαλάρωση του εδάφους (χώματος) και τη σύντριψη τυχόν μεγάλων υλικών που μπορεί να υπάρχουν. Μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εκσκαφή αέρα ή υδροηλεκτρικού κενού, βάση του τρόπου με τον οποίο ανασκάπτεται και διασπάται το έδαφος. Έπειτα με τη χρήση ενός εύκαμπτου σωλήνα κενού αέρα, αφαιρούνται τα υπολείμματα από μία οπή και μεταφέρονται σε μια ειδικά σχεδιασμένη δεξαμενή. Σε πολλές περιπτώσεις το υλικό το οποίο έχει εκσκαφθεί, εάν είναι στεγνό, μεταφέρεται αλλού και επαναχρησιμοποιείται ως γέμιση. Ωστόσο στην περίπτωση της υδροεκσκαφής το υλικό δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για την γέμιση της οπής (Stidger, 2004).

Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για την πραγματοποίηση κοινοτικών εργασιών. Ο εκσκαφέας κενού είναι το ιδανικό μέσο για την πραγματοποίηση εκσκαφής σε περιοχή με καλωδιακούς αγωγούς και αγωγούς κοινής ωφέλειας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για εκσκαφές σε σιδηροδρομικές γραμμές σε περίπτωση επισκευής τους ή αφαίρεσής τους. Πολλές δημοτικές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτή, ειδικά σε περιπτώσεις συντήρησης υπογείων γραμμών αποχέτευσης, για την απομάκρυνση συντριμμιών, και απορριμμάτων από αποχετεύσεις ομβρίων (Just, 2020).

Η μέθοδος αυτή είναι επίσης ιδανική για τον εντοπισμό της ακριβούς θέσης υπογείων εγκαταστάσεων πριν από την πραγματοποίηση των εκσκαφών. Αυτό επιτυγχάνεται με το σκάψιμο πολλών δοκιμαστικών οπών και με τη βοήθεια του εκσκαφέα κενού.

Σε περιπτώσεις εκσκαφής σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ( $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), όπου το έδαφος είναι παγωμένο, η μέθοδος αυτή είναι η καταλληλότερη. Με τη χρήση ενός πίδακα θερμαινόμενου νερού υπό πίεση, το παγωμένο έδαφος αποψύχεται και ανασκάπτεται γρήγορα με τη χρήση της αναρρόφησης.

Σε κατασκευαστικά έργα, όπως η απομάκρυνση υπολειμμάτων στα εργοτάξια, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο εκσκαφής υπό κενό. Ο εκσκαφέας κενού αφαιρεί γρήγορα και αποτελεσματικά τα υπολείμματα, με το σύστημα αναρρόφησης στη δεξαμενή αποθήκευσης, δίνοντας τη δυνατότητα έπειτα να τα χρησιμοποιηθούν για επίχωση.

Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για εκσκαφές σε χώρους με μικρό πλάτος, για την αφαίρεση πετρωμάτων και γενικότερα για το σκάψιμο οπών για μικρές και μεγάλες εργασίες (Just, 2020).

### 3.3.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Η εκσκαφή υπό κενό δεν απαιτεί μεγάλους ύψους χειροκίνητες εκσκαφές ή λειαντικές μεθόδους εκσκαφής, όπως με τη χρήση των παραδοσιακών υδραυλικών εκσκαφών. Αυτό σημαίνει ότι μειώνονται οι κίνδυνοι για ατυχήματα και γενικότερα για την υγεία των εργαζομένων στο εργοτάξιο. Το προσωπικό εργάζεται με μεγαλύτερη ασφάλεια. Με τις συμβατικές μεθόδους εκσκαφής υπάρχει ο κίνδυνος πρόσκρουσης σε υπόγειο βοηθητικό πρόγραμμα λόγω έλλειψης ακρίβειας ή απροσδόκητων εμποδίων. Γεγονός το οποίο πολλές φορές προκαλεί πυρκαγιές ή σοβαρά ατυχήματα, ειδικά σε εκσκαφές που πραγματοποιούνται σε περιοχές με αγωγούς πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η εκσκαφή υπό κενό αποτελεί μία ασφαλέστερη επιλογή σε αυτές τις περιπτώσεις (Just, 2020). Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν σωλήνες, καλώδια ή ίνες, με τη χρήση κενού δεν υπάρχει κίνδυνος να τρυπήσει κάποιος σωλήνας ή να προκληθεί βλάβη στα καλώδια ή τις ίνες, οπότε αποφεύγεται το κόστος επισκευών από τυχόν βλάβες τέτοιου είδους.

Οι δυσκολίες που υπάρχουν στις εκσκαφές σε παγωμένα εδάφη, αντιμετωπίζονται εύκολα με τη μέθοδο κενού, διότι το θερμαινόμενο νερό μαλακώνει το έδαφος για να αποψυχθεί και να μπορεί να διασπαστεί και οι εργασίες πραγματοποιούνται με ευκολία και στο επιθυμητό χρονικό πλαίσιο. Θεωρείται ο ασφαλέστερος τρόπος εκσκαφής όσον αφορά στις υπόγειες εγκαταστάσεις.

Ο μηχανικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται, δηλαδή οι εκσκαφείς κενού, διατίθενται σε διάφορα μεγέθη και σχήματα έτσι ώστε να προσαρμόζονται στις ανάγκες των εργασιών. Υπάρχουν μικρού μεγέθους μονάδες ολίσθησης ρυμουλκούμενων έως και μεγάλες μονάδες, οι οποίες ονομάζονται και Vac Trucks (από τη λέξη Vacume- κενό και τη λέξη truck-φορτηγό).

Το οικονομικό κόστος είναι χαμηλότερο διότι δεν απαιτείται μεγάλος αριθμός εργατικού προσωπικού και επίσης απαιτείται λιγότερος χρόνος για την ολοκλήρωση της εκσκαφής, σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους.

Η μέθοδος αυτή είναι φιλική προς το περιβάλλον, διότι δεν προκαλεί καταστροφή του εδάφους και δεν αφήνει υπολείμματα και απορρίμματα στην περιοχή.

Πέρα από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα σχετικά με τη μέθοδο εκσκαφής υπό κενό, όπως είναι η δυσκολία που υπάρχει όταν το έδαφος είναι πολύ σκληρό και η εκσκαφή σε μεγάλο βάθος, τότε απαιτείται μεγαλύτερη πίεση του κενού.

Ωστόσο η μέθοδος αυτή βελτιώνεται συνεχώς, όπως ακόμη η πιο καινοτόμος μέθοδος με τη χρήση του εκσκαφέα Vermeer XR2 που ενσωματώνει την παραδοσιακή μέθοδο μαλακής εκσκαφής κενού με την τεχνολογία διαχωρισμού ενός ανακυκλωτή. Η μέθοδος αυτή με τη χρήση ενός αναδευτήρα, έχει την ικανότητα να διαχωρίζει τα υγρά από τα στερεά στοιχεία που έχουν εκσκαφθεί (Just, 2020).

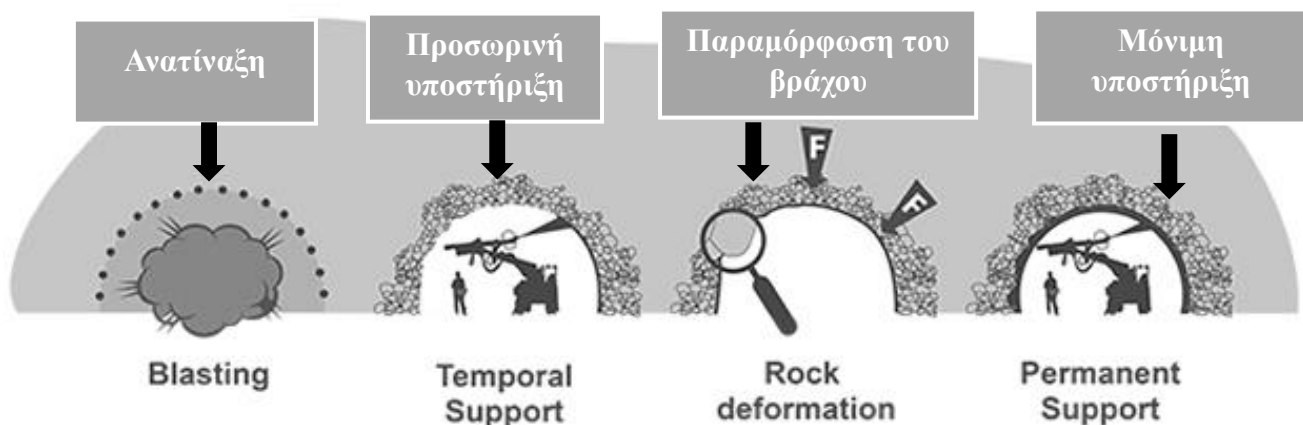
### 3.4. Μέθοδος NATM

Η μέθοδος εκσκαφής NATM (New Australian Tunneling method – νέα Αυστραλιανή μέθοδος κατασκευής τούνελ), δεν είναι μόνο μία μέθοδος εκσκαφής αλλά και μία φιλοσοφία. Σύμφωνα με αυτή τη φιλοσοφία χρησιμοποιείται η δύναμη του περιβάλλοντος εδάφους κατά το μέγιστο δυνατό βαθμό, με σκοπό την ενίσχυση της της δομής της σήραγγας. Αναλυτικότερα οι συνθήκες του εκάστοτε εδάφους οδηγούν την κατασκευή της σήραγγας, προωθώντας τη συνεχή παρακολούθηση.

Η μέθοδος αυτή συνδέεται με την ευελιξία, τη διάτρηση και το σχεδιασμό ανάλογα με το αποτέλεσμα και τη συνεχή εποπτεία. Για την μέγιστη εκμετάλλευση των συνθηκών του εδάφους, η λειτουργία πραγματοποιείται διαδοχικά (Donnelly, 2013).

#### 3.4.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία

Η μέθοδος εκσκαφής NATM είναι μία αλληλουχία κατασκευαστικών δραστηριοτήτων για την πραγματοποίηση της διατομής κατά την εκσκαφή και της διαίρεσής της σε επιμέρους τμήματα, με προσωρινή στήριξη και επένδυση. Οι εργασίες που συμπεριλαμβάνονται σε αυτή τη διαδικασία είναι προπαρασκευαστικές εργασίες, εργασίες εγκατάστασης υποστήριξης χάλυβα, διάτρησης, ανατινάξεων, γόμωσης δυναμίτη, εξαερισμού, αποκλιμάκωσης, λίπανσης, εκτόξευσης και βιδώματος βράχων. Πριν την έναρξη της εκσκαφής πραγματοποιείται μία διαδικασία προετοιμασίας, η οποία περιλαμβάνει τις εργασίες σήμανσης και μέτρησης, τον καταμερισμό εργασιών, τα εργαλεία θέρμανσης (heating tools) και άλλα. Έπειτα πραγματοποιείται η τοποθέτηση χαλύβδινων υποστηρίγματος, εφόσον προηγηθούν οι εργασίες εκσκαφής. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του στηρίγματος από χάλυβά θα πρέπει να γίνει εκ των προτέρων και το σχήμα του χαλύβδινου στηρίγματος ακολουθεί τη μορφή που έχει η επένδυση της σήραγγας (Donnelly, 2013).



Εικόνα 23. Τα στάδια της διαδοχικής μεθόδου εκσκαφής NATM (Anon., 2023).

Υπάρχουν δυο είδη σύνδεσης των χαλύβδινων στηριγμάτων, οι ξύλινες δοκοί για συμπίεση και οι σιδερένιες ράβδοι οι οποίες είναι βιδωμένες, για ένταση. Η διάτρησή δημιουργεί την οπή στη οποία θα τοποθετηθεί ο δυναμίτης και έπειτα με τη μέθοδο full-face εκτελείται η διαδικασία ανατίναξης. Με τη χρήση ενός εργαλείου ξύλινης ράβδου με διάμετρο 30 χιλιοστά, πραγματοποιείται η γόμωση δυναμίτη σε μία γεώτρηση. Η ανατίναξη του δυναμίτη γίνεται με τον μηχανισμό ανατινάξεων. Ο εξαερισμός είναι η ροή καθαρού αέρα από τον φυσητήρα, έτσι ώστε να καθαρίσει ο αέρας στην περιοχή της εκσκαφής από τον καπνό που δημιουργείται από την ανατίναξη. Τα υλικά που προκύπτουν από την ανατίναξη, αφαιρούνται με τη χρήση ειδικών εργαλείων όπως ο τροχοφόρος φορτωτής μεταφοράς και το ανατρεπόμενο φορτηγό, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Έπειτα πραγματοποιείται η διαδικασία του «Shotcreting» που γίνεται μετά την κλιμάκωση μιας προσωρινής κατασκευής ρυθμιστή / προφυλακτήρα της σήραγγας, χρησιμοποιώντας ένα ειδικό εργαλείο που ονομάζεται Robot επίσης «Alivia Shotcrete ή Placer» (Donnelly, 2013).

Η σημαντικότερη φιλοσοφία αυτής της μεθόδου είναι η μέγιστη εκμετάλλευση του εδάφους. Το NATM εγκαθιστά την υποστήριξη εδάφους ενώ βρίσκεται σε κίνηση και ανάλογα με τις ανάγκες, προσθέτοντας οπλισμό στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα όπου χρειάζεται. Η μορφή του τελικού και μόνιμου στηρίγματος είναι συνήθως μια επένδυση από χυτό σκυρόδεμα το οποίο τοποθετείται πάνω από μία στεγανωτική μεμβράνη. Είναι η κατάλληλη μέθοδος εκσκαφής για σήραγγες μικρής εμβέλειας, μικρότερες των 2 χιλιομέτρων, σε περιοχές όπου το έδαφος παρουσιάζει μεταβαλλόμενες συνθήκες. Η φιλοσοφία λειτουργίας του αποδίδουν μία μέθοδο εκσκαφής χαμηλότερου κόστους σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Η μέθοδος αυτή συνδέεται με τις αρχές συμπεριφοράς της βραχομάζας υπό φορτίο και με την παρακολούθηση της απόδοσης της υπόγειας κατασκευής κατά την κατασκευή και πολλές φορές έχει αναφερθεί ως η προσέγγιση «σχεδιάσε καθώς παρακολουθείς» (design as you monitor), διότι δεν αποτελεί ένα σύνολο συγκεκριμένων τεχνικών εκσκαφής και υποστήριξης. Η φιλοσοφία του να σχεδιάζεις καθώς παρακολουθείς και προχωρώντας κατά τη διάνοιξη, σύμφωνα με τις δυνάμεις του εδάφους, παρέχει μία βελτιστοποιημένη υποστήριξη με βάση τις παρατηρούμενες εδαφικές συνθήκες. Η προσέγγιση αυτή στηρίζεται στην παρατηρούμενη σύγκλιση και απόκλιση κατά τις επικρατούσες συνθήκες του εδάφους (Mao, et al., 2013). Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι:

- Η κινητοποίηση της αντοχής της βραχομάζας

Η μέθοδος NATM έχει ως κύριο σύμμαχο την εγγενή αντοχή της περιβάλλουσας βραχομάζας, τον σημαντικότερο παράγοντα για τη στήριξη της σήραγγας. Η κύρια υποστήριξη κατευθύνεται για να επιτρέψει στον βράχο να στηρίξει τον εαυτό του.

- Προστασία σκυροδέματος

Όταν τα πετρώματα χαλαρώνουν και παραμορφώνονται αποτελούν μειονέκτημα οπότε η χαλάρωση και παραμόρφωση τους θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να εφαρμοστεί μία λεπτή στρώση σκυροδέματος.

- Μετρήσεις

Κάθε παραμόρφωση κατά την εκσκαφή θα πρέπει να μετριέται. Η μέθοδος NATM κατά την πραγματοποίηση της εκσκαφής απαιτεί την εγκατάσταση οργάνων μέτρησης εξελιγμένης τεχνολογίας.

➤ Ευέλικτη στήριξη

Η κύρια επένδυση είναι λεπτή και αντανακλά τις πρόσφατες συνθήκες των στρωμάτων. Η στήριξη που χρησιμοποιείται είναι ενεργητική και όχι παθητική. Η ενίσχυση της σήραγγας δε γίνεται από μία μεγαλύτερου πάχους επένδυση από σκυρόδεμα, αλλά από έναν εύκαμπτο συνδυασμό μπουλονιών βράχου (rock bolts), από συρματόπλεγμα και από χαλύβδινες ράβδους.

➤ Κλείσιμο αναστροφής

Κατά τη διαδικασία εκσκαφής με τη μέθοδο αυτή, δημιουργείται ένας δακτύλιος και πραγματοποιείται γρήγορο κλείσιμο της αναστροφής. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο, ειδικά σε σήραγγες που πραγματοποιούνται σε εδάφη μαλακά, όπου κανένα τμήμα της σήραγγας δεν θα πρέπει να παραμένει ανοιχτό.

➤ Συμβατικές ρυθμίσεις

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στις μετρήσεις από την παρακολούθηση του εδάφους, οπότε είναι δυνατό να συμβαίνουν διάφορες αλλαγές κατά τη μέθοδο υποστήριξης και κατασκευής, μόνο σε περιπτώσεις όπου το συμβατικό σύστημα τις επιτρέπει.

➤ Η ταξινόμηση της βραχομάζας καθορίζει τα μέτρα στήριξης

Τα πετρώματα δεν είναι όλα τα ίδια, υπάρχουν πολλές κατηγορίες, κάποιες κατάλληλες για την κατασκευή σήραγγας και κάποιες όχι και τόσο. Οι ταξινόμηση των κατηγοριών των πετρωμάτων και τα αντίστοιχα συστήματα υποστήριξης για την κάθε κατηγορία, χρησιμεύουν ως κατευθυντήριες γραμμές για την ενίσχυση της κατασκευής της σήραγγας. Η βέλτιστη διατομή υπολογίζεται και με βάση αυτό τον υπολογισμό απαιτείται μόνο μία λεπτή προστασία σκυροδέματος, η οποία εφαρμόζεται αμέσως στο πίσω μέρος του μηχανήματος διάνοιξης σήραγγας έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας φυσικό δακτύλιος και να ελαχιστοποιηθεί η παραμόρφωση του βράχου στην περιοχή της εκσκαφής. Η παρακολούθηση της κατανομής της τάσης εντός του βράχου είναι εφικτή διότι πραγματοποιείται η τοποθέτηση γεωτεχνικών οργάνων για τη μέτρηση της μεταγενέστερης παραμόρφωσης της εκσκαφής (Aygar, 2020).

### **3.4.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM είναι ότι παρουσιάζει μια ευελιξία στην παροχή υποστήριξης όπως απαιτείται από τις συνθήκες του εδάφους. Είναι ένα ασφαλές μέσο για την υλοποίηση εκσκαφών και κατασκευής σιράγγων και ικανό να αντιμετωπίσει απροσδόκητες συνθήκες σε τοπικό επίπεδο, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους τόσο για τους εργαζομένους όσο και για το ίδιο το έργο. Η μέθοδος αυτή

θεωρείται χαμηλότερου κόστους σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους και επίσης επιτρέπει πολλαπλές λειτουργικές κατευθύνσεις . Ωστόσο η μέθοδος αυτή παρουσιάζει και κάποια πλεονεκτήματα, όπως οι χαμηλότεροι ρυθμοί παραγωγικής διαδικασίας και η σχεδόν αδυναμία για διακοπή της εργασίας για τον οποιοδήποτε λόγο μπορεί να προκύψει (Aygaz, 2020).

### 3.5. Η μέθοδος αγκυρωμένης εκσκαφής

Κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται και εγκαθίστανται άγκυρες για την αντιμετώπισης της πίεσης που ασκείται από τη γη.



Εικόνα 24. Η μέθοδος της αγκυρωμένης εκσκαφής (Anon., 2023).

#### 3.5.1. Μεθοδολογία και κατασκευαστική ακολουθία

Η μέθοδος αυτή απαιτεί τη συγκόλληση της άγκυρας στον τοίχο αντιστήριξης, έτσι ώστε να παρέχει την κατάλληλη δύναμη αγκύρωσης η οποία λειτουργεί ενάντια στην πίεση που ασκεί η γη. Η κεφαλή αγκύρωσης μεταφέρει φορτία στο τοίχο αντιστήριξης. Η αντοχή του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο διότι σε αυτή στηρίζεται η δύναμη αγκύρωσης. Η μέθοδος αυτή δεν είναι κατάλληλη για όλους τους τύπους εδάφους. Κυρίως δεν ενδείκνυται σε εδάφη με άργιλο, με κοκκώδη υφή και σε εδάφη με υπόγεια ύδατα. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως μέθοδος δεσίματος. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τοίχους αντιστήριξης προβόλου, τοίχους αντιστήριξης με πασσάλους, πασσάλους λαμαρίνας, με εφαπτόμενους τοίχους και άλλα. Το σύστημα αυτό το οποίο ονομάζεται και σύστημα «Tie-back», είναι σημαντικός παράγοντας για τον εξοπλισμό των τοίχων σχετικά με τη διαχείριση πρόσθετων φορτίων και επίσης ενισχύει τη σταθερότητα της κατασκευής (Moormann, 2004).

Η τοποθέτηση των αγκυρωμένων τοίχων γίνεται όταν το φορτίο που ασκεί η κατασκευή είναι υψηλό. Σε περίπτωση όπου υπάρχει περιορισμός χώρου και δυσκολία τοποθέτησης των θεμελίων, τότε προστίθενται άγκυρες οι οποίες ενσωματώνονται στο έδαφος, όπου πρόκειται να σταθεροποιηθούν. Αυτές οι άγκυρες σε συνδυασμό με την κύρια κατασκευή χειρίζονται τα φορτία. Το ένα άκρο της πρόσδεσης αγκυρώνεται στον τοίχο και το άλλο άκρο οδηγείται στο έδαφος (χώμα/βράχο). Σε πολλές περιπτώσεις κατασκευές οι οποίες είναι σταθερές και από σκυρόδεμα, οδηγούνται στο έδαφος για καλύτερη αγκύρωση. Το δέσιμο και τη δημιουργία οπής σε γωνία γίνεται κατά 15-45 μοίρες. Μετά το άνοιγμα των οπών οι δεσμοί ή οι αντηρίδες παρέχονται μέσα στις οπές και αρμολογούνται υπό πίεση για μεγαλύτερη σταθερότητα (Moormann, 2004).

Η τοποθέτηση των χαλύβδινων ράβδων γίνεται στις οπές και αρμολογούνται από υψηλή πίεση, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία άγκυρα η οποία παρομοιάζεται με βολβό, στην άκρη των ράβδων, και εμποδίζει τις ράβδους να έλξουν προς τα έξω το φορτίο. Οι τοίχοι αυτοί μπορεί να έχουν μεγάλο ύψος, να υποστηρίζουν υψηλά φορτία και επίσης θεωρούνται ιδανικοί για εκσκαφές μικρότερων περιοχών που χρειάζονται συγκράτηση γης. Ο κυριότερος σκοπός της μεθόδου αυτής είναι η ανάπτυξη μιας ισχυρής μάζας εδάφους η οποία θα αντιστέκεται σε εξωτερικές καταστάσεις αστοχίας. Ωστόσο θα πρέπει να περιοριστεί η ροπή του εδάφους για καλύτερη δυνατή συντήρηση (Moormann, 2004).

### **3.5.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τη προστασία πρανών αλλά και τη συγκράτηση των χωματουργικών εργασιών της εκσκαφής. Με τη χρήση της αγκυρωμένης μεθόδου είναι δυνατή η υλοποίηση ελαφριών και πολύ ελαφριών κατασκευών και μπορούν να σχεδιαστούν σε συνδυασμό με αγκυρωμένους τοίχους. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου έχει χαμηλό οικονομικό κόστος και θεωρείται ένα από τα πιο οικονομικά συστήματα εκσκαφής και συγκράτησης γης.

Ο συνδυασμός των κατασκευών που πραγματοποιούνται κατ' αυτή τη μέθοδο, όπως οι πάσσαλοι λαμαρίνας, οι τοίχοι αντιστήριξης, οι πρόβολοι και άλλες, είναι πολύ χρήσιμες για την υλοποίηση εκσκαφών μεγάλου βάθους, με ασφάλεια τόσο για τους εργαζόμενους όσο και για την κατασκευή.

Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι λόγω της τοποθέτησης των αγκυρών, περιορίζεται ο χώρος με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η τοποθέτηση των θεμελίων και των απαραίτητων κατασκευών (Yuan X, 2020).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ**

#### **4.1. Τι είναι η κατασκευή αντιστήριξης**

Οι κατασκευές αντιστήριξης είναι μία από τις σημαντικότερες πτυχές ενός κατασκευαστικού έργου και αποτελούν μία κατηγορία σημαντικών έργων υποδομής. Αποτελούν ένα τρόπο παροχή στήριξης, σταθερότητας και αντοχής σε μία κατασκευή και διευκολύνουν τις μεταφορές φορτίων από διαφορετικά δομικά μέλη στο έδαφος. Επίσης συγκρατούν και αντιστηρίζουν εδαφικές στρώσεις, υλικά επιχώσεων, βραχώδεις σχηματισμούς, ή ακόμη και άλλα υλικά όπως νερό ή αγροτικά προϊόντα, σε κλίση διαφορετική απ' ότι θα υπήρχε χωρίς το έργο αντιστήριξης. Είναι πολύ σημαντικό οι μηχανικοί να κατέχουν επαρκείς γνώσεις των έργων αυτών. Τα έργα αντιστήριξης σε μία κατασκευή επηρεάζουν τη δομική ευρωστία καθώς και τη φέρουσα ικανότητα των μελών της κατασκευής. Τα δομικά μέλη εκτείνονται είτε με κατακόρυφο τρόπο είτε με οριζόντιο και ανάλογα με το δομικό μέλος και τη θέση του, κατασκευάζονται αντίστοιχα τα στηρίγματα για τη μεταφορά του φορτίου. Τα συστήματα αυτά έχουν ως κύριο σκοπό να μεταφέρουν το φορτίο τους στο έδαφος, μέσω μιας σειράς στοιχείων, μέσω της διαδικασίας της ένωσης των στοιχείων στις διασταυρώσεις τους. Κάθε σύνδεση είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει την ικανότητα να υποστηρίξει ένα συγκεκριμένο τύπο φορτίου. Η πραγματική συμπεριφορά μιας κατασκευής αντιστήριξης μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκη, γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχει απόλυτη σαφήνεια σχετικά με τις δυνάμεις που μπορούν να αντισταθούν και να μεταφερθούν σε κάθε επίπεδο στήριξης. Οι συνθήκες που αφορούν κάθε ένα από τα στηρίγματα, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά των στοιχείων εκείνων που συνθέτουν κάθε δομικό σύστημα (Luo, et al., 2019).

Η δομική στήριξη περιλαμβάνει το τμήμα ενός δομικού μέλους το οποίο παρέχει την αντοχή και την απαραίτητη ακαμψία που απαιτούνται για να επιτευχθεί η αντίσταση των εφαρμοζόμενων δυνάμεων και η ασφαλής μεταφορά τους στο έδαφος. Τα εξωτερικά φορτία που εφαρμόζονται στα στηρίγματα οδηγούν στη συγκέντρωση εσωτερικών δυνάμεων αντίστασης. Οι κατασκευές αντιστήριξης τοποθετούνται κυρίως είτε στο άκρο είτε με ενδιάμεσα σημεία της κατασκευής. Η κατασκευή αντιστήριξης θα πρέπει να είναι άριστη διότι το παραμικρό λάθος θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο τη δομική του ακεραιότητα και επίσης η κάθε κατασκευή υποστήριξης έχει διαφορετικό πεδίο εφαρμογής.

Τα έργα αντιστήριξης περιλαμβάνουν όλους τους τύπους τοίχων και διατάξεων αντιστήριξης όπως έργα με ή χωρίς αγκυρώσεις, αντηρίδες και άλλα, των οποίων τα δομικά στοιχεία περιλαμβάνουν δυνάμεις από το υλικό το οποίο αντιστηρίζουν, όπως τα εύκαμπτα

πετάσματα, οι τοίχοι βαρύτητας ή ο συνδυασμός και των δύο (Hassanpouryouzband, et al., 2021).

## 4.2. Προεργασία του έργου αντιστήριξης

Πριν την κατασκευή του έργου αντιστήριξης θα πρέπει να προηγηθούν κάποιες μελέτες με σκοπό τη χρήση της σωστής και καταλληλότερης μεθόδου αντιστήριξης, ειδικά όταν το κατασκευαστικό έργο λαμβάνει χώρα σε αστικό περιβάλλον.

Καταρχάς θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μία «γεωτεχνική έρευνα». Η έρευνα αυτή θα πρέπει να εκτείνεται προς όλο το βάθος που ασκεί επιρροή το σύστημα αντιστήριξης. Σημαντικό είναι να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν ή όχι χαλαρά ή μαλακά εδαφικά υλικά τα οποία μπορεί να παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας κατά την εκσκαφή ή την κατασκευή των έργων αντιστήριξης. Επίσης θα από τη μελέτη θα πρέπει να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν εδαφικοί σχηματισμοί γης μεγάλης διαπερατότητας, όπως χαλίκια και άμμος ή εάν υπάρχουν βραχώδεις σχηματισμοί ογκόλιθων οι οποίοι αποτελούν κίνδυνο και θα μπορούσαν να προκαλέσουν δυσκολίες κατά την εκσκαφή και διατήρηση των έργων αντιστήριξης. Η έρευνα αυτή πραγματοποιείται επίσης για τον εντοπισμό παρουσίας υπόγειων υδάτων και γενικότερα υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και της στάθμης του (Hassanpouryouzband, et al., 2021).

Μια άλλη μελέτη η οποία κρίνεται αναγκαία πριν από την πραγματοποίηση του έργου αντιστήριξης, είναι η «**τοπογραφική αποτύπωση**». Η αποτύπωση των δικτύων αγωγών κοινής ωφέλειας (ΕΥΔΑΠ, φυσικό αέριο, ΔΕΗ και άλλα), τα υπόγεια όμορων κτηρίων, τυχόν δεξαμενές ή πηγάδια σε ακάλυπτους χώρους, η σωστή καταγραφή της κατάστασης των δομικών στοιχείων των όμορων κτηρίων, όπως εάν υπάρχουν ρωγμές, και το είδος της θεμελίωσης των γειτονικών κτηρίων (Hassanpouryouzband, et al., 2021).

Η προεργασία του έργου αντιστήριξης περιλαμβάνει και την «**παρακολούθηση της συμπεριφοράς του έργου**». Η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του συστήματος αντιστήριξης είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την επιβεβαιωμένη ασφάλεια του έργου, κυρίως κατά το στάδιο της κατασκευής του. Σε περίπτωση που ο μετρήσεις παραμορφώσεων διαφέρουν από εκείνες που εκτιμήθηκαν στη μελέτη, τότε λαμβάνονται επιπλέον μέτρα. Τα εργαλεία για την παρακολούθηση των παραμορφώσεων είναι κυρίως οι απλοί τοπογραφικοί μάρτυρες, τα κλισιόμετρα (tiltmeters), τα αποκλισιόμετρα (Inclinometers) και οι κυψέλες μέτρησης πίεσης. Η τελική επιλογή του έργου αντιστήριξης γίνεται με βάση τη συνάρτηση με τη φύση του εδάφους και την παρουσία υδροφόρου ορίζοντα (Farouk, 2014).

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου κατασκευής γίνεται με βάση διάφορα κριτήρια όπως:

- Την ελαχιστοποίηση της συνολικής δαπάνης κατά τη διάρκεια της ζωής,

- Τη γειτνίαση με άλλες ιδιοκτησίες ή έργα που κατασκευάζονται και εγκαταστάσεις, έτσι ώστε η εκτέλεση του συγκεκριμένου έργου να μην αποτελεί κίνδυνο για την ασφάλεια, τη λειτουργία και την ακεραιότητά τους,
- Τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τα όρια της απαλλοτριώσης ή/και τις άδειες που επιβάλλουν περιορισμό στη χρήση τους,
- Να είναι κατάλληλες έτσι ώστε να διασφαλίζεται η δυνατότητα διευκόλυνσης της τοποθέτησής τους (Farouk, 2014).

### **4.3. Κατασκευές αντιστήριξης - Ιστορική αναδρομή**

Στην Κίνα το 206 π. Χ. χρησιμοποιούσαν κατακόρυφους πασσάλους, κυρίως ξύλινους σε δύο σειρές και με τη χρήση αργίλου, με σκοπό να αποτρέψουν την εισροή νερού εντός της εκσκαφής. Στα ιστορικά κείμενα αναφέρεται ότι τον 16<sup>ο</sup> αιώνα οι μηχανικοί εκείνης της εποχής χρησιμοποίησαν το ασβεστοκονίαμα για πρώτη φορά στην Ιστορία ως υλικό πλήρωσης αντί για άργιλο. Την ίδια χρονική περίοδο στα ανθρακωρυχεία εφάρμοζαν αντιστηρίξεις για τις παρειές πηγαδιών με μεγάλο βάθος, με τη χρήση ξύλινης επένδυσης από σανίδες και οριζόντιες πλαισιωτές αντηρίδες. Η χρήση αυτής της μεθόδου συνεχίστηκε ατόφια και χωρίς καμία παραλλαγή έως και το μισό του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Έπειτα λόγω της μεγάλης έκτασης των κατασκευαστικών έργων όπως λιμάνια, και σιδηροδρομικά δίκτυα. Οι μεθοδολογίες αντιστήριξης με λιθόκτιστους τοίχους βαρύτητας αναφέρονται σε μελέτες που αφορούν κατασκευές στη Γαλλία πριν τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα αλλά και σε άλλες χώρες, αναλύοντας ακόμη και τη συμπεριφορά τους. Η τομή στην τεχνική των αντιστηρίξεων με τη χρήση μετάλλου, όπως πασσαλοσανίδες από χάλυβα, και οπλισμένου σκυροδέματος όπως λεπτούς αυτοφερόμενους τοίχους, έγινε στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η δεκαετία του 1950 ήταν εκείνη κατά την οποία έγινε η πραγματική επανάσταση χρησιμοποιώντας την τεχνική των επί τόπο εγχυνόμενων διαφραγμάτων και της τεχνολογίας των αγκυρώσεων. Το 1969 εφαρμόζονται νέες τεχνικές όπως την οπλισμένη γη, το προκατασκευασμένο διάφραγμα, τον τμηματικά με το βάθος κατασκευασμένο κατά στρώσεις τοίχο και τον κατά τμήματα προεντεταμένο τοίχο, τεχνικές που καθιστούν την εξέλιξη της τεχνολογίας σχετικά με τις κατασκευές αντιστήριξης ραγδαία. Τα πολυμερή εδάφη αποτελούν την τελευταία μία ακόμη πιο εξελιγμένη τεχνολογία στις κατασκευές αντιστηρίξεων, τα οποία είναι ουσιαστικά μία ανάμιξη του εδάφους και των πολυμερών υλικών με μεγάλο συντελεστή θερμικής διόγκωσης, έτσι ώστε να δημιουργούν προένταση στη γεωμάζα. Μία άλλη τεχνική που εφαρμόστηκε είναι εκείνη της αρμολόγησης με πίδακα (jet grouting), δηλαδή η ανάμιξη εδάφους και τσιμέντου κυρίως υπό εξαιρετικά υψηλές πιέσεις νερού. Τα πολυμερή εδάφη και η αρμολόγηση με πίδακα, είναι τεχνικές που αποσκοπούν στη δημιουργία μιας αυτοφερόμενης γεωμάζας. Η γεωμάζα αυτή λειτουργεί ως διάφραγμα με σκοπό την ενδυνάμωση της ανάληψης των ωθήσεων του εδάφους, το οποίο συμπεριφέρεται ως φορτίζον στοιχείο (Just, 2020).

### 4.3. Είδη κατασκευών αντιστήριξης

Η δομική στήριξη ή τα έργα αντιστήριξης περιλαμβάνουν το τμήμα ενός δομικού τμήματος το οποίο έχει ως σκοπό να παρέχει την αντοχή και την απαραίτητη ακαμψία που απαιτείται για την αντίσταση των εφαρμοζόμενων δυνάμεων καθώς και τη μεταφορά τους στο έδαφος με ασφάλεια. Τα εξωτερικά φορτία που εφαρμόζονται στα στηρίγματα οδηγούν στη συσσώρευση των εσωτερικών δυνάμεων αντίστασης. Η θέση των στηριγμάτων είναι είτε στο άκρο είτε μαζί με ενδιάμεσα σημεία της κατασκευής και μία λάθος επιλογή στηρίξεων μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη δομική ακεραιότητα (Dhamdhare, 2022).

#### 4.3.1. Εσωτερικές και εξωτερικές κατασκευές αντιστήριξης

Οι κατασκευές αντιστήριξης ταξινομούνται σε εσωτερικά και εξωτερικά στηρίγματα.

«Τα εξωτερικά έργα αντιστήριξης» είναι τα στηρίγματα εκείνα που εφαρμόζονται σε μία κατασκευή χωρίς να επηρεάζουν τα δομικά στοιχεία. Στα εξωτερικά έργα αντιστήριξης ανήκουν τα:

##### ➤ Στηρίγματα κυλίνδρου - Roller support

Τα στηρίγματα κυλίνδρων (Εικ. 25) έχουν την ικανότητα να αντιστέκονται μόνο σε κάθετες δυνάμεις, ωστόσο κινούνται πλευρικά και είναι ελεύθερα. Τα στηρίγματα αυτού του είδους επιτρέπουν την κίνηση κατά μήκος των επιφανειών χωρίς να υπάρχει αντίσταση στις οριζόντιες δυνάμεις και επίσης αντιστέκονται σε φορτία μεγάλης κλίμακας και κατακόρυφα, επιτρέποντας την οριζόντια κίνηση. Η οριζόντια κίνηση θεωρείται απαραίτητη, κυρίως κατά τη διαστολή και συστολή όταν το δομικό μέλος κινείται ελεύθερα. Ένα από τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι αποτρέπουν την πρόκληση ζημιάς σε ένα καρφίτσωμένο στηρίγμα. Μπορούν να έχουν τη μορφή είτε ελαστικών ρουλεμάν είτε γραναζιών και είναι ιδανική μέθοδος για την κατασκευή γεφυρών και τοποθετούνται στα άκρα των γεφυρών με τη μορφή μαξιλαριών ρουλεμάν. Σύμφωνα με την κατασκευή τους το βάρος παραμένει σταθερό στη θέση του εάν δεν υπάρχει οριζόντια δύναμη, ωστόσο το σώμα αρχίζει να αποκτά κίνηση όταν εμφανιστεί μία οριζόντια δύναμη. Είναι μια κατασκευή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε γερανούς πλαισίου, επιτρέποντας τη δεξιά ή την αριστερή κίνηση. Ένα σημαντικό μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι ότι δεν μπορούν να αντισταθούν στην ύπαρξη κάποιας οριζόντιας δύναμης. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να βρεθεί κάποιος άλλος τύπος στηρίξεων για να αντισταθεί σε αυτές τις δυνάμεις. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα στηρίγματα Rocker, τα οποία αντιστέκονται σε κάθετες δυνάμεις επιτρέποντας την οριζόντια κίνηση, η οποία όμως οφείλεται σε κυρτό πάτο στήριξης και είναι περιορισμένη σε σχέση με την περίπτωση των στηριγμάτων κυλίνδρων (Bauduin, 2022).



Εικόνα 25. Στηρίγματα κυλίνδρου σε κατασκευή γέφυρας (Anon., 2023).

➤ Στηρίγματα με καρφισωμένο ή αρθρωτό - Pinned or hinged support

Οι κατασκευές με καρφισωμένο ή αρθρωτό αναφέρονται και ως αρθρωτά στηρίγματα. Αποτελούν ένα τύπο έργου αντιστήριξης που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από τους πολιτικούς μηχανικούς. Περιγράφεται ως ένα καρφωτό στήριγμα το οποίο δε επιτρέπει την κίνηση κάθετα ή οριζόντια, όμως επιτρέπει την περιστροφή. Συνήθως το αρθρωτό στήριγμα επιτρέπει την κίνησή μόνο προς μία κατεύθυνση, ωστόσο οι δοκοί με απλή στήριξη ανήκουν στην κατηγορία των καρφισωμένων στηριγμάτων.

Ιδανικά καρφισωμένα στηρίγματα είναι σπάνιο να βρεθούν και επίσης οι συνθήκες στήριξης επηρεάζουν τον τρόπο της κατανομής των ροπών στη δοκό. Τα στηρίγματα αυτού του είδους χρησιμοποιούνται σε ζευκτά και τρίαρθρες τοξωτές γέφυρες. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι ότι διευκολύνουν τη σύνδεση πολλών μελών μαζί. Από την ένωση προκύπτει μία αξονική δύναμη διότι τα στηρίγματα δεν παρουσιάζουν αντοχή σε καμία ροπή και ο σχεδιασμός περιορίζεται στην αξονική δύναμη.

Ο μοναδικός περιορισμός που παρουσιάζουν τα καρφισωμένα στηρίγματα είναι η ανικανότητά τους να συγκρατήσουν πλήρως μία κατασκευή, επομένως σε κάθε κατασκευή απαιτούνται τουλάχιστον δύο από αυτά (Bauduin, 2022).



Εικόνα 26. Αρθρωτό στήριγμα σε γέφυρα στο Σίδνεϋ (Anon., 2023).



Εικόνα 27. Καρφισωμένη υποστήριξη (Anon., 2023).

Ένα μεγάλο μέλος υποστηρίζεται εδώ από ένα στήριγμα καρφίτσας και δεν θα μπορούσε να μετακινηθεί προς τα πάνω ή προς τα κάτω, αλλά θα μπορούσε να περιστραφεί

#### ➤ Σταθερά στηρίγματα - Fixed support

Τα σταθερά στηρίγματα είναι ένα άκαμπτο είδος στηριγμάτων τα οποία περιορίζουν τα δομικά μέλη από κάθε είδους κίνηση. Το δομικό μέλος δεν έχει την ικανότητα

περιστροφής προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Τα σταθερά στηρίγματα προσφέρουν δομική σταθερότητα σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με τα υπόλοιπα έργα αντιστήριξης και μπορούν να εφαρμοστούν σε κατασκευές όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα στήριγμα όπως οι δοκοί προβόλου, εξασφαλίζοντας ότι η δομή είναι επαρκώς περιορισμένη και στατική. Σε πολλές περιπτώσεις οι κατασκευές απαιτούν κάποιο χώρο περιστροφής αλλά τα σταθερά στηρίγματα το εμποδίζουν να συμβεί και επίσης καθώς το σκυρόδεμα αποκτά αντοχή διαστέλλεται. Αυτό σημαίνει ότι ένα ακατάλληλα σχεδιασμένο στήριγμα μπορεί να μειώσει την ανθεκτικότητα (η οποία προκαλείται από την αύξηση των τάσεων), στα δομικά μέλη (Bauduin, 2022).



*Εικόνα 28. Κατασκευή σταθερού στηρίγματος (Αnon., 2023).*

#### ➤ Στηρίγματα κρεμάστρας - Hanger support

Οι κατασκευές αυτές έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να μεταφέρουν ένα φορτίο από ένα καλώδιο ή σωλήνα σε μία δομή στήριξης και συγκεκριμένα το στήριγμα δεν επιτρέπει την κίνηση προς την κατεύθυνση της κρεμάστρας, όπως συμβαίνει στις καλωδιακές γέφυρες. Τα στηρίγματα αυτού του είδους χρησιμοποιούνται για την αγκύρωση, την καθοδήγηση και την υποστήριξη ενός καθορισμένου φορτίου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές με υψηλές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία (Bauduin, 2022).

#### ➤ Απλά στηρίγματα - Simple support.

Η κατασκευή των απλών στηριγμάτων περιγράφεται ως εκείνη που τα δομικά μέλη στηρίζονται σε άλλα μέλη και συγκεκριμένα σαν στηρίγματα κυλίνδρων, των οποίων τα μέλη μπορούν να αντισταθούν στις κατακόρυφες δυνάμεις, αλλά δεν έχουν την ικανότητα να συγκρατήσουν οριζόντιες δυνάμεις. Είναι ένα είδος στηριγμάτων που χρησιμοποιείται

σπάνια στη μηχανική, διότι δεν εξασφαλίζουν ασφάλεια και παρουσιάζουν κάποιο βαθμό επικινδυνότητας (Bauduin, 2022).

➤ Στηρίγματα συνδέσμων - Link support

Τα στηρίγματα συνδέσμων επιτρέπουν την περιστροφή και τη μετατόπιση προς κάθετη κατεύθυνση ως προς το μήκος του συνδέσμου και χαρακτηρίζονται από δύο μεντεσέδες ένα σε κάθε άκρο. Τα στηρίγματα αυτά έχουν ενιαία συνιστώσα γραμμικής δύναμης που προκύπτει προς την κατεύθυνση του συνδέσμου. Η δύναμη αυτή μπορεί να διαχωριστεί σε κάθετες και οριζόντιες συνιστώσες (Bauduin, 2022).

➤ Στηρίγματα ελατηρίου – Spring support

Τα στηρίγματα αυτά εφαρμόζονται σε περιπτώσεις που ένα δομικό μέλος έχει κάποια κατακόρυφη κίνηση η οποία δεν είναι ευνοϊκή για να παρέχει συμπαγή στήριξη. Σε πολλές περιπτώσεις η κατακόρυφη μετατόπιση εμφανίζεται σε μέλη όπως για παράδειγμα οι σωλήνες με υψηλή πίεση, όπου η ανύψωση προκαλεί μεγάλη πίεση στους σωλήνες και απαιτείται έλεγχος. Τα στηρίγματα ελατηρίου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα μεταβλητά και τα σταθερά στηρίγματα, ωστόσο και οι δύο τύποι περιλαμβάνουν στηρίγματα προ συμπίεσμένα έτσι ώστε να ασκούν ανοδική δύναμη σε ένα μέλος. Η αντίθετη δύναμη που ασκείται στο ελατήριο εξαρτάται από τη φόρτιση στο μέλος. Τα στηρίγματα αυτού του είδους δεν τοποθετούνται σε συμβατικές θέσεις αλλά σε κατασκευές με σκοπό να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένες ανάγκες. Η μέθοδος αντιστήριξης με ελατήρια έχει την ικανότητα να εξουδετερώνουν τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται από τις θερμές συνθήκες, όταν δηλαδή υπάρχει υψηλή θερμοκρασία και εμφανίζεται μεγάλη διαστολή (Bauduin, 2022).



Εικόνα 29. Μέθοδος στηρίγματος ελατηρίου (Anon., 2023).

«Τα εσωτερικά έργα αντιστήριξης» είναι εκείνα που βρίσκονται μέσα στο μέλος και χωρίζουν ένα δομικό μέλος σε τμήματα. Τα εσωτερικά στηρίγματα ταξινομούνται σε εσωτερικούς μεντεσέδες και εσωτερικούς κύλινδρους. Στα εσωτερικά στηρίγματα ανήκουν:

➤ Οι εσωτερικοί μεντεσέδες

Οι εσωτερικοί μεντεσέδες φέρουν αντίσταση στις οριζόντιες και κάθετες κινήσεις και χρησιμοποιούνται κυρίως σε τοξωτές γέφυρες στη μέση του τόξου. Όταν οι ροπές κάμψης που προκύπτουν είναι μηδενικές, τότε η κατασκευή μπορεί να κινηθεί για να μειώσει τις δυνάμεις που προκύπτουν από τις αντιδραστικές τάσεις. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται επίσης για να λύσει το πρόβλημα που προκαλείται στα δομικά μέλη από διαφορές καθίζησης ή θερμοκρασίας (Dhamdhere, 2022).

➤ Οι εσωτερικοί κύλινδροι.

Οι εσωτερικοί κύλινδροι έχουν ομοιότητα με τα στηρίγματα κυλίνδρων, αλλά η θέση στην οποία παρέχονται είναι η μέση ενός δομικού μέλους (Dhamdhere, 2022).



Εικόνα 30. Είδη κατασκευών αντιστήριξης (Dhamdhere, 2022)

#### 4.3.2. Συστήματα τοίχων αντιστήριξης

Οι τοίχοι αντιστήριξης περιγράφονται ως άκαμπτες κατασκευές τοίχων που υποστηρίζουν το έδαφος πλευρικά παρέχοντας με αυτό τον τρόπο βοήθεια για να διατηρηθεί η επιφάνεια του εδάφους σε διαφορετικά υψόμετρα και στις δύο πλευρές της κατασκευής, έως ότου να αποκτήσει τη φυσική και σταθερή διαμόρφωση. Ως συνέπεια αυτής της διαδικασίας το έδαφος που συγκρατείται πλέον σε μία πιο απότομη κλίση από εκείνη που θα μπορούσε να αντέξει, λόγω της διατμητικής αντοχής του, ασκεί δύναμη στον τοίχο αντιστήριξης. Δεν υπάρχει μόνο ένας τύπος τοίχου αντιστήριξης αλλά περισσότεροι. Ένα

τυπικό παράδειγμα τοίχου αντιστήριξης περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι το στέλεχος, το οποίο είναι το κατακόρυφο μέλος που συγκρατεί το επίχωμα. Ένα άλλο στοιχείο είναι το δάκτυλο, το οποίο είναι το τμήμα του πέλματος στο μπροστινό μέρος του τοίχου. Επίσης η φτέρνα είναι το τμήμα του πέλματος στην πλευρά επίχωσης και τέλος η διάτμηση Βασικά έργα κάτω από τη βάση (Bauduin, 2022).

#### **«Η πλευρική πίεση γείωσης»**

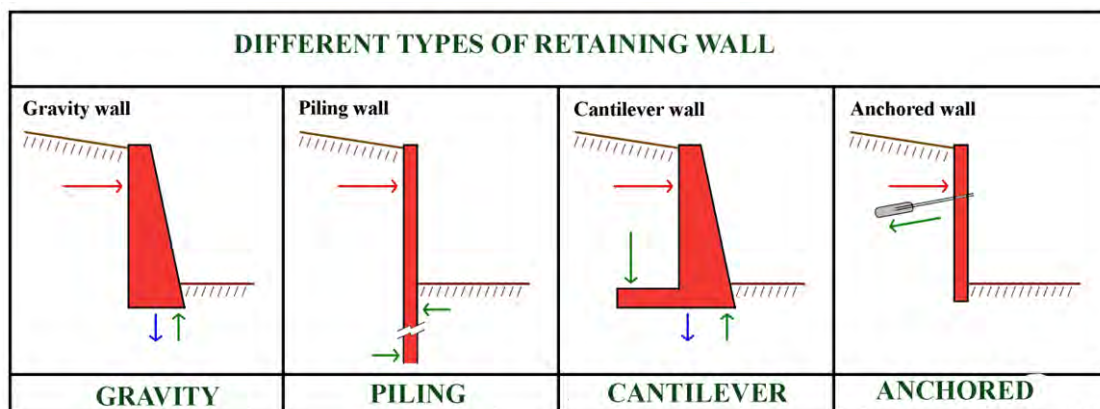
Ο τρόπος που λειτουργούν έχει σχέση με την πίεση της γης. Οι τοίχοι αντιστήριξης είναι σχεδιασμένοι για να συγκρατούν το έδαφος ή το τεχνικό γέμισμα, σε μία γωνία η οποία θα είναι μεγαλύτερη από τη γωνία ανάπαυσης του υλικού, διασφαλίζοντας το γεγονός ότι είναι ικανό να φέρει το φορτίο της οριζόντιας ή πλευρικής πίεσης της γείωσης που ασκείται από το υλικό που συγκρατείται. Η πλευρική πίεση γείωσης εξαρτάται από ένα βασικό παράγοντα, την κατακόρυφη τάση που επιβάλλεται από το υλικό πίσω από τον τοίχο. Η πλευρική πίεση γείωσης είναι συνάρτηση του ύψους της επίχωσης και της πυκνότητάς της. Αυτό σημαίνει ότι η μεγαλύτερη πλευρική πίεση γείωσης ασκείται στη βάση του τοίχου, διότι εξαρτάται από το βάθος της επίχωσης, συγκεκριμένα όσο πιο μεγάλο βάθος έχει η επίχωση τόσο μεγαλύτερη είναι η κατακόρυφη τάση. Οι τύποι της πλευρικής γείωσης είναι τρεις:

- Η πίεση της γης σε ηρεμία, όταν ο τοίχος βρίσκεται «σε ηρεμία» και δεν έχουν υποστεί σημαντικές κινήσεις στην επίχωση, έπειτα από την κατασκευή.
- Η ενεργή πίεση γείωσης, όταν ο τοίχος έχει απόσταση από την επίχωση, δηλαδή απομακρύνεται από αυτήν, τότε η πλευρική πίεση γείωσης πέφτει έως ότου φτάσει στο ελάχιστο δυνατό.
- Η παθητική πίεση γείωσης, όταν ο τοίχος μετακινηθεί κατά την επίχωση, τότε υπάρχει αύξηση της πίεσης έως ότου φτάσει στη μέγιστη δυνατή τιμή, η οποία θα είναι ίση με τη μέγιστη αντίσταση του εδάφους. Σε ενσωματωμένους τοίχους, όπως σε υπόγεια, η πίεση γείωσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα σταθερότητας (Catarina, 2019).

#### **«Τα φορτία που επιδρούν στον τοίχο αντιστήριξης».**

Η επίχωση δεν είναι το μόνο φορτίο στο οποίο ενδέχεται να υπόκεινται οι τοίχοι αντιστήριξης, αλλά υπάρχουν και άλλα όπως πρόσθετα φορτία στην κορυφή της συγκατούμενης μάζας. Η επιβάρυνση μπορεί να είναι είτε ομοιόμορφη είτε λωρίδα. Ένα φορτίο ταινίας περιγράφει ένα κατανεμημένο φορτίο εντός περιορισμένου πλάτους και η κατανομή πίεσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την προσέγγιση Boussinesq. Το στέλεχος μπορεί επίσης να έχει συγκεντρωμένα φορτία στην κορυφή. Σημαντικός παράγοντας θεωρείται και η θέση του υδροφόρου ορίζοντα για το σχεδιασμό και την κατασκευή των τοίχων αντιστήριξης. Υπάρχει η περίπτωση τοίχους αντιστήριξης να εκτεθεί σε φορτίο ανέμου. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν το στέλεχος εκτείνεται επάνω από την επίχωση. Σε περίπτωση σεισμικής ζώνης, οι σεισμικές επιπτώσεις μπορούν να ληφθούν υπόψη χρησιμοποιώντας την προσέγγιση Mononobe-Okabe (Catarina, 2019).

#### **Διαφορετικοί τύποι τοίχων αντιστήριξης**



Εικόνα 31. Διαφορετικοί τύποι τοίχων αντιστήριξης (Dhamdhere, 2022).

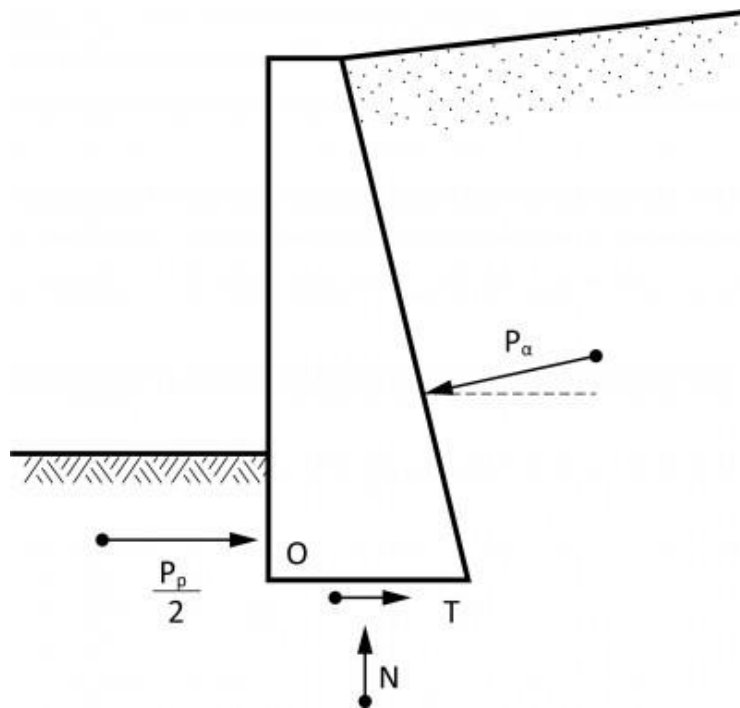
**Τοίχος αντιστήριξης  
Βαρύτητας**

**Τοίχος  
αντιστήριξης με  
πασσάλους**

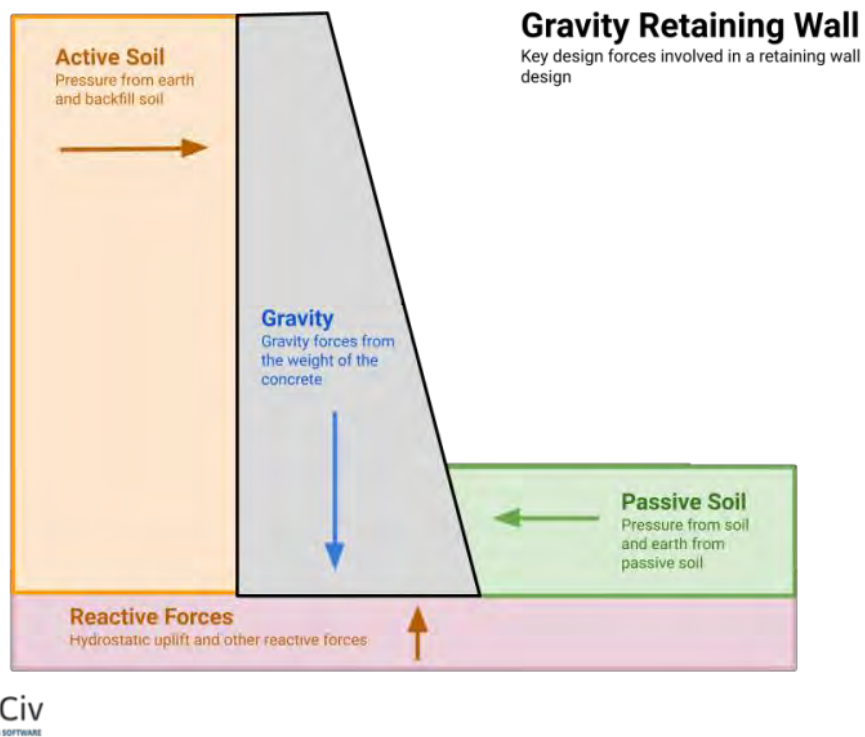
**Τοίχος  
αντιστήριξης με  
προβόλους**

**Αγκυρωμένος  
τοίχος  
διαφράγματος**

Ο τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας (Εικ. 31 και 32) ανήκει στην κατηγορία τοίχων άοπλου σκυροδέματος και εξαρτάται από το ίδιο το βάρος του μόνο, για να αντισταθεί στην πλευρική πίεση γείωσης. Οι κύριες δυνάμεις που ασκούνται στους τοίχους αντιστήριξης της βαρύτητας, είναι οι κατακόρυφες δυνάμεις που προέρχονται από το βάρος του τοίχου, η πλευρική πίεση γείωσης η οποία ασκείται στην πίσω όψη καθώς επίσης και τ ασεισμικά φορτία. Στις περισσότερες κατασκευές ο τοίχος αντιστήριξης με βαρύτητα είναι ογκώδης λόγω του ότι απαιτεί σημαντικό φορτίο βαρύτητας για να αντιμετωπιστεί η πίεση του εδάφους. Κατά τη σχεδίαση και κατασκευή των τοίχων αντιστήριξης βαρύτητας, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σημαντικοί παράγοντες όπως οι δυνάμεις ολίσθησης, ανατροπής και έδρασης. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του είναι σκυρόδεμα, πέτρα και τοιχοποιία από τούβλα. Η σταθερότητά του διατηρείται από το βάρος του. το ύψος στο οποίο συνήθως κατασκευάζεται είναι περίπου 3 μέτρα. Στους τοίχους αντιστήριξης με βαρύτητα ανήκουν και οι τοίχοι αντιστήριξης κούνιας, τα συρματοπλέγματα και οι τοίχοι αντιστήριξης κάδων (Suleymanov, et al., 2019).



Εικόνα 32. Τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας (Catarina, 2019).



Εικόνα 33. Τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας (Cao, 2013).

➤ Τοίχοι αντιστήριξης με πασσάλους.

Οι πάσσαλοι είναι κυκλικά δομικά στοιχεία που εκτελούνται στο έδαφος. Σκοπός της χρήσης τους είναι η μεταφορά κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων σε βαθύτερα και καλύτερα στρώματα του εδάφους θεμελίωσης. Όταν πραγματοποιείται η εκτέλεση πασσάλων σε κοντινή περιοχή σχηματίζεται ένας πιλοτικός τοίχος, ο οποίος χρησιμοποιείται σαν προσωρινή ή μόνιμη κατασκευή αντιστήριξης στη μάζα του εδάφους. Ένα τοίχωμα πασσάλων εφαρμόζεται για την εξασφάλιση της σταθερότητας της εκσκαφής, της στεγανοποίησης ανοιχτών κοιλωμάτων, τον έλεγχο μετατόπισης κτηρίων καθώς επίσης και την αποκατάσταση κατολισθήσεων. Οι τύποι των πασσάλων διαφοροποιούνται ανάλογα με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της θέσης και των απαιτήσεων του έργου. Ανάλογα με τον τύπο αντίστασης ο τοίχος πασσάλων χωρίζεται σε τοίχο αντιστήριξης με πρόβολο και σε τοίχο αντιστήριξης με υποστηρικτική κατασκευή. Σύμφωνα με τη διάταξη του πασσάλου, το τοίχωμα χωρίζεται σε τέμνον/εφαπτομενικό ή συνεχόμενο τοίχωμα πασσάλων (Bauduin, 2022).



Εικόνα 34. Τοίχος πασσάλων.

➤ Πρόβολοι τοίχοι αντιστήριξης - Diaphragm - Cantilever Walls

Οι τοίχοι αντιστήριξης προβόλου, λειτουργούν με βάση τις αρχές της μόχλευσης και κατασκευάζονται συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το στέλεχός τους είναι πολύ λεπτό και για να παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αντίστασης στην ολίσθηση και την ανατροπή, χρησιμοποιούν το βάρος του χώματος επίχωσης. Θεωρείται ο πιο κοινός τύπος κατασκευής αντιστήριξης γης. Είναι κατασκευασμένος και οπλισμένος από σκυρόδεμα τσιμέντου. Οι δομές συγκράτησης του εδάφους και οι επιφάνειες της γης με κλίση (πλαγιές), χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση δύο διαφορετικών υψόμετρων της επιφάνειας του εδάφους. Η λειτουργία ενός προβολικού τοίχου αντιστήριξης είναι κατά κύριο λόγο η

συγκράτηση του εδάφους σε μεγάλη κλίση και σε κάθετη ή σχεδόν κατακόρυφη θέση (EU, 2022). Ο σχεδιασμός μιας τέτοιας κατασκευής θα πρέπει να γίνεται με βάση κάποιους σημαντικούς παράγοντες όπως το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα, η φύση και το είδος του εδάφους, ο τύπος του τοίχου, οι μετακινήσεις των υδάτων του υπεδάφους και το υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του τοίχου. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η επίδραση των δύο μορφών της πίεσης της γης. Οι μορφές αυτές είναι:

«**Η ενεργή πίεση γείωσης**» - είναι η πίεση που οποιαδήποτε στιγμή τείνει να μετακινήσει ή να ανατρέψει τον τοίχο αντιστήριξης.

«**Η παθητική πίεση γείωσης**» - Είναι οι πιέσεις που αντιδρούν με τη μορφή αντίστασης στην κίνηση του τοίχου.

Μία κατασκευή τοίχου αντιστήριξης με πρόβολο από σκυρόδεμα χρησιμοποιεί ένα λεπτό στέλεχος από ενισχυμένη με χάλυβα τοιχοποιία, χυτή στη θέση του, σκυρόδεμα ή κονίαμα. Στα σχέδια για την κατασκευή ενός τοίχου προβόλου, το διάνυσμα πίεσης γείωσης δρα οριζόντια στην πλευρά του τοίχου. Το κάτω μέρος του τοίχου φέρει ένα διάνυσμα βαρύτητας προς τα κάτω. Το διάνυσμα που προκύπτει αντισταθμίζει το διάνυσμα πίεσης γείωσης και ωθεί προς τα πίσω στο φορτίο γείωσης. Τα υπόγεια ύδατα είναι ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή, διότι όταν βρίσκονται πίσω από ένα τοίχο αντιστήριξης, είτε είναι στατικά είτε διαπερνούν το έδαφος, μπορεί να έχουν αρνητικές συνέπειες στη σταθερότητα του τοίχου (Just, 2020).

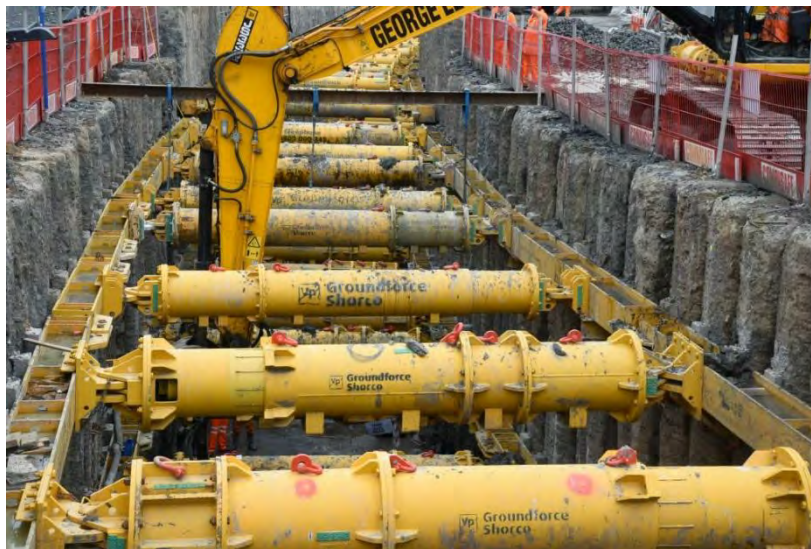
Οι τοίχοι προβόλου έχουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, το τμήμα του γεμίματος το οποίο βρίσκεται κάτω από τη βάση, θεωρείται ως μέρος του τοίχου. Επίσης δεν είναι βέβαιο ότι οι τοίχοι αυτού του τύπου θα υποστούν επαρκείς παραμορφώσεις έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η κατάσταση ενεργού πίεσης γης (Dagdougui, et al., 2018).



Εικόνα 35. Τοίχος αντιστήριξης με πρόβολου (Bauduin, 2022)

➤ Υποστηριζόμενος τοίχος πασσάλων

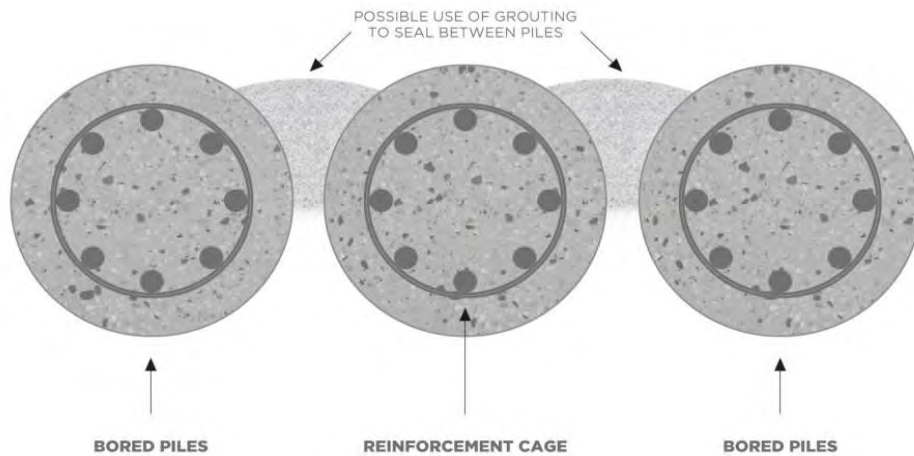
Ο τοίχος πασσάλων με υποστήριξη αντιπροσωπεύει τη δομή συγκράτησης η οποία θα πρέπει να εκτελεστεί με πρόσθετη προστασία όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα να εξασφαλιστεί η σταθερότητα της κατασκευής για φορτία σχεδιασμού. Οι απαιτήσεις του σχεδιασμού καθορίζουν εάν πρόκειται να πραγματοποιηθεί μία πρόσθετη προστασία τοίχων πασσάλων εντός (σύστημα αντιστήριξης) και εκτός ανοιχτού λάκκου (γεωτεχνικές και αυτοδιάτρητες άγκυρες και άλλα). Στο εμπρόσθιο μέρος του πλευρικού τοίχου πασσάλων και στη θέση της πρόσθετης προστασίας χάλυβα ή οπλισμένου σκυροδέματος, οι κάθετες δοκοί χρησιμοποιούνται τις περισσότερες φορές για τη μεταφορά φορτίου από τα μέτρα προστασίας στον τοίχο πασσάλων. Ο υποστηριζόμενος τοίχος πασσάλων παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα απόδοσης όπως η δυνατότητα μεγαλύτερου βάθους εκσκαφής και δυνατότητα αποδοχής μεγαλύτερου φορτίου (Just, 2020).



Εικόνα 36. Υποστηριζόμενος τοίχος πασσάλων (Anon., 2023)

➤ Ο συνεχόμενος τοίχος πασσάλων

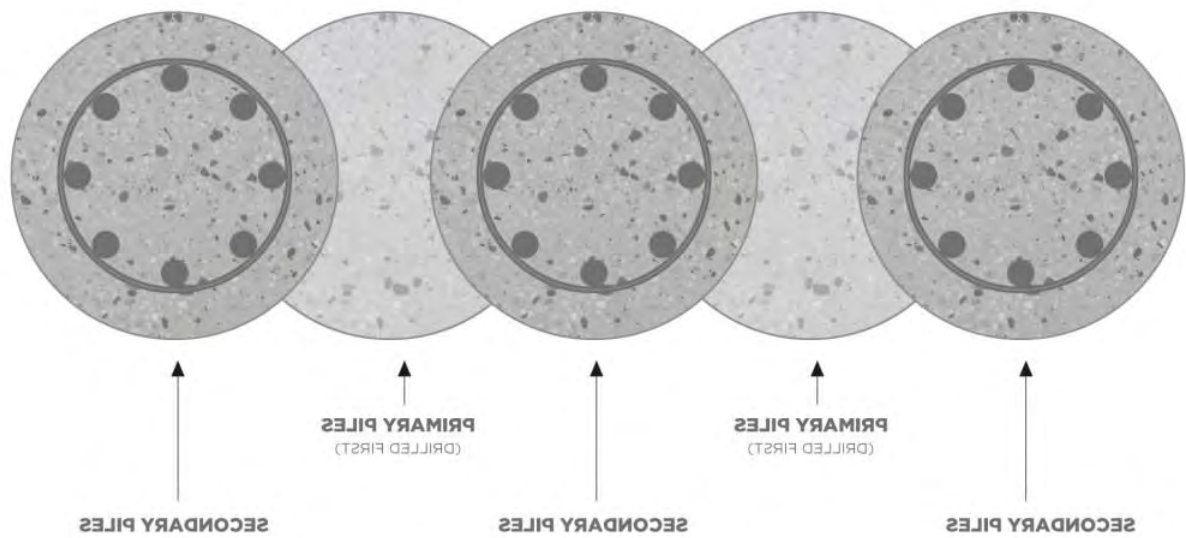
Η εκτέλεση του συνεχόμενου τοίχου πασσάλων πραγματοποιείται με απόσταση μεταξύ των πασσάλων. Ένας τοίχος αντιστήριξης αυτού του είδους εφαρμόζεται κυρίως σε συνεκτικά δηλαδή λεπτοκοκκώδη υλικά, τα οποία δεν παρουσιάζουν πιθανότητα να καταρρεύσει το υλικό μεταξύ των πασσάλων. Σε περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο τοποθετείται στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στον τοίχο του πασσάλου για τη σταθεροποίηση του υλικού. Αυτός ο τύπος αντιστήριξης προσφέρει ταχύτερη και χαμηλότερου οικονομικού κόστους απόδοση καθώς επίσης και μεγάλη προσαρμοστικότητα κατά την εκτέλεση του έργου (Anon., 2023).



Εικόνα 37. Συνεχόμενος τοίχος πασσάλων (Butcher, 2021)

➤ Ο τοίχος αντιστήριξης με πασσάλους σε τέμνουσα ή εφαπτόμενη

Ο σχηματισμός του τοίχου αντιστήριξης αυτού του είδους γίνεται με την εκτέλεση τεμνόμενων πασσάλων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την εκτέλεση πρωτογενών πασσάλων χωρίς οπλισμό. Έπειτα από την τοποθέτηση του σκυροδέματος και την επίτευξη των κατάλληλων επιπέδων αντοχής, γίνεται η εκτέλεση του δευτερεύοντα πασσάλου. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται με τη διάτρηση μέσω εδάφους θεμελίωσης και εν μέρει μέσω του πρωτεύοντος πασσάλου. Η επικάλυψη του πρωτεύων και δευτερεύοντα σωρού γίνεται έως 8-10 εκατοστά. Όταν ολοκληρωθεί η διάτρηση, η ενίσχυση των πασσάλων γίνεται με χαλύβδινες ράβδους ή προφίλ και με τοποθέτηση σκυροδέματος. Οι πάσσαλοι από τους οποίους αποτελείται ο τοίχος αυτός εφάπτονται αλλά δεν επικαλύπτονται, επομένως όλοι οι σωροί των τοιχωμάτων πασσάλων που εφάπτονται θα πρέπει να ενισχυθούν. Οι τοίχοι αυτοί παρουσιάζουν μεγάλη ακαμψία και ικανότητα να αποδεχτούν μεγάλο φορτίο καθώς και μεγαλύτερο βάθος ανοιχτού λάκκου και επίσης μπορούν να κατασκευαστούν σε εκσκαφές με μη συνεκτικά υλικά όπου υπάρχει η πιθανότητα κατάρρευσης υλικών μεταξύ των πασσάλων (Butcher, 2021).



Εικόνα 38. Τοίχος πασσάλων σε τέμνουσα ή εφαιπτόμενη (Bauduin, 2022)



Εικόνα 39. Τοίχος αντιστήριξης με πασσάλους (Butcher, 2021).

➤ Αγκυρωμένοι τοίχοι διαφράγματος.

Οι τοίχοι αντιστήριξης αυτού του τύπου παρουσιάζουν σταθερότητα η οποία οφείλεται στην παθητική αντίσταση του εδάφους, μπροστά από τον τοίχο αλλά και της δύναμης έλξης που παρέχει το σύστημα αγκύρωσης. Υπάρχουν δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αγκυρωμένων τοίχων αντιστήριξης διαφράγματος:

➤ Τα αγκυρωμένα γήινα τείχη

Ένας αγκυρωμένος γήινος τοίχος είναι οποιοσδήποτε τοίχος χρησιμοποιεί μονάδες πρόσωσης δεμένες σε ράβδους ή σε λωρίδες, των οποίων τα άκρα είναι αγκυρωμένα στο έδαφος. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για το δέσιμο είναι κυρίως τένοντες από χάλυβα υψηλής αντοχής.

➤ Η μέθοδος με ελικοειδείς άγκυρες – «Helical anchors»

Η μέθοδος αυτή υλοποιείται με τη χρήση αγκύρων οι οποίες μοιάζουν με γιγάντια τιμπουσόν και είναι ιδανικές για τη σταθεροποίηση των τοίχων αντιστήριξης και θεμελίωσης που έχουν υποστεί φθορά και βλάβη. Η διαδικασία εφαρμογής του γίνεται με την αγκύρωση του ελαττωματικού τοίχου στο έδαφος, δημιουργώντας οπές μέσα στον τοίχο και στο έδαφος πίσω από τον τοίχο σε συγκεκριμένο βάθος. Οι ελικοειδείς άγκυρες έχουν την ικανότητα να έλξουν τον ελαττωματικό τοίχο πίσω στη θέση του (Ει. 40) (Yeom et al., 2019).



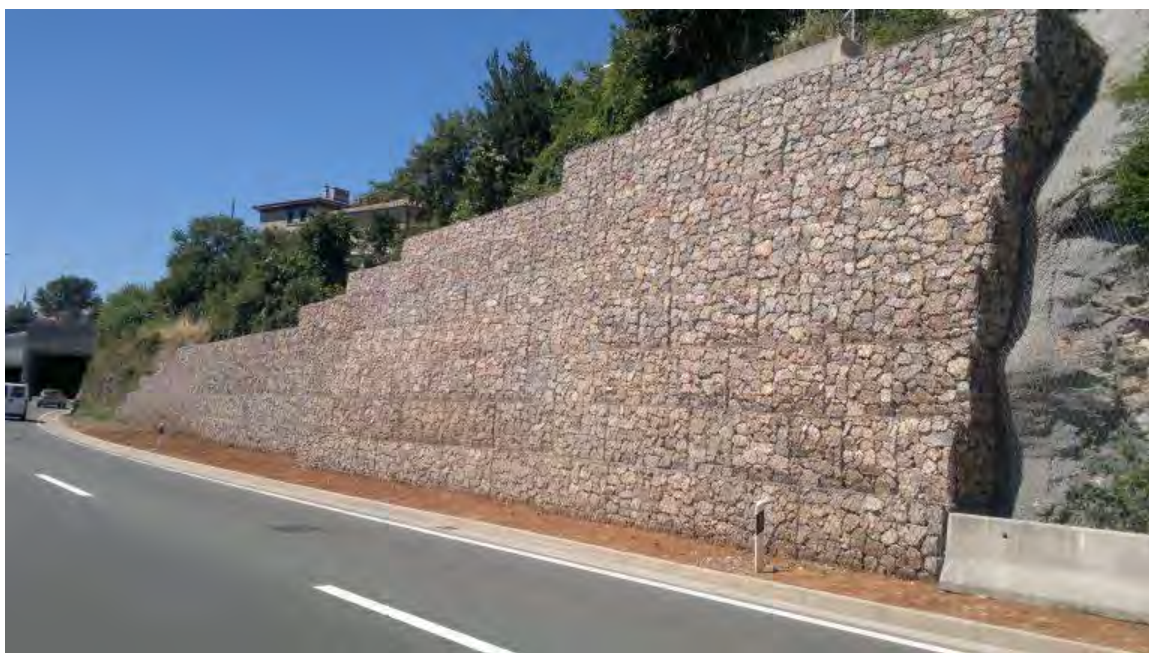
*Εικόνα 40. Τοίχος αντιστήριξης με ελικοειδείς άγκυρες*

➤ Ουρά Gabion – «Gabion Tail»

Η λέξη «gabion» προέρχεται από την ιταλική λέξη «gabbione», που σημαίνει «μεγάλο κλουβί». Τέτοιου είδους κατασκευές συνήθιζαν να εφαρμόζουν 7000 χρόνια για να

προστατεύουν τις όχθες του Νείλου. Σε άλλες χώρες χρησιμοποιήθηκαν ως στρατιωτικά οχυρά κατά το μεσαίωνα. Έχουν χρησιμοποιηθεί γενικότερα για διάφορους σκοπούς όπως για τη σταθεροποίηση οχθών, αυτοκινητόδρομων, τον έλεγχο διάβρωσης των πρανών και γενικότερα ως μία δομή συγκράτησης της βαρύτητας. Η εκτέλεσή τους γίνεται κυρίως με σκοπό τη σταθεροποίηση του εδάφους πίσω από τον τοίχο, ωστόσο θα μπορούσε να εκτελεστεί και ως τοίχος κάλυψης.

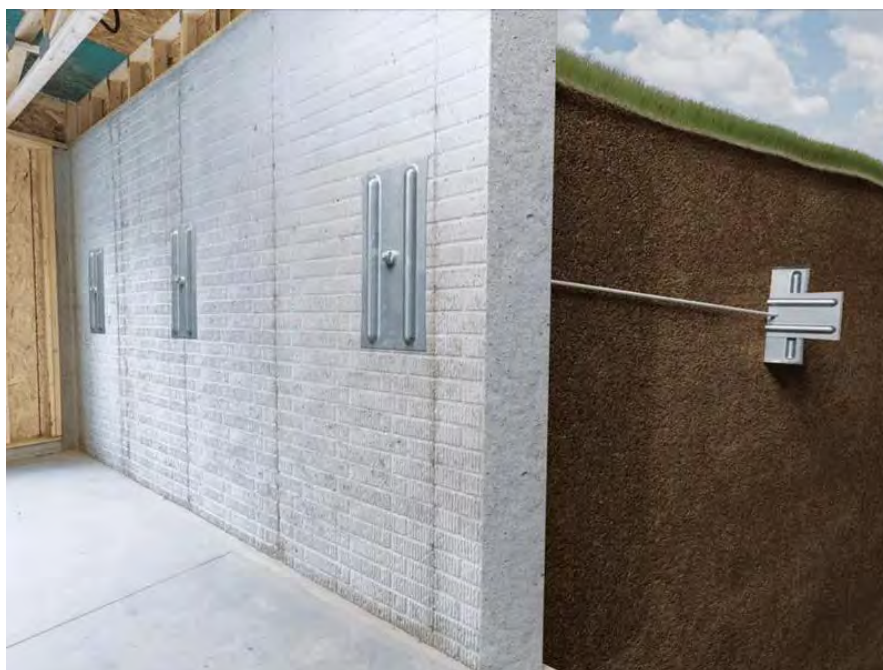
Η διαδικασία κατασκευής του περιλαμβάνει καλάθια «γκαμπονιού», τα οποία ανάλογα με το ύψος του τοίχου, στοιβάζονται σε μία ή περισσότερες σειρές και το σχήμα τους είναι παρόμοιο με ενός κλουβιού, με όλε στις πλευρές του να είναι κλειστές. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κλουβιών είναι γαλβανισμένα εξαγωνικά πλέγματα και σπασμένος βράχος, ο οποίος τοποθετείται μέσα στα κλουβιά (Εικ. 41). Η διαμόρφωση των κατασκευών αντιστήριξης τύπου « Gabion Tail» πραγματοποιείται με τη στοίβαξη κλουβιών – συρματοκυβωτίων στο κατάλληλο χρονοδιάγραμμα, παρέχοντας μία σχετικά χαμηλού κόστους εναλλακτική λύση για κατασκευές από σκυρόδεμα, οποί απαιτείται σταθεροποίηση του εδάφους (Konstandakopoulou, et al., 2020).



Εικόνα 41. Τοίχος αντιστήριξης με τη μέθοδο Gabion Tail (Anon., 2023)

#### ➤ Άγκυρες πλάκας τοίχου – «Wall plate anchors»

Οι Άγκυρες πλάκας τοίχου αποτελεί μία μέθοδο επισκευής, με σκοπό τη σταθεροποίηση του είδη υπάρχοντα τοίχου αντιστήριξης ή θεμελίωσης, που έχει υποστεί φθορά ή ζημιά. Με τη χρήση πλάκας, γίνεται η στερέωση στον τοίχο αντιστήριξης και στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση με μία άγκυρα που έχει τοποθετηθεί στο χώμα και στην άλλη πλευρά του τοίχου (Mustafa, et al., 2022).



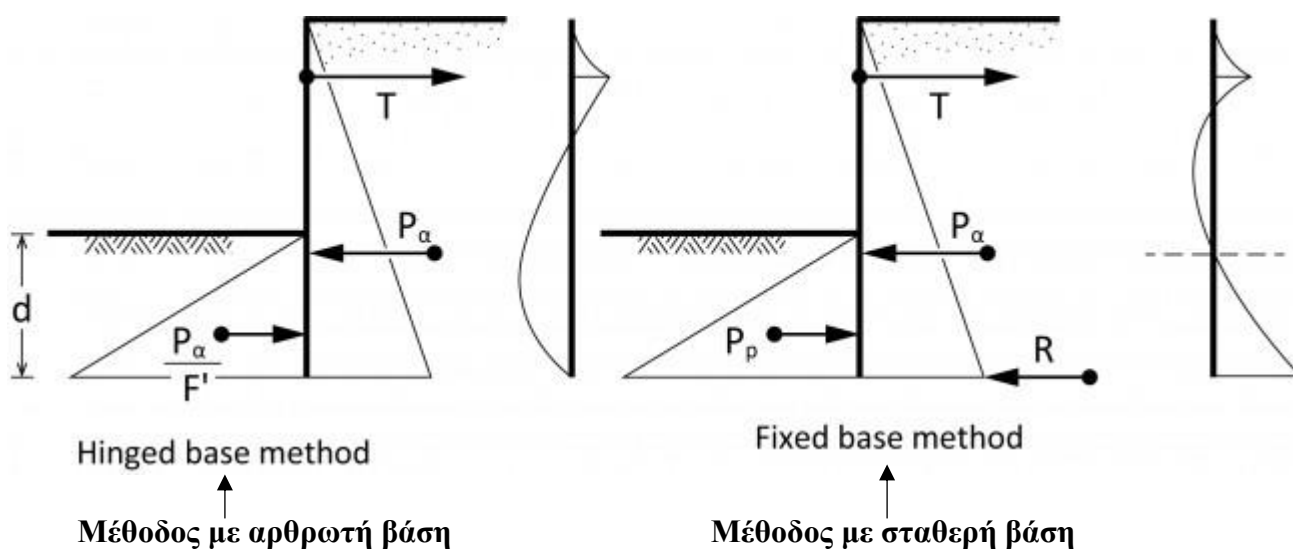
Εικόνα 42. Τοίχος αντιστήριξης με άγκυρες πλάκας (Αnon., 2023).

➤ Μέθοδος με αρθρωτή βάση – «Hinged-base method»

Σε αυτή τη μέθοδο κυριαρχεί η υπόθεση ότι το βάθος ενσωμάτωσης δεν επαρκεί, επομένως το κάτω άκρο του τοίχου είναι ελεύθερο να περιστρέφεται. Οι παθητικές πιέσεις γείωσης αναπτύσσονται μόνο εμπρός του τοίχου και υπολογίζονται γίνεται διαίρεση με τον συντελεστή ασφάλειας. Ο υπολογισμός του βάθους ενσωμάτωσης πραγματοποιείται βάση της ισορροπίας της οριζόντιας δύναμης. Ο σχεδιασμός των διαστάσεων του τοίχου και η ενίσχυση της διατομής του τοιχώματος των πασσάλων, καθορίζονται από τη μέγιστη ροπή. Κατά την κατασκευή του τοιχώματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο κίνδυνος πιθανής αύξησης του ύψους του τοίχου. Αυτό μπορεί λόγω των καιρικών συνθηκών και της διάβρωσης του υλικού του εδάφους (Mustafa, et al., 2022).

➤ Μέθοδος σταθερής βάσης – «Fixed Base Method».

Κατά τη μέθοδο της σταθερής βάσης λαμβάνεται υπόψη ότι το βάθος ενσωμάτωσης είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να μην επιτρέπεται η περιστροφή της βάσης του τοίχου. Επομένως η παθητική αντίσταση μπροστά στον τοίχο θεωρείται με ελλείποντα παράγοντα ασφάλειας και ότι η δύναμη που προκύπτει ενεργεί στη βάση του τοίχου. Αυτή η μέθοδος απαιτεί πιο περίπλοκους υπολογισμούς και συνήθως οδηγεί σε μικρότερες τιμές ροπών κάμψης (Mustafa, et al., 2022).



Εικόνα 43. Μέθοδος αντιστήριξης με αρθρωτή βάση και με σταθερή βάση (Anon., 2023).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία κατά την εφαρμογή κατασκευαστικών εργασιών όπως η διαδικασία εκσκαφής και κατασκευής ενός τοίχου αντιστήριξης. Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως ο όγκος των χωματουργικών εργασιών και η γενικότερη προστασία του περιβάλλοντος, μειώνοντας όσος το δυνατό περισσότερο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά ταυτόχρονα παρέχοντας το βέλτιστο επίπεδο λειτουργικότητας της κατασκευής. Οι μελετητές σε κάθε κατασκευαστικό έργο θα πρέπει να χρησιμοποιούν τεχνικές και μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα για παράδειγμα τη χρήση περιορισμένων υλικών και όχι υπέρβασης υλικών, την προστασία του εδάφους και την ελαχιστοποίηση αποβλήτων από τις κατασκευές. Κάποιες από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαδικασία πραγματοποίησης των εκσκαφών και άλλων κατασκευαστικών έργων, είναι ο θόρυβος που προκαλείται, η ατμοσφαιρική ρύπανση, τα απόβλητα, η επιρροή στα υπόγεια ύδατα, καθιζήσεις και άλλα (Hai-Min Lyu, 2020).

#### 5.1. Μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ)

Οι μελέτες εκτίμησης και περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι υποχρεωτικές για όλα τα κατασκευαστικά έργα και δραστηριότητες στον ιδιωτικό αλλά και δημόσιο τομέα, εκτός από εκείνα που εξυπηρετούν σκοπούς εθνικής άμυνας. Έργο θεωρείται κάθε νέα κατασκευή, ανακαίνιση, επισκευή, επέκταση, συντήρηση και δημιουργία αυτοτελούς λειτουργίας από οικονομική ή τεχνική άποψη, καθώς και κάθε σχετική τεχνική εργασία που απαιτεί τεχνική γνώση και επέμβαση (Ν.2229/1994). Ως δραστηριότητες θεωρούνται κάθε επέμβαση που πραγματοποιείται στο φυσικό τοπίο, για εκμετάλλευση φυσικών πόρων οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση ή υποβάθμιση στο περιβάλλον (Ν.1650/1986). Οι κατηγορίες των δημόσιων και ιδιωτικών έργων δημιουργούνται ανάλογα με:

- Το μέγεθος του έργου
- Το είδος του έργου
- Τη δυνατότητα να προληφθεί η παραγωγή ρύπων
- Τον κίνδυνο σοβαρού ατυχήματος και την ανάγκη επιβολής περιορισμών, (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2023)

**Οι κατηγορίες των έργων σύμφωνα με το βαθμό κινδύνου κατατάσσονται ως εξής:**

- 1η κατηγορία: Σοβαροί κίνδυνοι για το περιβάλλον
- 2η κατηγορία: Δεν προκαλούν σοβαρούς κινδύνους ή οχλήσεις, πρέπει να τηρούν γενικές προδιαγραφές

- 3η κατηγορία: Προκαλούν ιδιαίτερα μικρό κίνδυνο (EC, 2022)

**Οι ομάδες των έργων και των δραστηριοτήτων κατατάσσονται ως εξής:**

- Έργα οδοποιίας
- Υδραυλικά έργα
- Λιμενικά έργα
- Συστήματα υποδομών
- Εξορυκτικές και συναφείς δραστηριότητες
- Τουριστικές εγκαταστάσεις – Εργασίες
- πολεοδομίας
- Κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές εγκαταστάσεις
- Υδατοκαλλιέργειες
- Βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εργασίες
- διαρρύθμισης βιομηχανικών ζωνών
- Ειδικά έργα (EC, 2022)

**Σε μία μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων περιλαμβάνονται τα παρακάτω βήματα:**

- Ο τίτλος του έργου.
- Το είδος και το μέγεθος του έργου ή της δραστηριότητας.
- Η γεωγραφική θέση και διοικητική υπαγωγή του έργου ή της δραστηριότητας.
- Αναφορά της γεωγραφικής θέσης με πληροφορίες για το τοπωνύμιο και τα χαρακτηριστικά σημεία διέλευσης (για γραμμικό έργο).
- Η Διοικητική υπαγωγή: αναφέρεται η Περιφέρεια, η Περιφερειακή Ενότητα, ο Δήμος ή η Δημοτική ενότητα ή Τοπική κοινότητα σύμφωνα με το Ν.3852/2010 (Α'87)
- Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του έργου ή της δραστηριότητας: οι συντεταγμένες κεντροβαρή ή των κορυφών των πολυγώνων επέμβασης / έκτασης κατάληψης για σημειακό ή εκτατικό έργο ενώ για γραμμικό έργο τουλάχιστον την αρχή την μέση και το τέλος του έργου ή της δραστηριότητας.
- Η Κατάταξη έργου ή δραστηριότητας: αναφέρεται η ομάδα / κατηγορία / υποκατηγορία / αύξοντα αριθμού του προτεινόμενου έργου, σύμφωνα με την ΥΑ 1958/2012 όπως τροποποιήθηκε με την ΥΑ οικ. 37674/2016 (ΦΕΚ 2471/Β/10-08-2016) Για σύνθετα έργα αναφέρεται η κατάταξη καθενός επιμέρους έργου από τα οποία αποτελείται και επισημαίνεται αυτό που καθορίζει την τελική κατάταξη του συνολικού έργου.
- Φορέας του έργου ή της δραστηριότητας: αναφέρεται η επωνυμία, η ταχυδρομική διεύθυνση, η περιοχή, οι τηλεφωνικοί αριθμοί, fax, email, ονοματεπώνυμο υπεύθυνου επικοινωνίας, θέση και στοιχεία επικοινωνίας με αυτόν.
- Περιβαλλοντικός μελετητής του έργου ή της δραστηριότητας: αναφέρεται η επωνυμία, η ταχυδρομική διεύθυνση, η περιοχή, οι τηλεφωνικοί αριθμοί, fax, email, web address, ονοματεπώνυμο υπεύθυνου επικοινωνίας, θέση και στοιχεία επικοινωνίας με αυτόν (EC, 2022).

### «Μη τεχνική- περίληψη»

Μία μη-τεχνική περίληψη θεωρείται ένα ανεξάρτητο τμήμα της ΜΠΕ, στην οποία συνοψίζεται το περιεχόμενο της μελέτης με μη-τεχνική γλώσσα, με σκοπό να είναι κατανοητό στο κοινό. Συγκεκριμένα σε μία μη-τεχνική περίληψη αναφέρονται τα εξής:

- Η γεωγραφική θέση του έργου, η διοικητική υπαγωγή και μια συνοπτική περιγραφή των κύριων στοιχείων του.
- Οι αποστάσεις του έργου ή δραστηριότητας από όριο οικισμών και εγκεκριμένων πολεοδομικών σχεδίων, όρια περιοχών του εθνικού συστήματος προστατευόμενων περιοχών σύμφωνα με τον Ν.3937/2011 (Α' 60), και από δάση και γενικότερα δασικές εκτάσεις, εγκαταστάσεις εκπαίδευσης, περίθαλψης ή φροντίδας ηλικιωμένων κ.λ.π.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου/δραστηριότητας.
- Τις προτεινόμενες δράσεις και τα μέτρα για την ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής διάστασης στο σχεδιασμό του έργου/δραστηριότητας.
- Τις προτεινόμενες δράσεις γενικότερα για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Τις επιδράσεις του έργου στην τοπική και εθνική οικονομία και στην κοινωνία και τα οφέλη από την υλοποίησή του.
- Αναφέρονται όλες οι βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις που μελετήθηκαν σχετικά με το έργο, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Θα πρέπει να υπάρχει ο κατάλληλος χάρτης ο οποίος καταγράφει τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της περιοχής όπου υλοποιείται το έργο.
- Σε διασυνοριακές περιπτώσεις σύμφωνα με τον Ν.2540/1997 (Α' 249) η με τεχνική περίληψη υποβάλλεται και στην Αγγλική γλώσσα.
- Σε περιπτώσεις συμπερίληψης Ειδικής Οικολογικής Αξιολόγησης (ΕΟΑ) στην ΜΠΕ, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων στη μη τεχνική περίληψη (ΕΥ, 2022).

### «Ανάλυση της υφιστάμενη κατάστασης του περιβάλλοντος»

Στη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι πολύ σημαντικός παράγοντας η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης του περιβάλλοντος. Τα σημαντικότερα στοιχεία που θα πρέπει να καταγράφονται στη ΜΠΕ σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση του περιβάλλοντος είναι τα εξής:

- Οι τάσεις εξέλιξης του περιβάλλοντος χωρίς το έργο/δραστηριότητα.
- Οι τρέχουσες παράμετροι του φυσικού περιβάλλοντος στην περιοχή μελέτης.
- Καθορίζεται η περιοχή η οποία μελετάται (εάν είναι προστατευόμενη ή όχι).
- Θα πρέπει να αναφερθεί εάν υπάρχει υδροτροπική προστατευόμενη περιοχή.
- Περιγράφονται τα βιοκλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής και εκείνα που σχετίζονται με τις βασικές αρχές του οικοσυστήματος και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

- Περιγράφονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά.
- Καταγράφονται οι τυχόν εξάρσεις τοπίου οι οποίες συνδέονται με το έργο/δραστηριότητα.
- Αναφέρονται τα σημαντικά και τα τρωτά σημεία του έργου.
- Καταγράφονται τα γεωλογικά, εδαφολογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά εδάφους.
- Καταγράφονται τα υδρολογικά, γεωλογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής.
- Περιγράφονται τα γενικά στοιχεία σχετικά με το φυσικό περιβάλλον της περιοχής (χλωρίδα, πανίδα), η οικολογική διάρθρωση του οικοσυστήματος.
- Σε περίπτωση προστατευόμενης περιοχής αναφέρονται «τα όρια προστατευόμενης περιοχής».
- Για περιπτώσεις που απαιτείται πρέπει να υπάρχει η Ειδική Οικολογική Αξιολόγηση (ΕΟΑ), παραθέτοντας τη σύνοψη οικολογικών στοιχείων της επηρεαζόμενης περιοχής του δικτύου Natura 2000.
- Περιγραφή των βασικών οικολογικών στοιχείων κάθε περιοχής.
- Κατάθεση ψηφιακής απεικόνισης της ζώνης κάλυψης του έργου για τις δασική υπηρεσία.
- Απαιτείται χωροταξικός σχεδιασμός και η υφιστάμενη χρήση της γης.
- Καταγράφονται οι υφιστάμενες τεχνικές υποδομές στην περιοχή.
- Καταγράφονται όλα τα δίκτυα (άρδευσης κ.τ.λ.).
- Καταγράφονται όλες οι υπάρχουσες πηγές ρύπανσης (ΕΥ, 2022)

#### **«Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων»**

Για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων γίνεται εκτίμηση και αξιολόγηση των σημαντικότερων επιπτώσεων που είναι πιθανό να συμβούν, από το έργο/δραστηριότητα από τη χρήση των φυσικών πόρων, τη δημιουργία αποβλήτων και την εκπομπή ρύπων. Τα σημαντικότερα σημεία που πρέπει να αναφέρονται είναι:

- Πιθανότητα εμφάνισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Έκταση περιβαλλοντικών επιπτώσεων σχετικά με τη γεωγραφική έκταση και το μέγεθος του πληθυσμού.
- Πολυπλοκότητα των επιπτώσεων, μηχανισμός εμφάνισης και εξαρτήσεις έκτασης και έντασης.
- Διάρκεια εμφάνισης των Π.Ε. (Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων).
- Πρόληψη και αποφυγή των Π.Ε.
- Αθροιστική δράση με άλλα έργα που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή.
- Επιπτώσεις σχετικά με βιοκλιματικά χαρακτηριστικά και το μικροκλίμα.
- Εκπομπές θερμών ή ψυχρών αερίων και οι μεταβολές στη θερμοχωρητικότητα.
- Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Επιπτώσεις σε μορφολογικά χαρακτηριστικά.
- Επιπτώσεις σε τοπιολογικά χαρακτηριστικά και αξιολόγηση τοπιολογικών μεταβολών.

- Επιπτώσεις σχετικά με γεωλογικά, εδαφολογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής, τα πετρώματα (κατολισθήσεις, καθιζήσεις κ.α.).
- Επιπτώσεις σε δάση και δασικές εκτάσεις και υπογείων και επιφανειακών υδάτων.
- Επιπτώσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον.
- Εκτίμηση μεταβολών στη χρήση γη ως αποτέλεσμα του έργου.
- Άμεσες και έμμεσες αλλαγές λόγω του έργου (EC, 2022).

## **5.1. Τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (CDW)**

Τα απόβλητα που προκύπτουν από τις εκσκαφές και τις κατεδαφίσεις (Construction and demolition waste - CDW), αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το ένα τρίτο των συνολικών αποβλήτων που παράγονται στην Ε.Ε. Τα απόβλητα αυτά περιλαμβάνουν υλικά όπως σκυρόδεμα, τούβλα, γυαλί, διάφορα μέταλλα, πλαστικό και ξύλο. Γενικότερα το CDW περιλαμβάνει όλα τα απόβλητα που προκύπτουν από τη διαδικασία κατασκευής και κατεδάφισης κτιρίων και υποδομών, καθώς και τον ρυμοτομικό σχεδιασμό και τη συντήρηση. Η Ε.Ε. αναφέρει ότι ορισμένα στοιχεία των αποβλήτων αυτών έχουν υψηλή αξία πόρων, ενώ άλλα όχι. Ωστόσο τα περισσότερα από αυτά τα απόβλητα θα μπορούσαν να υποστούν κάποιου είδους επεξεργασία και να μετατραπούν σε νέα προϊόντα και υλικά. Η απαιτούμενη τεχνολογία για το διαχωρισμό αλλά και την επεξεργασία υλικών που προκύπτουν από τις εκσκαφές και κατασκευές κτηρίων και υποδομών, είναι εύκολα προσβάσιμη και δεν έχει υψηλό οικονομικό κόστος. Πολλές φορές τα απόβλητα αυτά περιέχουν επικίνδυνα υλικά όπως δαυλίτες και αμίαντο, αποτελώντας ιδιαίτερο κίνδυνο για το περιβάλλον και επιβαρυντικό παράγοντα για την ανακύκλωση. Το επίπεδο ανάκτησης υλικών στην Ε.Ε. κυμαίνεται από 10% έως 90% , παρά τις δυνατότητες και το επίπεδο ανακύκλωσης και επίσης ποικίλλει σημαντικά. Σε κάθε κομητεία της Ε.Ε. εφαρμόζονται διαφορετικοί ορισμοί για τα CDW, ένα γεγονός που προκαλεί σύγχυση και δυσχεραίνει τις συγκρίσεις μεταξύ των ενεργειών που πραγματοποιεί κάθε χώρα μέλος της Ε.Ε (European Union, 2021).

## **5.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την υλοποίηση εκσκαφής**

Με την ανάπτυξη της κατασκευής έργων κυρίως στα αστικά κέντρα, αξιοποιείται μεγάλα τμήματα υπόγειων χώρων και εμφανίζονται διαδοχικά πολλά βαθιά θεμέλια. Η διαδικασία εκσκαφής θα πρέπει να διασφαλίζει τόσο τη σταθερότητα και την ασφάλεια της κατασκευής, όσο και τη ασφάλεια του εδάφους. Σε μαλακά εδάφη το χώμα είναι συχνά κορεσμένο κι η εκσκαφή θα έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση μεγάλου στρώματος του εδάφους. Οι επακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εκσκαφών, όπως η επίδραση στην ασφάλεια των γύρω κτηρίων, του μετρό, των υπόγειων αγωγών, και άλλων δημοτικών και διοικικών κατασκευών αποτελούν σοβαρά προβλήματα στα έργα των εκσκαφών και

απαιτούν την προσοχή των αρμόδιων. Η καθίζηση του εδάφους και η πλευρική εκτροπή είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που προκαλούνται από τις εκσκαφές. Πολλοί μελετητές ερεύνησαν τον κανόνα της μετατόπισης στο μέσο του εδάφους το οποίο περιβάλλει τις βαθιές εκσκαφές, παρουσιάζοντας μία μέθοδο η οποία αξιολογεί το φαινόμενο της καθίζησης της επιφάνειας του εδάφους (Song-Shun Lin, 2021).

Λόγω της πολυπλοκότητας της διαδικασίας μιας εκσκαφής και της διαρροής των υπόγειων υδάτων, οι μελέτες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εκσκαφών δεν είναι ακόμη απόλυτες. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η διαρροή των υπόγειων υδάτων η οποία προκαλείται από την εκφόρτωση ή από τη διαφορά της ροής του νερού μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού τμήματος του λάκκου, αλλά και η σύζευξη της διαρροής των υπόγειων υδάτων και της παραμόρφωσης του σκελετού του εδάφους (Song-Shun Lin, 2021).

### **5.3. Οι στόχοι της Ε.Ε.**

Οι κύριοι στόχοι της ροής αποβλήτων που θέτει η Ε.Ε. είναι η διασφάλιση ότι η διαχείριση του CDW γίνεται με τις κατάλληλες και άκρως ορθές διαδικασίες και ότι η αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού της CDW θα συμβάλει στη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία. Η Ε.Ε. στοχεύει κυρίως *«στην σωστή προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και ανάκτηση υλικών, μη επικίνδυνων απορριμμάτων, κατασκευών και κατεδάφισης (εξαιρουμένων των υλικών που υπάρχουν στη φύση που ορίζονται στην κατηγορία 17 05 04 στον κατάλογο αποβλήτων) θα αυξηθεί τουλάχιστον στο 70 % κατά βάρος. Επίσης η Ε.Ε. στοχεύει στην προώθηση της επιλεκτικής κατεδάφισης για να καταστεί δυνατή η απομάκρυνση και ο ασφαλής χειρισμός επικίνδυνων ουσιών και η διευκόλυνση της επαναχρησιμοποίησης και της υψηλής ποιότητας ανακύκλωσης με την επιλεκτική αφαίρεση των υλικών και τη δημιουργία συστημάτων διαλογής και τέλος στη μείωση της παραγωγής απορριμμάτων»* (EC, 2022).

#### **5.3.1. Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία**

Το 2018 η Ε.Ε. δημοσίευσε μία επισκόπηση όσον αφορά στην εφαρμογή της νομοθεσίας για τα CDW. Η δημοσίευση αναφέρει ότι η σωστή διαχείριση των απορριμμάτων συμβάλλει στην αποτροπή των αρνητικών επιπτώσεων αποβλήτων στο περιβάλλον και την υγεία και αποτελεί δομικό στοιχείο της κυκλικής οικονομίας. Σε κάθε χώρα οι τοπικοί φορείς κατέχουν το σημαντικότερο ρόλο για την εφαρμογή των πολιτικών αυτών και τη διαχείριση των αποβλήτων. Οι τοπικοί φορείς θα πρέπει να στηρίζουν τις νομοθεσίες της Ε.Ε. και να προωθούν την υλοποίηση και εφαρμογή τους. Η Ε.Ε. εντοπίζει τις προκλήσεις που εμποδίζουν την απόλυτη συμμόρφωση και επίσης παρέχει συστάσεις για

τον τόπο με βελτίωσης της διαχείρισης αποβλήτων. Οι οδηγίες της Ε.Ε. σύμφωνα με τη νομοθεσία είναι οι εξής:

-«**Οδηγία 2008/98/ΕΚ**» για τα απόβλητα («Οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα»), (Παράρτημα 1). (ΕΥ, 2023)

## **5.4. Εναλλακτικές μέθοδοι εκμετάλλευσης των απόβλητων**

### **5.4.1. Τα BC Materials**

Στο Βέλγιο ανασκάπτονται 37 εκατομμύρια τόνοι χωματουργικών ρευμάτων ετησίως, κυρίως από λατομεία, ορυχεία και κατασκευαστικά και δομικά έργα σε αστικές και μη περιοχές, με εκατοντάδες φορτηγά να μετακινούνται σε μεγάλη συχνότητα εντός και εκτός των αστικών κέντρων. Υπολογίζεται ότι τουλάχιστον σχεδόν η μισή ποσότητα των αποβλήτων αυτών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν ως οικοδομικά υλικά. Ένα εργοστάσιο το BC Materials το οποίο βρίσκεται στις Βρυξέλες, αναμειγνύει και μετατρέπει τα απόβλητα ή όπως τα ονομάζουν οι υπεύθυνοι της εταιρείας τα «συνηθισμένα γήινα ρεύματα», σε άψογα κυκλικά δομικά υλικά, όπως πηλό, σοβάδες και συμπιεσμένα χώματα. Η BC Materials είναι ένας συνεταιρισμός που είναι ο πρώτος στην Ε.Ε. που παράγει οικοδομικά υλικά με βάση τα υπολείμματα από τις εκσκαφές και τα εργοτάξια. Η διαδικασία παραγωγής είναι ουδέτερη σε CO<sub>2</sub> (Διοξείδιο του άνθρακα), διότι δε χρειάζεται μηχανισμούς υψηλών θερμάνσεων, όπως συμβαίνει με άλλα υλικά. Επίσης τα προϊόντα που προκύπτουν είναι κυκλικά, λόγω της προέλευσής τους, καθώς στην αρχική τους μορφή ήταν απόβλητα, από υλικά που δεν έχουν αλλοιωθεί χημικά και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία φορές. Στις Βρυξέλλες και στη Φλάνδρα ανασκάπτονται ετησίως 22,5 εκατομμύρια τόνοι. Περίπου το 75% είναι μη ρυπασμένο και από αυτό το ποσό το 40% επαναχρησιμοποιείται με μη κυκλικό τρόπο για οδικές υποδομές και το 60% απορρίπτεται ως απόβλητα σε κλειστά λατομεία (BC, 2023)

### **5.4.2. Η μέθοδος LCA**

Η μέθοδος LCA είναι μία περιβαλλοντική μελέτη η οποία αξιολογεί το περιβαλλοντικό φορτίο του κύκλου ζωής. Συγκεκριμένα προσδιορίζει την εισροή πρώτων υλών, χημικών ουσιών, των εκροών αποβλήτων, μορφών ενέργειας και των ρύπων και αξιολογεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα πρώτα στάδια της κατασκευαστικής διαδικασίας κατά την υλοποίηση ενός κατασκευαστικού έργου, όπως μία εκσκαφή, η συλλογή και μεταφορά πρώτων υλών, αναφέρονται ως «τα αντίθετα στο ρεύμα», ενώ η χρήση και η απόρριψη των υλών ως «στο ρεύμα». Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO 14040 και

14044, διεθνή πρότυπα για την περιβαλλοντική διαχείριση (πράσινη διαχείριση) που έχουν θεσπιστεί από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO - International Organization for Standardization – Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης). Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει το μέγεθος της περιβαλλοντικής επίπτωσης κάθε τύπου κατασκευαστικής διαδικασίας καθώς και για τα υλικά και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιούνται. Εφαρμόζεται στον κατασκευαστικό κλάδο σε διεθνές επίπεδο με σκοπό να αντικατοπτρίσει τις διάφορες εκτιμήσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις κατασκευαστικές διαδικασίες και παρέχει προτάσεις για τη χρήση εναλλακτικών και φιλικών προς το περιβάλλον, μεθόδων κατασκευής (Luo, et al., 2019). Οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που εντοπίζει η μέθοδος αυτή είναι:

- Η εξάντληση αβιοτικών πόρων,
- Η υπερθέρμανση του πλανήτη,
- Η καταστροφή του όζοντος,
- Η δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτικών,
- Η οξίνιση,
- Ο ευτροφισμός,
- Η οικοτοξικότητα και
- Η ανθρώπινη τοξικότητα.

Επίσης γίνεται υπολογισμός και σύγκριση των στοιχείων των βασικών παραγόντων που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και μονοξείδιο του άνθρακα (CO) από όλες τις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και συγκρίνονται με εναλλακτικές (Baumann, 2004).

Η Ολλανδία έχει υιοθετήσει και αναπτύσσει προγράμματα αξιολόγησης LCA, στον κατασκευαστικό κλάδο από το 1994, σε συνεργασία του Υπουργείου Περιβάλλοντος της χώρας και οργανισμών από τον κατασκευαστικό κλάδο. Στη Φιλανδία η αξιολόγηση LCA διεξάγεται από το Κέντρο Τεχνικής Έρευνας της χώρας. Το πεδίο εφαρμογής της LCA ορίζεται σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός μεμονωμένου κτιρίου, όπως η μεταφορά, η συντήρηση, η παραγωγή υλικών και η αποσυναρμολόγηση (Baumann, 2004).

## **5.5. Μέτρα για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων**

Κατά την πραγματοποίηση των εκσκαφών προκαλούνται επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ευρύτερη περιοχή. Η εκπομπές σκόνης που παράγεται από τη λειτουργία των εργοταξίων είναι δυσάρεστη και επιβάρυνση για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Για την ελαχιστοποίησή ρύπων σκόνης θα πρέπει ιδανικά το εργοτάξιο να βρίσκεται εκτός κατοικημένης περιοχής. Σε περίπτωση που οι εργασίες πραγματοποιούνται εντός οικιστικής ζώνης, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αντιρρυπαντικά μέτρα όπως είναι ο καταιονισμός με νερό σε κατάλληλες θέσεις όπως στα σημεία θραύσης και εξόδου

του προϊόντος. Επίσης οι μεταφορές αδρανών θα πρέπει να γίνονται με κλειστές μεταφορικές ταινίες και να αποβάλλεται η σκόνη τους με τη χρήση φίλτρων. Για την Παρασκευή σκυροδέματος θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συστήματα υγρού τύπου και κλειστά κ και να χρησιμοποιείται ανακυκλωμένο νερό από τη δεξαμενή καθίζησης. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να πλένονται τα βαρέα οχήματα έτοιμου σκυροδέματος σε στρωμένο με τσιμέντο κεκλιμένο δάπεδο με απορροή των νερών στη δεξαμενή καθίζησης. Όλα τα οχήματα και μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία κατασκευής θα πρέπει να βρίσκονται σε άριστη κατάσταση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται όσο το δυνατό περισσότερο οι εκπομπές ρύπων, σκόνης και θορύβου. Ο υπεύθυνος του έργου θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από άριστες οργανωτικές δεξιότητες, έτσι ώστε να συντονίζει το έργο σωστά για την ταχύτερη ολοκλήρωση της κατασκευής. Επίσης θα πρέπει να φροντίζει τη δυνατότητα χρήσης του πλεονάσματος των εκχωμάτων για την κατασκευή επιχωμάτων και παράλληλα να ελαχιστοποιεί το χρόνο αποθήκευσης των συσσωρευμένων υλικών (Bauduin, 2022).

Μία σημαντική πηγή αποβλήτων είναι τα ορυκτέλαια από τα φορτηγά και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίησή της εκσκαφής. Θα πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα αποκομιδής και συλλογής των ορυκτελαίων αυτών. Εάν δεν υπάρχει αυτό το σύστημα τα ελαία αυτά εισχωρούν στο έδαφος και καταλήγουν στα υπόγεια ύδατα. Η διαχείριση των ορυκτελαίων που προκύπτουν γίνεται σύμφωνα με το Νομοθέτημα Π.Δ.82/2-3-2004 (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2023). Σύμφωνα με το νομοθέτημα οι υπεύθυνοι των εργοταξίων θα πρέπει να απαγορεύουν την απόρριψη ορυκτελαίων στο έδαφος και να δημιουργήσουν ένα σύστημα συλλογής και αποκομιδής τους, σε μονάδες ανάκτησης ορυκτελαίων (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2023). Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 72751/3054/22-10-85 πραγματοποιείται η διάθεση τοξικών και επικίνδυνων απόβλητων στα εργοτάξια (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2023).

Σε πολλές περιπτώσεις κατά την υλοποίηση εκσκαφών και άλλων έργων υπάρχει διαρροή καυσίμων ή πίσσας ή άλλων ουσιών επικίνδυνων για το περιβάλλον, που μολύνουν τα επιφανειακά ύδατα και το έδαφος. Σε τέτοιες περιπτώσεις αμέσως μετά τη διαφυγή των ουσιών, θα πρέπει να γίνεται η χρήση άμμου, ειδικού γεωυφάσματος ή ροκανιδιού, για την άμεση απορρόφηση της βλαβερής ουσίας (Catarina, 2019).

Όταν προκύπτουν απόβλητα θα πρέπει αμέσως να γίνεται η διαλογή τους σύμφωνα με εκείνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εκείνα που δε διατίθενται για επαναχρησιμοποίηση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η υλοποίηση των κατασκευαστικών έργων όπως είναι οι εκσκαφές, θα πρέπει να συμβαδίζουν με την προστασία του περιβάλλοντος. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι εκσκαφών και κατασκευών αντιστήριξης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταφέρει να παρέχει νέες και εναλλακτικές μεθόδους για το σχεδιασμό και την υλοποίηση εκσκαφών σε μικρά και μεγάλα βάθη, αλλά και για έργα αντιστήριξης, έργα τα οποία έχουν καλύτερη απόδοση από τα συμβατικά και με λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Για την σωστή υλοποίηση του έργου θα πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος εκσκαφής και ο κατάλληλος μηχανικός εξοπλισμός. Διαφορετικός εξοπλισμός απαιτείται για μία εκσκαφή σε μεγάλο βάθος ή για μία εκσκαφή σε βραχώδη εδάφη ή σε εκσκαφή λάσπης. Ο τεχνολογικά εξελιγμένος μηχανικός εξοπλισμός και οχήματα, παρέχουν νέες εναλλακτικές μεθόδους και οι εκσκαφές και τα κατασκευαστικά έργα μπορούν να υλοποιούνται στα πλαίσια της σύγχρονης μηχανολογίας.

Είναι πολύ σημαντικό κατά την υλοποίηση αυτών των έργων να ακολουθούνται οι σχετικοί κανονισμοί που επιβάλλει η Ε.Ε. έτσι ώστε το έργο να παρέχει την απαιτούμενη ασφάλεια, τη λιγότερη δυνατή επίδραση στο περιβάλλον και στην κοινωνία γενικότερα. Η Εθνική Νομοθεσία για την περιβαλλοντική αδειοδότηση ακολουθεί τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε κάθε έργο κατασκευής θα πρέπει να ακολουθούνται όλοι οι κανονισμοί, τόσο για την αποφυγή ατυχημάτων όσο και για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η ανθρώπινη παρέμβαση στον πλανήτη είναι πολλές φορές καταστροφική, ωστόσο η Ε.Ε. εξελίσσει και ανανεώνει συνεχώς τις νομοθεσίες σχετικά με τον κατάλληλο τρόπο υλοποίησης των κατασκευαστικών έργων με τα προβλεπόμενα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anon., 2023. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://pipingtech.com/resources/ptp-blog/furnace-applications-spring-supports-expansion-joints-furnace-seal-bags/>

[Πρόσβαση 06 05 2023].

Anon., 2023. *City of Dalas*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.dallascitynews.net/worlds-largest-hard-rock-water-tunnel-boring-machine-debuts-dallas>

[Πρόσβαση 30 04 2023].

Anon., 2023. *Civil Engineering*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.civilengineeringforum.me/types-of-external-supports/>

[Πρόσβαση 09 05 2023].

Anon., 2023. *Civil engineering bible*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://civilengineeringbible.com/article.php?i=10>

[Πρόσβαση 03 05 2023].

Anon., 2023. *EPP Foynation Repair*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.eppconcrete.com/the-basics-of-retaining-walls-and-retaining-wall-repair/>

[Πρόσβαση 07 05 2023].

Anon., 2023. *Ferrovial blog*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://blog.ferrovial.com/en/2016/03/tunnel-boring-machines-and-city-life/>

[Πρόσβαση 02 05 2023].

Anon., 2023. *GEO engineer*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.geoengineer.org/education/online-lecture-notes-on-soil-mechanics/74-types-of-retaining-structures>

[Πρόσβαση 11 05 2023].

Anon., 2023. *GEOTECH*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.geotech.hr/en/gabion-walls/>

[Πρόσβαση 10 05 2023].

Anon., 2023. *Istasazeh*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://en.istasazeh-co.com/what-is-braced-excavation-or-bracing-strut-method/>

[Πρόσβαση 03 05 2023].

Anon., 2023. *Putzmeister*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://bestsupportunderground.com/natm-shotcrete/?lang=en>

[Πρόσβαση 04 05 2023].

Anon., 2023. *SKY CIV*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://skyciv.com/docs/tutorials/beam-tutorials/types-of-supports-in-structural-analysis/>

[Πρόσβαση 08 05 2023].

Anon., 2023. *The constructor building ideas*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://theconstructor.org/practical-guide/excavation-methods-deep-foundations/21157/>

[Πρόσβαση 03 05 2023].

Anon., 2023. *The engineering community*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.theengineeringcommunity.org/types-of-structural-supports-boundary-conditions/>

[Πρόσβαση 13 05 2023].

Anon., 2023. *The Torondo Blog*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://thetorontoblog.com/tag/couture-condos-excavation/>

Anon., 2023. *TM TRACKMOTOR*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://track-motor.com/en/blog/first-excavator-steam-shovel/>

[Πρόσβαση 12 05 2023].

Anon., 2023. *Wollam Construction*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://wollamconstruction.com/excavation-construction/>

[Πρόσβαση 5 May 2023].

Arshad, R. A., 2016. A Review on Selection of Tunnelling Method and Parameters Effecting Ground Settlement.. *Mal. Eng.*, Issue Vo. 21 Bund 14.

Aygar, E. B., 2020. Evaluation of new Austrian tunnelling method applied to Bolu tunnel's weak rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Issue Volume 12, Issue 3,.

Aziz, Y. R. A.-M., 2015. Suitably Selection for Earthwork Equipment. *International Journal of Education and Research*, Vol. 3(No. 1).

Bauduin, A. K., 2022. Design, construction and monitoring of an underwater retaining wall close to an existing immersed tunnel Tunnelling and Underground Space Technology. p. Vol 120 pp. 104311.

Baumann, T. A., 2004. The hitch hiker's guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application.. *Studentlitteratur, Lund*.

BC, M., 2023. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://bcmaterials.org/>  
[Πρόσβαση 11 05 2023].

Bilgin, N. C. H. & B. C., 2014. *Mechanical excavation in mining and civil industries 1st ed.*.. s.l.:CRC Press.

Butcher, K. M. V. P. K. B. F. B. M. K. f. A., 2021. Evaluating rock mass disturbance within open-pit excavations using seismic methods: A case study from the Hinkley Point C nuclear power station. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Issue Volume 13, Issue 3,.

Cao, L. P. S. a. A. M., 2013. Performance of a deep excavation in downtown Toronto.. *18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris*.

Cao, P. S. , A. S., 2016. Case study of a deep excavation in Toronto.

Catarina, M. J. F. C. P. P. S., 2019. Overview of Large-Scale Underground Energy Storage Technologies for Integration of Renewable Energies and Criteria for Reservoir Identification.. *Journal of Energy Storage*, Issue Volume 21, Pages 241-258.

Chapman, N. M., 2010. *Introduction to Tunnel Construction*. s.l.:Spon Press.

Chen, J. J., 2014. Novel Excavation and Construction Method of an Underground Highway Tunnel above Operating Metro Tunnels. *Journal of Aerospace Engineering*, Issue 10.1061/(ASCE)AS.1943.

Chen, J. J. W. J. H. X. G. W. W. S. L. a. D. Y., 2011. Numerical study on the movement of existing tunnel due to deep excavation in Shanghai.. *Geotechnical Engineering* , Issue 42(3):30 -40.

Dagdougui, H., Sacile, R., Bersani, C. & Ouammi, A., 2018. Hydrogen infrastructure for energy applications: production, storage, distribution and safety. *Academic Press*.

Dhamdhere, D. & R. V. & K. P., 2022. DESIGN AND ANALYSIS OF RETAINING WALL..

Donnelly, C. R. G. a. D. M., 2013. Challenging the Norm – Alternative Excavation Methods in Mining, in Proceedings 12th AusIMM Underground Operator's Conference. *The Australian*.

Duan, S. S. P., 2005. Analysis of nearby pipeline. *Engineering Mechanics Mechanics*, Τόμος 22(4):79-83.

EC, E. C., 2022. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en)  
[Πρόσβαση 12 05 2023].

- Ershad, 2020. *Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components*. s.l.:s.n.
- EU, 2023. *EUR-LEX*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>  
[Πρόσβαση 11 05 2023].
- European Union, I. N., 2021. *Benchmark report on excavation technics for potential resource extraction for reuse, on a PMSD*, s.l.: s.n.
- EU, U. E., 2022. *From digging to building: construction site excavations make perfect, low-emission new bricks*, s.l.: s.n.
- Farouk, S. T., 2014. Effect of base soil stiffness on the earth pressure of cantilever retaining walls.. *Proceeding of ISSMGE Technical Committee*.
- Forestell, 2023. *DOZR*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://dozr.com/blog/excavation-what-it-is-and-what-machines-we-use-to-do-it>  
[Πρόσβαση 02 05 2023].
- Franz, A. T. J. & T., 1993. Vacuum testing of the permeability of the excavation damaged zone. *Rock Mechanics and Rock Engineering* , Issue volume 26, pages165–182 .
- Golser, J. & S. W., 2021. International and European standards for geotechnical monitoring and instrumentation.. *Geomechanics and Tunnelling*, Issue 14(1), 63–77.
- Gupta, A. & Y. D., 2016. Mineral Processing Design and Operations (Second).. *Elsevier B.V.*
- Hai-Min Lyu, S.-L. S. A. Z. J. Y., 2020. Risk assessment of mega-city infrastructures related to land subsidence using improved trapezoidal FAHP,. *Science of The Total Environment*, Issue Volume 717,.
- Hassanpouryouzband, A., Joonaki, E., Edlmann, K. & Haszeldine, R. S., 2021. Offshore Geological Storage of Hydrogen: Is This Our Best Option to Achieve Net-Zero?.. *ACS Energy Lett*, Issue 6, 2181– 2186, .
- Heikkinen, E.-P., 2021. Secondary materials and their characterisation methods.. *CIRRUS: Circular Residue Usage in the Metallurgical Industry*.
- Just, K. S. K. J. M. R., 2020. Parametric review of existing regolith excavation techniques for lunar In Situ Resource Utilisation (ISRU) and recommendations for future excavation experiments. *Planetary and Space Science*, Issue Volume 180, January 2020, 104746.
- Konstandakopoulou, F., Tsimirika, M., Pnevmatikos, N. & Hatzigeorgiou, G., 2020. Optimization of Reinforced Concrete Retaining Walls Designed According to European Provisions.. *infrastructures* .

- Liang, F. C. P. & Q. H., 2021. Influence of excavation beneath existing building on dynamic impedances of underpinning pile considering stress history.. *J. Cent. South Univ.* , Issue 27, 1870–1879 (2020).
- Li, C. J. X. A. X. X. a. W. J., 2014. Case study of an innovative top -down construction method with channel -type excavation. *Journal of Construction Engineering and Management*, Issue 140(5), 05014003.
- Li, C. J. X. A. X. X. a. W. J., 2021. Case study of an innovative top -down construction method with channel -type excavation.. *Journal of Construction Engineering and Management*, Issue 140(5), 05014003..
- Luo, W., Sandanayake, M. & Zhang, G., 2019. Direct and indirect carbon emissions in foundation construction—Two case studies of driven precast and cast-in-situ piles. *J. Clean. Prod.* , pp. 211, 1517–1526.
- Maidl, M. T. U., 2014. Handbook of Tunneling Engineering: Basics and Additional Engineering Services for Design and Construction.. *Ernst & Sohn. Berlin*, Issue Volume II: .
- Mao, S. Q., Shen, L. & Tang, L., 2013. Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects.. *Energy Build*, pp. 66, 165–176. .
- Moormann, 2004. Analysis of Wall and Ground Movements Due to Deep Excavations in Soft Soil Based on a New Worldwide Database.. *Soils and Foundations*, Issue Volume 44, Issue 1, 2004, Pages 87-98, ISSN 0038-0806..
- Mustafa, R., Samui, P. & Kumari, S., 2022. Reliability Analysis of Gravity Retaining Wall Using Hybrid ANFIS.. *Infrastructures*.
- Nie, G. H. C. X. L. L. K. D. H., 2019. Analysis of Excavation Method and Transformation of Construction Method for Highway Tunnel. *Earth Environ. Sci.*, p. 304 032008.
- Obinna, 2022. *Structville*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://structville.com/seepage-of-water-into-excavations>  
[Πρόσβαση 5 May 2023].
- OSHA, 2015. *Occupational Health and Safety Organisation, USA*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osh2226.pdf>  
[Πρόσβαση 2023].
- Papadopoulou, E.-E. K. V. V. C. P., 2020. Geovisualization of the Excavation Process in the Lesvos Petrified Forest, Greece Using Augmented Reality.. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, Issue 9, 374..
- Pisconti, A. P. K. P. J. T. C., 2020. Array seismology applied to acoustic emissions recorded in the Asse II salt mine.. *Geophys. J. Int*, Issue 220, 59e70..

Reicherter, 2023. Seismic catastrophes in historical times in Arabia -Destruction of the city of Qalhat (Oman) in the 16th century. *RWTH Aachen University · Institute of Neotectonics and Natural Hazards*.

Shen, J., 2012. Analyses and countermeasures on interaction among large -scale group excavation projects. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering* , Issue 34(S): 272 -276.

Sherafat, B., Rashidi, A., Lee, Y.-C. & Ahn, C., 2019. A hybrid kinematic-acoustic system for automated activity detection of construction equipment.. *Sensors* , Issue 19, 4286. .

Song-Shun Lin, S.-L. S. A. Z. Y.-S. X., 2021. Risk assessment and management of excavation system based on fuzzy set theory and machine learning methods,. *Automation in Construction*, Issue Volume 122,.

Stidger, R., 2004. Vacuum Excavation: Using It With HDD. Issue 48. 16-17. .

Suleymanov, T., Gadd, M., Kunze, L. & Newman, P., 2019. *lateral localisation despite challenging occlusion from traffic. In Proceedings of the 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*. s.l.:s.n.

Taing, 2017. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.gopherstateonecall.org/news-events/583-what-is-vacuum-excavation>

[Πρόσβαση 29 04 2023].

Tatiya, 2013. *Surface and Underground Excavations Methods, Techniques and Equipment*. s.l.:CRC Press.

Titirmare, P. V., 2017. Construction of Tunnels, by New Austrian Tunneling Method (NATM) and by Tunnel Boring Machine (TBM). *International Journal of Civil Engineering (IJCE)*, Issue Vol. 6, Issue 6,.

Vydrova, L., 2016. Comparison of tunneling methods NATM and Adeco RS..

Wazoh, H. N. M. S. J., 2014. Standard Penetration Test in Engineering Geological Site Investigations – A Review. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, Τόμος Volume 3, Issue 7, Pages 40-48.

Yeom et al., 2019. 3D surround local sensing system H/W for intelligent excavation robot (IES).. *J. Asian Archit. Build. Eng.*, Issue 18, 439–456.

Yuan X, C. L. D. J., 2020. Calculation of displacements and internal forces of anchored retaining piles.. *PLoS One*, Issue 10;15(12):e0243659.

ΕΛΙΝΥΑΕ, 2023. *ΕΛΙΝΥΑΕ*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/pd-822004-fek-64a-232004>

[Πρόσβαση 13 05 2023].

## Παραρτήματα

### Παράρτημα 1

#### Άρθρο 1

Η οδηγία 2006/12/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Απριλίου 2006, για τα απόβλητα (4) θεσπίζει το νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των αποβλήτων στην Κοινότητα. Ορίζει βασικές έννοιες όπως απόβλητα, ανάκτηση και διάθεση και θεσπίζει τις βασικές απαιτήσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων, ιδίως την υποχρέωση για μια εγκατάσταση ή επιχείρηση που εκτελεί εργασίες διαχείρισης αποβλήτων να έχει άδεια ή να εγγραφεί και μια υποχρέωση για την τα κράτη μέλη να καταρτίσουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων. Καθιερώνει επίσης βασικές αρχές, όπως την υποχρέωση χειρισμού των αποβλήτων με τρόπο που δεν έχει αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον ή την ανθρώπινη υγεία, την ενθάρρυνση για εφαρμογή της ιεραρχίας των αποβλήτων και, σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», την απαίτηση τα έξοδα διάθεσης των αποβλήτων πρέπει να βαρύνουν τον κάτοχο των αποβλήτων, τους προηγούμενους κατόχους ή τους παραγωγούς του προϊόντος από το οποίο προήλθαν τα απόβλητα.

#### Άρθρο 2

Με την απόφαση αριθ. και μη αποβλήτων, καθώς και για την ανάπτυξη μέτρων για την πρόληψη και διαχείριση των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένου του καθορισμού στόχων.

#### Άρθρο 3

Η ανακοίνωση της Επιτροπής της 27ης Μαΐου 2003 για μια θεματική στρατηγική για την πρόληψη και την ανακύκλωση των αποβλήτων επεσήμανε την ανάγκη να αξιολογηθούν οι υφιστάμενοι ορισμοί της ανάκτησης και της διάθεσης, η ανάγκη για έναν γενικά εφαρμόσιμο ορισμό της ανακύκλωσης και μια συζήτηση για τον ορισμό των αποβλήτων.

#### Άρθρο 4

Στο ψήφισμά του της 20ής Απριλίου 2004 σχετικά με την προαναφερθείσα ανακοίνωση (6), το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο κάλεσε την Επιτροπή να εξετάσει το ενδεχόμενο επέκτασης της οδηγίας 96/61/EK του Συμβουλίου, της 24ης Σεπτεμβρίου 1996, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (7) στον τομέα των αποβλήτων ως ένα ολόκληρο. Ζήτησε επίσης από την Επιτροπή να κάνει σαφή διάκριση μεταξύ ανάκτησης και διάθεσης και να διευκρινίσει τη διάκριση μεταξύ αποβλήτων και μη αποβλήτων.

#### Άρθρο 5

Στα συμπεράσματά του της 1ης Ιουλίου 2004, το Συμβούλιο κάλεσε την Επιτροπή να υποβάλει πρόταση για την αναθεώρηση ορισμένων πτυχών της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ, η οποία καταργήθηκε και αντικαταστάθηκε από την οδηγία 2006/12/EK, προκειμένου να αποσαφηνιστεί η διάκριση μεταξύ αποβλήτων και μη αποβλήτων και μεταξύ ανάκτησης και διάθεσης.

## Άρθρο 6

Ο πρώτος στόχος οποιασδήποτε πολιτικής για τα απόβλητα θα πρέπει να είναι η ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Η πολιτική για τα απόβλητα θα πρέπει επίσης να στοχεύει στη μείωση της χρήσης των πόρων και να ευνοεί την πρακτική εφαρμογή της ιεραρχίας των αποβλήτων.

## Άρθρο 7

Στο ψήφισμά του της 24ης Φεβρουαρίου 1997 σχετικά με μια κοινοτική στρατηγική για τη διαχείριση των αποβλήτων (8), το Συμβούλιο επιβεβαίωσε ότι η πρόληψη των αποβλήτων πρέπει να είναι η πρώτη προτεραιότητα της διαχείρισης των αποβλήτων και ότι η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση υλικών θα πρέπει να προτιμώνται από την ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα. όπου και στο βαθμό που αποτελούν τις καλύτερες οικολογικές επιλογές.

## Άρθρο 8

Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να αναθεωρηθεί η οδηγία 2006/12/EK προκειμένου να αποσαφηνιστούν βασικές έννοιες όπως οι ορισμοί των αποβλήτων, η ανάκτηση και η διάθεση, να ενισχυθούν τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την πρόληψη των αποβλήτων και να εισαχθεί μια προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη να λάβει υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής των προϊόντων και των υλικών και όχι μόνο τη φάση των αποβλήτων, και να επικεντρωθεί στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων, ενισχύοντας έτσι την οικονομική αξία των αποβλήτων. Επιπλέον, θα πρέπει να ενθαρρυνθεί η ανάκτηση αποβλήτων και η χρήση ανακτημένων υλικών για τη διατήρηση των φυσικών πόρων. Για λόγους σαφήνειας και αναγνωσιμότητας, η οδηγία 2006/12/EK θα πρέπει να καταργηθεί και να αντικατασταθεί από νέα οδηγία.

## Άρθρο 9

Δεδομένου ότι οι περισσότερες σημαντικές εργασίες διαχείρισης αποβλήτων καλύπτονται πλέον από την κοινοτική νομοθεσία στον τομέα του περιβάλλοντος, είναι σημαντικό η παρούσα οδηγία να προσαρμοστεί σε αυτήν την προσέγγιση. Η έμφαση στους περιβαλλοντικούς στόχους που ορίζονται στο άρθρο 174 της Συνθήκης θα εστιάσει περισσότερο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των πόρων. Κατά συνέπεια, η νομική βάση για την παρούσα οδηγία θα πρέπει να είναι το άρθρο 175.

## Άρθρο 10

Θα πρέπει να εφαρμόζονται αποτελεσματικοί και συνεκτικοί κανόνες για την επεξεργασία των αποβλήτων, με την επιφύλαξη ορισμένων εξαιρέσεων, για κινητά αγαθά που ο κάτοχος απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει.

## Άρθρο 11

Η κατάσταση των αποβλήτων των μη μολυσμένων εκσκαφών εδαφών και άλλων φυσικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε τοποθεσίες διαφορετικές από αυτές από τις οποίες ανασκάφηκαν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σύμφωνα με τον ορισμό των αποβλήτων και τις διατάξεις για τα υποπροϊόντα ή για την κατάσταση τέλους αποβλήτων σύμφωνα με την παρούσα οδηγία.

#### Άρθρο 12

Ο κανονισμός (ΕΚ) αριθ. μεταφορά, επεξεργασία, χρήση και διάθεση όλων των ζωικών υποπροϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων ζωικής προέλευσης, αποτρέποντας την εμφάνιση κινδύνου για την υγεία των ζώων και τη δημόσια υγεία. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να αποσαφηνιστεί η σχέση με τον εν λόγω κανονισμό, αποφεύγοντας επικαλύψεις κανόνων, εξαιρώντας από το πεδίο εφαρμογής της παρούσας οδηγίας τα ζωικά υποπροϊόντα όπου προορίζονται για χρήσεις που δεν θεωρούνται εργασίες απόβλητα.

#### Άρθρο 13

Υπό το πρίσμα της εμπειρίας που αποκτήθηκε από την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2002. Όταν τα ζωικά υποπροϊόντα ενέχουν δυνητικούς κινδύνους για την υγεία, το κατάλληλο νομικό μέσο για την αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων είναι ο κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 και θα πρέπει να αποφεύγονται οι περιττές επικαλύψεις με τη νομοθεσία για τα απόβλητα.

#### Άρθρο 14

Η ταξινόμηση των αποβλήτων ως επικίνδυνων αποβλήτων θα πρέπει να βασίζεται, μεταξύ άλλων, στην κοινοτική νομοθεσία για τις χημικές ουσίες, ιδίως όσον αφορά την ταξινόμηση των παρασκευασμάτων ως επικίνδυνων, συμπεριλαμβανομένων των οριακών τιμών συγκέντρωσης που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Τα επικίνδυνα απόβλητα θα πρέπει να υπόκεινται σε αυστηρές προδιαγραφές προκειμένου να αποτρέπονται ή να περιορίζονται, στο μέτρο του δυνατού, οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία λόγω ακατάλληλης διαχείρισης. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να διατηρηθεί το σύστημα με το οποίο τα απόβλητα και τα επικίνδυνα απόβλητα έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με τον κατάλογο των τύπων αποβλήτων όπως καθορίστηκε τελευταία με την απόφαση 2000/532/ΕΚ της Επιτροπής (10), προκειμένου να ενθαρρυνθεί μια εναρμονισμένη ταξινόμηση των αποβλήτων και να εξασφαλίσει τον εναρμονισμένο προσδιορισμό των επικίνδυνων αποβλήτων εντός της Κοινότητας.

#### Άρθρο 15

Είναι απαραίτητο να γίνει διάκριση μεταξύ της προκαταρκτικής αποθήκευσης αποβλήτων εν αναμονή της συλλογής τους, της συλλογής των αποβλήτων και της αποθήκευσης των αποβλήτων που εκκρεμεί επεξεργασία. Οι επιχειρήσεις ή οι επιχειρήσεις που παράγουν απόβλητα κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων τους δεν θα πρέπει να θεωρούνται ότι ασχολούνται με τη διαχείριση αποβλήτων και υπόκεινται σε άδεια αποθήκευσης των αποβλήτων τους εν αναμονή της συλλογής τους.

#### Άρθρο 16

Η προκαταρκτική αποθήκευση αποβλήτων σύμφωνα με τον ορισμό της συλλογής νοείται ως μια δραστηριότητα αποθήκευσης που εκκρεμεί η συλλογή τους σε εγκαταστάσεις όπου τα απόβλητα εκφορτώνονται προκειμένου να καταστεί δυνατή η προετοιμασία τους για περαιτέρω μεταφορά για ανάκτηση ή διάθεση αλλού. Η διάκριση μεταξύ της προκαταρκτικής αποθήκευσης των αποβλήτων που εκκρεμεί συλλογή και της αποθήκευσης των αποβλήτων που εκκρεμεί επεξεργασία θα πρέπει να γίνει, ενόψει του στόχου της παρούσας οδηγίας, ανάλογα με το είδος των αποβλήτων, το μέγεθος και τη χρονική περίοδο αποθήκευσης και τον στόχο της συλλογής. Αυτή η διάκριση πρέπει να γίνει από τα κράτη μέλη. Η αποθήκευση αποβλήτων πριν από την ανάκτηση για περίοδο τριών ετών ή περισσότερο και η αποθήκευση αποβλήτων πριν από τη διάθεση για περίοδο ενός έτους ή περισσότερο υπόκειται στην οδηγία 1999/31/EK του Συμβουλίου, της 26ης Απριλίου 1999, σχετικά με την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (11).

#### Άρθρο 17

Τα προγράμματα συλλογής απορριμμάτων που δεν διεξάγονται σε επαγγελματική βάση δεν θα πρέπει να υπόκεινται σε καταχώριση, καθώς παρουσιάζουν μικρότερο κίνδυνο και συμβάλλουν στη χωριστή συλλογή των αποβλήτων. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι τα απόβλητα φαρμάκων που συλλέγονται από φαρμακεία, τα προγράμματα ανάληψης σε καταστήματα καταναλωτικών αγαθών και τα κοινοτικά προγράμματα στα σχολεία.

#### Άρθρο 18

Οι ορισμοί της πρόληψης, της επαναχρησιμοποίησης, της προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση, της επεξεργασίας και της ανακύκλωσης θα πρέπει να συμπεριληφθούν στην παρούσα οδηγία, προκειμένου να διευκρινιστεί το πεδίο εφαρμογής αυτών των εννοιών.

#### Άρθρο 19

Οι ορισμοί της ανάκτησης και της διάθεσης πρέπει να τροποποιηθούν προκειμένου να διασφαλιστεί μια σαφής διάκριση μεταξύ των δύο εννοιών, με βάση μια πραγματική διαφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσω της υποκατάστασης των φυσικών πόρων στην οικονομία και την αναγνώριση των πιθανών οφελών για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία της χρήσης των απορριμμάτων ως πόρου. Επιπλέον, μπορούν να αναπτυχθούν κατευθυντήριες γραμμές προκειμένου να διευκρινιστούν περιπτώσεις όπου αυτή η διάκριση είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στην πράξη ή όπου η ταξινόμηση της δραστηριότητας ως ανάκτησης δεν ταιριάζει με τις πραγματικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της επιχείρησης.

#### Άρθρο 20

Η παρούσα οδηγία θα πρέπει επίσης να διευκρινίζει πότε η αποτέφρωση αστικών στερεών αποβλήτων είναι ενεργειακά αποδοτική και μπορεί να θεωρηθεί ως επιχείρηση ανάκτησης.

#### Άρθρο 21

Οι εργασίες διάθεσης που συνίστανται σε απελευθέρωση σε θάλασσες και ωκεανούς, συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής του βυθού της θάλασσας, ρυθμίζονται επίσης από διεθνείς συμβάσεις, ιδίως τη σύμβαση για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από την απόρριψη αποβλήτων και άλλων υλικών, που έγινε στο Λονδίνο στις 13 Νοεμβρίου 1972, και το πρωτόκολλο του 1996 όπως τροποποιήθηκε το 2006.

#### Άρθρο 22

Προκειμένου να επαληθευτεί ή να υπολογιστεί εάν οι στόχοι ανακύκλωσης και ανάκτησης που ορίζονται στην οδηγία 94/62/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 20ής Δεκεμβρίου 1994 για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας (12), η οδηγία 2000/53/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και της Συμβουλίου της 18ης Σεπτεμβρίου 2000 για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους (13), την οδηγία 2002/96/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 27ης Ιανουαρίου 2003, για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) (14) και την οδηγία 2006/66 /ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 6ης Σεπτεμβρίου 2006 σχετικά με τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές και τα απόβλητα ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών (15), καθώς και άλλη σχετική κοινοτική νομοθεσία, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ποσότητες αποβλήτων που έχουν πάψει να αποτελούν απόβλητα ως ανακυκλωμένα και ανακτημένα απόβλητα όταν πληρούνται οι απαιτήσεις ανακύκλωσης ή ανάκτησης της εν λόγω νομοθεσίας.

#### Άρθρο 24

Με βάση τον ορισμό των αποβλήτων, προκειμένου να προαχθεί η βεβαιότητα και η συνέπεια, η Επιτροπή μπορεί να εγκρίνει κατευθυντήριες γραμμές για να προσδιορίζει σε ορισμένες περιπτώσεις πότε ουσίες ή αντικείμενα γίνονται απόβλητα. Τέτοιες κατευθυντήριες γραμμές μπορούν να αναπτυχθούν μεταξύ άλλων για ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και οχήματα.

#### Άρθρο 25

Είναι σκόπιμο το κόστος να κατανέμεται κατά τρόπο που να αντικατοπτρίζει το πραγματικό κόστος για το περιβάλλον της παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων.

#### Άρθρο 26

Η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» αποτελεί κατευθυντήρια αρχή σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο. Ο παραγωγός και ο κάτοχος των αποβλήτων θα πρέπει να διαχειρίζονται τα απόβλητα με τρόπο που να εγγυάται υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

#### Άρθρο 27

Η εισαγωγή της εκτεταμένης ευθύνης του παραγωγού στην παρούσα οδηγία είναι ένα από τα μέσα υποστήριξης του σχεδιασμού και της παραγωγής αγαθών που λαμβάνουν πλήρως υπόψη και διευκολύνουν την αποτελεσματική χρήση των πόρων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, συμπεριλαμβανομένης της επισκευής, της επαναχρησιμοποίησης, της

αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωση χωρίς να διακυβεύεται η ελεύθερη κυκλοφορία των αγαθών στην εσωτερική αγορά.

#### Άρθρο 28

Η παρούσα οδηγία θα πρέπει να συμβάλει στην προσέγγιση της ΕΕ σε μια «κοινωνία ανακύκλωσης», επιδιώκοντας να αποφευχθεί η δημιουργία αποβλήτων και να χρησιμοποιηθούν τα απόβλητα ως πόρος. Ειδικότερα, το Έκτο Κοινοτικό Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον ζητά μέτρα που στοχεύουν στη διασφάλιση του διαχωρισμού, της συλλογής και της ανακύκλωσης από την πηγή των ροών αποβλήτων προτεραιότητας. Σύμφωνα με αυτόν τον στόχο και ως μέσο για τη διευκόλυνση ή τη βελτίωση του δυναμικού ανάκτησής τους, τα απόβλητα θα πρέπει να συλλέγονται χωριστά εάν είναι πρακτικά τεχνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά εφικτό, προτού υποβληθούν σε εργασίες ανάκτησης που προσφέρουν το καλύτερο συνολικό περιβαλλοντικό αποτέλεσμα. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να ενθαρρύνουν τον διαχωρισμό των επικίνδυνων ενώσεων από τα ρεύματα αποβλήτων εάν είναι απαραίτητο για την επίτευξη περιβαλλοντικά ορθής διαχείρισης.

#### Άρθρο 29

Τα κράτη μέλη θα πρέπει να υποστηρίζουν τη χρήση ανακυκλωμένων προϊόντων, όπως το ανακυκλωμένο χαρτί, σύμφωνα με την ιεραρχία των αποβλήτων και με τον στόχο μιας κοινωνίας ανακύκλωσης, και δεν θα πρέπει να υποστηρίζουν την υγειονομική ταφή ή την αποτέφρωση τέτοιων ανακυκλωμένων προϊόντων όποτε είναι δυνατόν.

#### Άρθρο 30

Προκειμένου να εφαρμοστεί η αρχή της προφύλαξης και η αρχή της προληπτικής δράσης που κατοχυρώνεται στο άρθρο 174 παράγραφος 2 της Συνθήκης, είναι απαραίτητο να τεθούν γενικοί περιβαλλοντικοί στόχοι για τη διαχείριση των αποβλήτων εντός της Κοινότητας. Δυνάμει των αρχών αυτών, εναπόκειται στην Κοινότητα και στα κράτη μέλη να θεσπίσουν ένα πλαίσιο για την πρόληψη, τη μείωση και, στο μέτρο του δυνατού, την εξάλειψη των πηγών ρύπανσης ή όχλησης με τη θέσπιση μέτρων για την εξάλειψη των αναγνωρισμένων κινδύνων. .

#### Άρθρο 31

Η ιεραρχία των αποβλήτων καθορίζει γενικά μια σειρά προτεραιότητας για το τι συνιστά την καλύτερη συνολική περιβαλλοντική επιλογή στη νομοθεσία και την πολιτική για τα απόβλητα, ενώ η απόκλιση από αυτήν την ιεραρχία μπορεί να είναι απαραίτητη για συγκεκριμένες ροές αποβλήτων όταν δικαιολογείται για λόγους, μεταξύ άλλων, τεχνικής σκοπιμότητας, οικονομικής βιωσιμότητας και την προστασία του περιβάλλοντος.

#### Άρθρο 32

Είναι απαραίτητο, προκειμένου να μπορέσει η Κοινότητα στο σύνολό της να καταστεί αυτάρκης όσον αφορά τη διάθεση των αποβλήτων και την ανάκτηση μικτών αστικών απορριμμάτων που συλλέγονται από ιδιωτικά νοικοκυριά και για να μπορέσουν τα κράτη μέλη να κινηθούν μεμονωμένα προς αυτόν τον στόχο, να προβλεφθεί ένα δίκτυο

συνεργασίας όσον αφορά τις εγκαταστάσεις διάθεσης και τις εγκαταστάσεις για την ανάκτηση μικτών αστικών απορριμμάτων που συλλέγονται από ιδιωτικά νοικοκυριά, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωγραφικές συνθήκες και την ανάγκη για εξειδικευμένες εγκαταστάσεις για ορισμένους τύπους απορριμμάτων.

### Άρθρο 33

Για τους σκοπούς της εφαρμογής του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. αστικά απόβλητα ακόμη και όταν έχουν υποβληθεί σε λειτουργία επεξεργασίας απορριμμάτων που δεν έχουν αλλοιώσει ουσιαστικά τις ιδιότητές τους.

Είναι σημαντικό τα επικίνδυνα απόβλητα να επισημαίνονται σύμφωνα με τα διεθνή και κοινοτικά πρότυπα. Ωστόσο, όταν τέτοια απόβλητα συλλέγονται χωριστά από τα νοικοκυριά, αυτό δεν θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την υποχρέωση των ιδιοκτητών να συμπληρώσουν την απαιτούμενη τεκμηρίωση.

### Άρθρο 35

Είναι σημαντικό, σύμφωνα με την ιεραρχία των αποβλήτων, και για τον σκοπό της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τη διάθεση αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, να διευκολυνθεί η χωριστή συλλογή και η σωστή επεξεργασία των βιολογικών αποβλήτων προκειμένου να παραχθεί περιβαλλοντικά ασφαλές κομπόστ και άλλα βιολογικά - υλικά με βάση τα απόβλητα. Η Επιτροπή, μετά από αξιολόγηση σχετικά με τη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων, θα υποβάλει προτάσεις για νομοθετικά μέτρα, εάν χρειάζεται.

### Άρθρο 36

Μπορούν να θεσπιστούν ελάχιστα τεχνικά πρότυπα σχετικά με τις δραστηριότητες επεξεργασίας αποβλήτων που δεν καλύπτονται από την οδηγία 96/61/ΕΚ όταν υπάρχουν στοιχεία ότι θα αποκομισθεί όφελος από την άποψη της προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος και όταν μια συντονισμένη προσέγγιση για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας διασφαλίζει την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος.

### Άρθρο 37

Είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί περαιτέρω το εύρος και το περιεχόμενο της υποχρέωσης σχεδιασμού διαχείρισης αποβλήτων και να ενσωματωθεί στη διαδικασία ανάπτυξης ή αναθεώρησης των σχεδίων διαχείρισης αποβλήτων η ανάγκη να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη, κατά περίπτωση, οι απαιτήσεις σχεδιασμού αποβλήτων που ορίζονται στο άρθρο 14 της οδηγίας 94/62/ΕΚ και η στρατηγική για τη μείωση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που πηγαίνουν σε χώρους υγειονομικής ταφής, η οποία αναφέρεται στο άρθρο 5 της οδηγίας 1999/31 /ΕΚ.

### Άρθρο 38

Τα κράτη μέλη μπορούν να εφαρμόζουν περιβαλλοντικές άδειες ή γενικούς περιβαλλοντικούς κανόνες σε ορισμένους παραγωγούς αποβλήτων χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η εύρυθμη λειτουργία της εσωτερικής αγοράς.

#### Άρθρο 39

Σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1013/2006, τα κράτη μέλη μπορούν να λάβουν τα αναγκαία μέτρα για να αποτρέψουν τις αποστολές αποβλήτων που δεν είναι σύμφωνα με τα σχέδιά τους διαχείρισης αποβλήτων. Κατά παρέκκλιση από τον εν λόγω κανονισμό, θα πρέπει να επιτρέπεται στα κράτη μέλη να περιορίζουν τις εισερχόμενες αποστολές σε αποτεφρωτήρες που ταξινομούνται ως ανάκτηση, όταν έχει διαπιστωθεί ότι τα εθνικά απόβλητα θα πρέπει να διατεθούν ή ότι τα απόβλητα θα πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία με τρόπο που να δεν συνάδει με τα σχέδια διαχείρισης αποβλήτων. Αναγνωρίζεται ότι ορισμένα κράτη μέλη ενδέχεται να μην είναι σε θέση να παρέχουν ένα δίκτυο που να περιλαμβάνει το πλήρες φάσμα των εγκαταστάσεων τελικής ανάκτησης στην επικράτειά τους.

#### Άρθρο 40

Προκειμένου να βελτιωθεί ο τρόπος με τον οποίο προωθούνται οι δράσεις πρόληψης των αποβλήτων στα κράτη μέλη και να διευκολυνθεί η κυκλοφορία των βέλτιστων πρακτικών στον τομέα αυτό, είναι απαραίτητο να ενισχυθούν οι διατάξεις σχετικά με την πρόληψη των αποβλήτων και να θεσπιστεί απαίτηση για τα κράτη μέλη να αναπτύξει προγράμματα πρόληψης των αποβλήτων που επικεντρώνονται στις βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής των προϊόντων και των υλικών. Τα μέτρα αυτά θα πρέπει να επιδιώκουν τον στόχο να σπάσουν τη σχέση μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με την παραγωγή αποβλήτων. Τα ενδιαφερόμενα μέρη, καθώς και το ευρύ κοινό, θα πρέπει να έχουν την ευκαιρία να συμμετέχουν στην κατάρτιση των προγραμμάτων και θα πρέπει να έχουν πρόσβαση σε αυτά μόλις εκπονηθούν, σύμφωνα με την οδηγία 2003/35/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 26ης Μαΐου 2003 που προβλέπει τη συμμετοχή του κοινού στην κατάρτιση ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον (17). Θα πρέπει να αναπτυχθούν στόχοι για την πρόληψη και την αποσύνδεση των αποβλήτων που να καλύπτουν, κατά περίπτωση, τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων των αποβλήτων και των ποσοτήτων αποβλήτων που παράγονται.



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**