ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου νερού από βιομηχανίες δομικών υλικών: τσιμέντο, χάλυβας, αλουμίνιο

ΙΩΑΝΝΑ – ΜΑΡΙΑ ΠΑΤΕΡΟΜΙΧΕΛΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:
Μαρίνα Πανταζίδου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τομέα Γεωτεχνικής
Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2016

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου νερού από βιομηχανίες δομικών υλικών: τσιμέντο, χάλυβας, αλουμίνιο

ΠΑΤΕΡΟΜΙΧΕΛΑΚΗ ΙΩΑΝΝΑ – ΜΑΡΙΑ

Α.Μ. 01108576

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Μαρίνα Πανταζίδου
   Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τομέας Γεωτεχνικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. (επιβλέπουσα)
2. Ευστράτιος Μπαδογιάννης
   Λέκτορας, Τομέας Δομοστατικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π
3. Αχιλλέας Παπαδημητρίου
   Επίκουρος Καθηγητής, Τομέας Γεωτεχνικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Copyright © Πατερομιχελάκη Ιωάννα – Μαρία, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση ότι αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό ή άλλο σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε σε συνεργασία με την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κυρία Μαρίνα Πανταζίδου. Θα ήθελα να την ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη συμβολή της στη μακρά πορεία της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, όχι μόνο για τις γνώσεις που μου μετέδωσε, για το χρόνο και την ενέργεια που μου αφιέρωσε, αλλά και για την ηθική στήριξη που μου παρείχε. Θα ήθελα ακόμη να την ευχαριστήσω ιδιαίτερα για τις δεξιότητες που με βοήθησε να αναπτύξω και την επιμονή της για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος. Η συνεργασία αυτή αποτέλεσε για μένα ένα πολύτιμο μάθημα.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιτροπή των καθηγητών που συμμετείχαν στην αξιολόγηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, και συγκεκριμένα, τον κ. Ευστράτιο Μπαδογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και τον κ. Αχιλλέα Παπαδημητρίου, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Τέλος, η διπλωματική εργασία αυτή δε θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς την ουσιαστική στήριξη των φίλων που μοιράστηκαν τους προβληματισμούς μου σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Να ευχαριστήσω, λοιπόν, τους «συνοδοιπόρους» Σόνια, Βάσια, Άρη, Μαρία, Μελίνα και πολλούς άλλους που αποτελούν πάντα πηγή έμπνευσης για μένα. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου, Αγγελική, και τα αδέρφια μου, Ανδρέα και Νίκο, που στηρίζουν κάθε μου προσπάθεια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το βασικό ερώτημα που έδωσε την αφορμή για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ήταν το πώς το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού μπορεί να συμβάλλει στη ρύπανση του υπεδάφους, δηλαδή του εδάφους και του υπόγειου νερού. Η συμβολή αυτή επιλέχθηκε να εξεταστεί από τη σκοπιά της παραγωγής υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές. Το ερώτημα που τέθηκε ήταν το εξής: πώς οι βιομηχανίες παραγωγής δομικών υλικών μπορούν να ρυπάνουν το υπέδαφος. Για την προσέγγιση του ζητήματος, το πρώτο βήμα ήταν να διαμορφωθεί μια χρηστική κατηγοριοποίηση των δραστηριοτήτων που συνδέονται με την παραγωγή δομικών υλικών. Η κατηγοριοποίηση επιδιώχθηκε να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι λειτουργική για οποιονδήποτε κάνει χρήση των υλικών και ταυτόχρονα να αποδίδει όσο το δυνατόν καλύτερα τη δομή των βιομηχανικών κλάδων. Στη συνέχεια, κάποιες επιλεγμένες κατηγορίες δραστηριοτήτων εξετάστηκαν σε βάθος ώστε να προσδιοριστεί το «γεωπεριβαλλοντικό τους αποτύπωμα». Οι βιομηχανίες που θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικότερες για την ελληνική πραγματικότητα ήταν εκείνες του τσιμέντου, του χάλυβα και του αλουμινίου.

Για να δοθεί μια επαρκής εικόνα αυτής της δυνητικής επιβάρυνσης έπρεπε αρχικά να προσδιοριστεί, για κάθε βιομηχανία, το υποσύνολο των ρύπων που μπορεί να διαρρεύσουν, ως αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον, έπρεπε να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι ρύποι φτάνουν στο υπέδαφος, καθώς επίσης και η έκταση που δύναται να πάρει η ρύπανση στην εκάστοτε περίπτωση, σύμφωνα με καταγεγραμμένα περιστατικά.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: για καθεμία από τις τρεις κατηγορίες βιομηχανιών, αρχικά συγκεντρώθηκαν στοιχεία από τη βιβλιογραφία και προσδιορίστηκαν οι πηγές ρύπανσης και οι ρύποι που συνήθως συναντώνται στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Στη συνέχεια, εξετάστηκαν μια σειρά από περιστατικά, στα οποία η ρύπανση αποδίδεται συγκεκριμένα στη λειτουργία εγκαταστάσεων παραγωγής δομικών υλικών. Τα περιστατικά αυτά αξιοποιήθηκαν, εκτός των άλλων, προκειμένου να δοθεί μια εικόνα της έκτασης της ρύπανσης, εστιάζοντας όμως στα χαρακτηριστικά των ρύπων –όπως η κινητικότητα– αντί για τις ιδιαίτερες υδρογεωλογικές συνθήκες κάθε χώρου. Από τη σύνθεση των στοιχείων της βιβλιογραφίας και των περιστατικών προέκυψε το υποσύνολο των ρύπων για κάθε κατηγορία βιομηχανίας. Καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας, επιδιώχθηκε στο βαθμό που ήταν δυνατό να γίνεται διαχωρισμός ως προς τις διαφορετικές διεργασίες που πραγματοποιούνται και τους ρύπους που συνδέονται με καθεμία από αυτές. Αυτό καθιστά πιο εύκολη την εξαγωγή συμπερασμάτων για τον κάθε κλάδο, καθώς στην πράξη, δεν υπάρχει ομοιογένεια ως προς τις διεργασίες που πραγματοποιούνται σε διαφορετικές εγκαταστάσεις.

Από την ανάλυση των βιομηχανιών προέκυψαν τα παρακάτω βασικά συμπεράσματα. Η βιομηχανία χάλυβα συνδέεται με μια ευρεία γκάμα ρύπων, καθώς περιλαμβάνει μια ποικιλία διαφορετικών διεργασιών, πρώτων υλών και αντίστοιχων αποβλήτων. Το ρυπαντικό της φορτίο επομένως, μπορεί να διαφέρει σημαντικά από εγκατάσταση σε εγκατάσταση και να αποτελείται

τόσο από ανόργανες όσο και οργανικές ενώσεις. Η βιομηχανία αλουμινίου, η οποία έχει πιο συγκεκριμένη δομή παραγωγικής διαδικασίας, παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια ως προς τους ρύπους που συναντώνται, αλλά συνδέεται κι αυτή με ποικιλία οργανικών και ανόργανων ρύπων. Στις περιπτώσεις που εντοπίζονται οργανικές ενώσεις, η διαδικασία αποκατάστασης δυσχεραίνει καθώς οι ρύποι παρουσιάζουν μεγαλύτερη κινητικότητα και η εξάπλωση της ρύπανσης είναι εντονότερη. Τέλος, η βιομηχανία τσιμέντου κρίνεται ως η λιγότερο επιβαρυντική εκ των τριών. Αφενός, οι ρύποι που συνδέονται με αυτή ανήκουν κυρίως στην κατηγορία των ανόργανων στοιχείων, παρουσιάζοντας μικρή κινητικότητα. Αφετέρου, η κύρια οδός μεταφοράς των ρύπων είναι μέσω αερομεταφερόμενων σωματιδίων που επικάθονται στο έδαφος και διηθούνται στο υπέδαφος μέσω των κατακρημνισμάτων. Παρόλο που με τον τρόπο αυτό οι ρύποι μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις, οι ποσότητες που καταλήγουν στο υπέδαφος δεν δημιουργούν ιδαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις στο υπόγειο νερό.

Τα πορίσματα της εμβάθυνσης στις κατηγορίες βιομηχανιών που επιλέχθηκαν μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο οδηγό κατά την διερεύνηση της πιθανής επιβάρυνσης της εξεταζόμενης εγκατάστασης στο υπέδαφος. Ο πιθανός μελετητής μπορεί να σχεδιάσει οικονομικότερα και αποτελεσματικότερα την έρευνα στο πεδίο, εάν έχει μια εικόνα για το ποιους ρύπους περιμένει να συναντήσει και σε ποιες θέσεις να τους αναζητήσει. Επιπλέον, η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε άλλες κατηγορίες εγκαταστάσεων μπορεί να διαμορφώσει μια πλήρη εικόνα του γεωπεριβαλλοντικού αποτυπώματος των δομικών υλικών γενικά. Η γνώση αυτή μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο κατά το σχεδιασμό των δομικών έργων και να λειτουργήσει ως παρότρυνση για την επιλογή υλικών με μικρότερη επιβάρυνση στο υπέδαφος.

Λέξεις – κλειδιά: ρύπανση εδάφους και υπόγειου νερού, βιομηχανίες δομικών υλικών, τσιμέντο, χάλυβας, αλουμίνιο

Soil and Groundwater Contamination from Construction Materials Industries: Concrete, Steel, Aluminium

ABSTRACT

The basic question that triggered the writing of this thesis was this: "how may the field of civil engineering contribute to the contamination of the subsurface, i.e. of soil and groundwater?". This contribution was chosen to be examined in terms of the production of materials used in construction. The specific question posed was how may the construction materials industries contaminate the subsurface. In order to investigate this issue, the first step was to develop a functional categorization of the activities associated with the production of construction materials. The classification was formed in a way to be of utility for anyone making use of the materials in construction and at the same time in a way to reflect the structure of the industrial sectors. Subsequently, a selection of industries was thoroughly examined in order to determine their "geoenvironmental footprint". The cement, steel and aluminium industries were considered to be the most representative for Greece.

The potential of each industry to contaminate the subsurface was expressed through the determination of the sub-group of contaminants that can escape as a result of the manufacturing process. Moreover, the route through which contaminants can reach the subsoil as well as the possible extent of the contamination had to be considered, as evidenced from recorded case studies.

The methodology used was as follows: initially, for each of the three categories of industries, data were gathered from the literature in order to identify the potential sources of contamination and the corresponding contaminants commonly found in the various stages of the production process. Then, a number of cases in which the contamination was specifically attributed to the operation of facilities that manufacture construction materials were examined. These incidents of contamination were used, among other things, in order to form a picture of the extent of the contamination, by focusing on the characteristics of the contaminants –such as their mobility for example– rather than the specific hydrogeological conditions of each site. The sub-group of contaminants for each category of industry was specified through a synthesis of the data gathered from the literature and the case studies. Throughout the course of the research, the contaminants were determined separately for the different processes carried out in each industry. This makes it easier to draw conclusions about each industrial sector, because in practice there is no homogeneity as to the processes carried out at different facilities.

The analysis of the three categories of industries produced the following main conclusions. The steel industry is associated with a wide range of contaminants, as it involves a variety of different processes, raw materials and waste. Its pollution load can therefore vary considerably

from plant to plant and consists of both inorganic and organic compounds. As the aluminium industry has a more specific production process structure, it shows greater uniformity in respect to the contaminants encountered. However, it is also associated with a wide variety of organic as well as inorganic contaminants. In cases in which organic contaminants are encountered, the remediation process gets more complicated as the contaminants are more mobile and the extent of contamination is greater. Finally, the cement industry is considered to have the least impact of the three. On the one hand, contaminants related to the industry belong primarily to the category of inorganics, thus showing limited mobility. On the other hand, the main contaminant transport route is via airborne particles that settle on the ground and are transported in the subsurface with the aid of precipitation. Although in this way the pollutants are transported over long distances, the quantities that end up in the subsurface do not result in high concentrations in groundwater.

The findings of the examination of the selected industries can serve as a useful guide in the investigation of possible loading of the subsurface of a facility in question. The knowledge of the expected type of contaminants as well as their possible locations can help design a field study in a particular facility economically and effectively. Moreover, the application of the methodology in other categories of industries can help form a comprehensive image of the "geoenvironmental footprint" of construction materials in general. This process can result in a useful tool in the design of construction works and serve as an encouragement for the selection of materials with lower impact on soil and groundwater.

Keywords: soil and groundwater contamination, construction materials industries, cement, steel, aluminium

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ v
ABSTRACT vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ xii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1
1.1. Οι βιομηχανίες δομικών υλικών ως πηγή ρύπανσης για το έδαφος και το υπόγειο νερό 1
1.2. Δομή και μεθοδολογία διπλωματικής 2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 4
ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ 4
2.1. Ρύπανση υπεδάφους στο διεθνή και τον ελληνικό χώρο 4
2.2. Ρύπανση υπεδάφους από βιομηχανίες δομικών υλικών 7
2.3. Δημιουργία και εξέλιξη της ρύπανσης 7
2.4. Αποδεκτά όρια ρύπανσης 11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 15
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ 15
3.1. Εισαγωγή 15
3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις δραστηριοτήτων σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία 15
3.3. Ο κλάδος των δομικών υλικών. Πηγές στοιχείων για τα δομικά υλικά 17
3.4. Εγκαταστάσεις δομικών υλικών στην Ελλάδα 19
3.5. Κατηγοριοποίηση δραστηριοτήτων παραγωγής δομικών υλικών 21
3.6. Επιλογή αντιπροσωπευτικών κατηγοριών βιομηχανιών 23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 25
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ 25
4.1. Γενικά στοιχεία βιομηχανίας τσιμέντου. Σύνδεση της βιομηχανίας με ρύπους μέσω της βιβλιογραφίας 25
4.2. Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες τσιμέντου 28
4.3. Συμπεράσματα κεφαλαίου 31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 33
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΧΑΛΥΒΑ 33
5.1. Εισαγωγή 33
5.2. Γενικά στοιχεία βιομηχανίας χάλυβα. Σύνδεση της βιομηχανίας με ρύπους μέσω της βιβλιογραφίας. 33
5.3. Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες χάλυβα 40
5.4. Συμπεράσματα κεφαλαίου 53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 54
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ 54
6.1. Εισαγωγή 54
6.2. Γενικά στοιχεία βιομηχανίας αλουμινίου. Σύνδεση της βιομηχανίας με ρύπους μέσω της βιβλιογραφίας 54
6.3. Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες αλουμινίου 58
6.4. Συμπεράσματα κεφαλαίου 70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 71
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 74

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Συνεισφορά επιμέρους βιομηχανικών κλάδων στη συνολική ρύπανση του εδάφους από βιομηχανίες (Panagos et al., 2013). 5
Πίνακας 2.2: Κατηγορίες Τοξικών Ουσιών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. 13
Πίνακας 3.1: Εκτελεστικές Αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τον καθορισμό των συμπερασμάτων σχετικά με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (ΒΔΤ) ανά κατηγορία έργων και δραστηριοτήτων βάσει της Οδηγίας 2010/75/ΕΕ. 17
Πίνακας 3.2: Κατηγορίες δραστηριοτήτων που συνδέονται με βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής δομικών υλικών. 22
Πίνακας 4.1: Ρύποι ανά στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας τσιμέντου, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. 28
Πίνακας 4.2: Περιστατικά ρύπανσης σε βιομηχανίες τσιμέντου, από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (U.S. EPA). 30
Πίνακας 4.3: Περιστατικά ρύπανσης η οποία οφείλεται σε αερομεταφερόμενα σωματίδια από καύση σε κλίβανο σε βιομηχανίες τσιμέντου. 31
Πίνακας 5.1: Ρύποι ανά στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας χάλυβα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. 39
Πίνακας 5.2: Περιστατικά ρύπανσης που συνδέονται με βιομηχανίες χάλυβα από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος 50
Πίνακας 6.1: Ρύποι ανά στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας αλουμινίου, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. 58
Πίνακας 6.2: Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες εξαγωγής αλουμινίου και παραγωγής προϊόντων αλουμινίου. 68

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Κατανομή συνεισφοράς τομέων δραστηριότητας στη ρύπανση του εδάφους στην Ευρώπη (Panagos et al., 2013). 4

Σχήμα 2.2: Συνεισφορά βιομηχανικών και εμπορικών δραστηριοτήτων στη ρύπανση του εδάφους στην Ελλάδα (EEA, 2007). 6

Σχήμα 5.1: Ισοπληθείς καμπύλες συγκέντρωσης 0,1 mg//L VOCs για το ρηχό και το βαθύ υδροφορέα και περιοχές άντλησης νερού από το ρηχό υδροφορέα, του χώρου Continental Steel Corp. (U.S. EPA, 1998a). 42

Σχήμα 5.2: Ζώνες όπου είναι τεχνικώς ανέφικτη η αποκατάσταση του υπόγειου νερού στο χώρο ISG Tecumseh Redevelopment Inc. (U.S. EPA, 2012b). 47

Σχήμα 6.1: Όριο ζώνης όπου είναι τεχνικώς ανέφικτη η επίτευξη αποδεκτών συγκεντρώσεων ρύπων στο υπόγειο νερό, στο χώρο της Aluminum Company of America (U.S. EPA, 2004b). 60

Σχήμα 6.2: Κάτοψη χώρου National Southwire Aluminum Company με ισοπληθείς συγκεντρώσεων ολικών κυανιδίων στο υπόγειο νερό (U.S. EPA, 1993b). 64

Σχήμα 6.3: ΝΔ-ΒΑ Τομή κατά μήκος του Βόρειου Πλουμίου ρυπασμένου με κυανίδια στο χώρο National Southwire Aluminum Company (U.S. EPA, 1993b). 65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Οι βιομηχανίες δομικών υλικών ως πηγή ρύπανσης για το έδαφος και το υπόγειο νερό

Η ποιότητα της ανθρώπινης ζωής και των οικοσυστημάτων συναρτάται άμεσα με την ποιότητα του γεωπεριβάλλοντος. Με τον όρο «γεωπεριβάλλον» αναφερόμαστε στους εδαφικούς σχηματισμούς και τα υπόγεια νερά των υδροφορέων. Η προστασία του γεωπεριβάλλοντος περιλαμβάνει την προστασία του υπεδάφους, δηλαδή των εδαφών και των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση της ποιότητάς τους (Καββαδάς και Πανταζίδου, 2007).

Η ανθρώπινη δραστηριότητα πολύ συχνά έχει ως αποτέλεσμα επικίνδυνες ουσίες να φτάνουν στο έδαφος και το υπόγειο νερό, σε συγκεντρώσεις που συνιστούν κίνδυνο για την υγεία των οργανισμών. Μια σειρά από δραστηριότητες μπορεί να συνδέονται με διάθεση αποβλήτων χωρίς τη λήψη κατάλληλων μέτρων ασφαλείας, διαρροές από θέσεις αποθήκευσης πρώτων υλών ή αποβλήτων, ατυχήματα κατά τη μεταφορά υλικών ή κατά τη λειτουργία εγκαταστάσεων κ.ά. Ο κλάδος της βιομηχανίας συγκεκριμένα, συχνά αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το 33,3% των ρυπασμένων χώρων συνδέονται με βιομηχανικές ή εμπορικές δραστηριότητες (Panagos et al., 2013). Επιπλέον, ευρωπαϊκές οδηγίες έχουν συνταχθεί για τη ρύθμιση της λειτουργίας των βιομηχανικών μονάδων και την πρόληψη της ρύπανσης στον αέρα, το έδαφος ή το νερό (Οδηγία 2008/1/ΕΚ, σχετικά με την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης και Οδηγία 2010/75/ΕΕ, περί Βιομηχανικών Εκπομπών).

Οι δραστηριότητες του πολιτικού μηχανικού αλληλεπιδρούν με το γεωπεριβάλλον. Η κατασκευαστική δραστηριότητα δύναται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος και το υπόγειο νερό με ποικίλους τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρονται η θεμελίωση κατασκευών στο έδαφος, η επέμβαση στη ροή των υπόγειων υδροφορέων και η άντληση πόρων για την κατασκευή. Κατά την πραγματοποίηση δημόσιων και ιδιωτικών έργων, γίνεται χρήση μιας σειράς από δομικά υλικά. Η παραγωγή τους, σε επίπεδο βιομηχανίας, μπορεί να είναι μια ρυπογόνος διαδικασία για το υπέδαφος. Εφαλτήριο για τη συγκεκριμένη εργασία αποτέλεσε το ερώτημα του πόσο ρυπογόνες για το έδαφος και το υπόγειο νερό είναι οι εγκαταστάσεις που παράγουν υλικά που χρησιμοποιούνται σε έργα πολιτικού μηχανικού. Για κάθε κατηγορία βιομηχανίας που εξετάστηκε, βασικός στόχος που τέθηκε ήταν, αφενός να προσδιοριστεί ένα

υποσύνολο ρύπων που θα αναμέναμε να συναντήσουμε σε μια ενδεχόμενη περίπτωση ρύπανσης, καθώς και οι ιδιαίτερες συνθήκες κάτω από τις οποίες προκύπτει η ρύπανση στην εκάστοτε περίπτωση και αφετέρου να δοθεί μια εικόνα της έκτασης που μπορεί να πάρει η ρύπανση αυτή σε κάποια εγκατάσταση. Με τον τρόπο αυτό, επιχειρείται να δοθεί το «γεωπεριβαλλοντικό αποτύπωμα» των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή.

1.2. Δομή και μεθοδολογία διπλωματικής

Στην πορεία για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, αρχικά μελετήθηκε η βιβλιογραφία σχετικά με την διαπιστωμένη ρύπανση του υπεδάφους, τόσο σε διεθνές, όσο και σε ελληνικό επίπεδο. Από το σύνολο των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία και τη μεταφορά ρύπων στο υπέδαφος, εντοπίστηκαν εκείνες που συνδέονται με το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού, υπό το πρίσμα της παραγωγής υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**. Στο ίδιο κεφάλαιο, δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τη δημιουργία και την εξέλιξη της ρύπανσης, καθώς και σε σχέση με τη νομοθεσία που διέπει την προστασία του γεωπεριβάλλοντος και του ανθρώπου από τη ρύπανση.

Στη συνέχεια, χρειάστηκε μια περαιτέρω εξοικείωση, τόσο με τον κλάδο των δομικών υλικών, όσο και με τη νομοθεσία που αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφόρων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκε η Υπουργική Απόφαση περί *Κατάταξης δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες ως προς την περιβαλλοντική τους επιβάρυνση* (Υ.Α. Η.Π. 159393/2332/2002, ΦΕΚ 1022Β, 05/08/2002 που αντικαταστάθηκε από την απόφαση αριθμ. 1958, ΦΕΚ 21Β, 13/01/2012). Η συγκεκριμένη απόφαση χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό σημείο αναφοράς για την κατάστρωση μιας λίστας δραστηριοτήτων που συνδέονται με την παραγωγή δομικών υλικών. Η τελική μορφή δόθηκε λαμβάνοντας υπόψιν στοιχεία από τη βιβλιογραφία σχετικά με τον κλάδο των υλικών που χρησιμοποιούνται στα δομικά έργα. Επιλέχθηκαν τρεις αντιπροσωπευτικές κατηγορίες βιομηχανιών, συγκεκριμένα του τσιμέντου, του χάλυβα και του αλουμινίου, καθώς είναι αυτά που κατεξοχήν χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Επιπλέον, αποτελούν τρεις από τους πιο ενεργούς βιομηχανικούς κλάδους στον ελληνικό χώρο. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται και αναλύονται στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**.

Στα **ΚΕΦΑΛΑΙΑ 4, 5** και **6**, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των τριών κατηγοριών βιομηχανιών σε βάθος. Κάθε μία από αυτές εξετάστηκε με δύο τρόπους. Αρχικά, αναζητήθηκαν μελέτες που έχουν εκδοθεί από περιβαλλοντικές υπηρεσίες και οργανισμούς σε διεθνές επίπεδο, και στις οποίες συνοψίζονται οι ρύποι που είναι πιθανόν να φτάσουν στο έδαφος και το υπόγειο νερό. Στη συνέχεια, μελετήθηκαν περιστατικά στα οποία η ρύπανση μπορεί ξεκάθαρα να συνδεθεί με την εκάστοτε κατηγορία βιομηχανίας και αναζητήθηκαν στοιχεία που δίνουν μια σαφή εικόνα, τόσο των ρύπων που συνδέονται με τη λειτουργία της κάθε βιομηχανίας, όσο και της έκτασης που έχει πάρει η ρύπανση σε κάθε περίπτωση. Παράλληλα, έγινε μια σύγκριση του υποσυνόλου

των ρύπων που εντοπίζονται σε περιστατικά και αυτών που παρουσιάζονται σε γενικές μελέτες. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αξιολογείται το κατά πόσον μια γενική περιγραφή μιας κατηγορίας βιομηχανίας μπορεί να είναι αποτελεσματική στην εκτίμηση της ρύπανσης σε μια συγκεκριμένη εγκατάσταση. Καθώς οι διεργασίες που πραγματοποιούνται και οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται μπορεί να διαφέρουν από εγκατάσταση σε εγκατάσταση, συνακόλουθα μπορεί να διαφέρει και η μορφή του ρυπαντικού φορτίου.

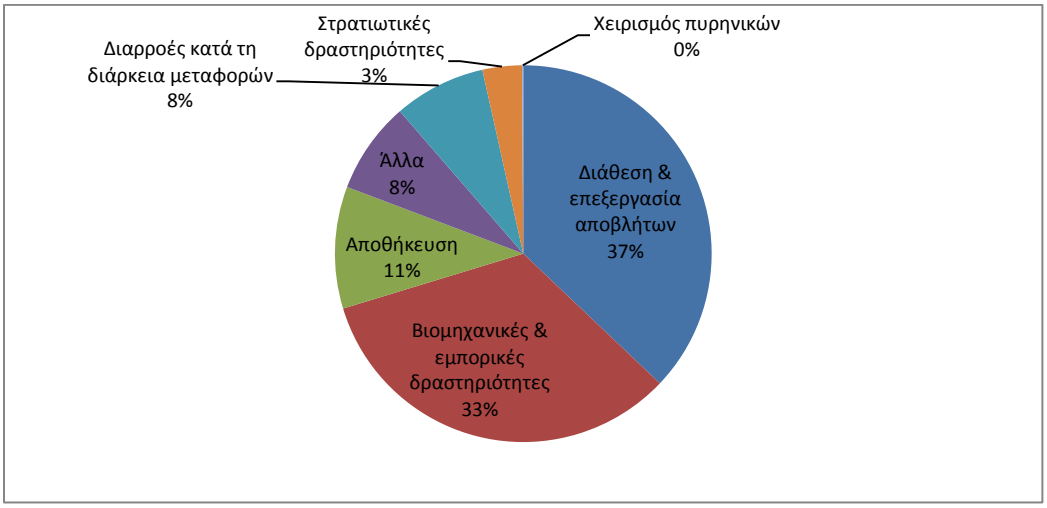
Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εμβάθυνσης στις βιομηχανίες τσιμέντου, χάλυβα και αλουμινίου. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι αντιπροσωπευτικοί ρύποι για κάθε βιομηχανία, ενώ γίνεται μια εκτίμηση του βαθμού στον οποίο αναμένεται να εξαπλωθεί η ρύπανση. Η εκτίμηση αυτή προκύπτει με βάση την κινητικότητα των ρύπων, τη μάζα των ρύπων που συνήθως διαρρέει, αλλά και σύμφωνα με τις συνθήκες υπό τις οποίες αναμένεται να φτάσουν και να διαδοθούν στο υπέδαφος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ

2.1. Ρύπανση υπεδάφους στο διεθνή και τον ελληνικό χώρο

Ο προσδιορισμός μιας εικόνας της ρύπανσης του εδάφους μπορεί να γίνει με μια συγκεντρωτική καταγραφή των ρυπασμένων χώρων που συναντώνται σε μια περιοχή. Όπως αναφέρεται στο δελτίο αναφοράς της Διεθνούς Εβδομάδας για το Έδαφος (IASS, 2012), μια συνολική καταγραφή των ρυπασμένων χώρων διεθνώς δεν είναι διαθέσιμη. Εντούτοις, στοιχεία για τη ρύπανση των εδαφών και των δραστηριοτήτων που την προκαλούν, σε ευρωπαϊκή κλίμακα, μπορούν να δώσουν μια επαρκή εικόνα του προβλήματος. Εν προκειμένω, μια μελέτη συντάχθηκε τη διετία 2011-12 από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Δεδομένων για το Έδαφος (European Soil Data Centre – ESDAC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και περιλάμβανε τη συλλογή δεδομένων για ρυπασμένους χώρους από εθνικούς φορείς ευρωπαϊκών κρατών, με χρήση του Ευρωπαϊκού Δικτύου Πληροφόρησης και Παρατήρησης για το Περιβάλλον [European Environment Information and Observation Network for Soil (EIONET – SOIL)]. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, ο αριθμός των εκτιμώμενων πιθανώς ρυπασμένων χώρων στην Ευρώπη είναι πάνω από 2.5 εκατομμύρια και των επιβεβαιωμένων ρυπασμένων χώρων περίπου 342 χιλιάδες (Panagos et al., 2013).



Σχήμα 2.1: Κατανομή συνεισφοράς τομέων δραστηριότητας στη ρύπανση του εδάφους στην Ευρώπη (Panagos et al., 2013).

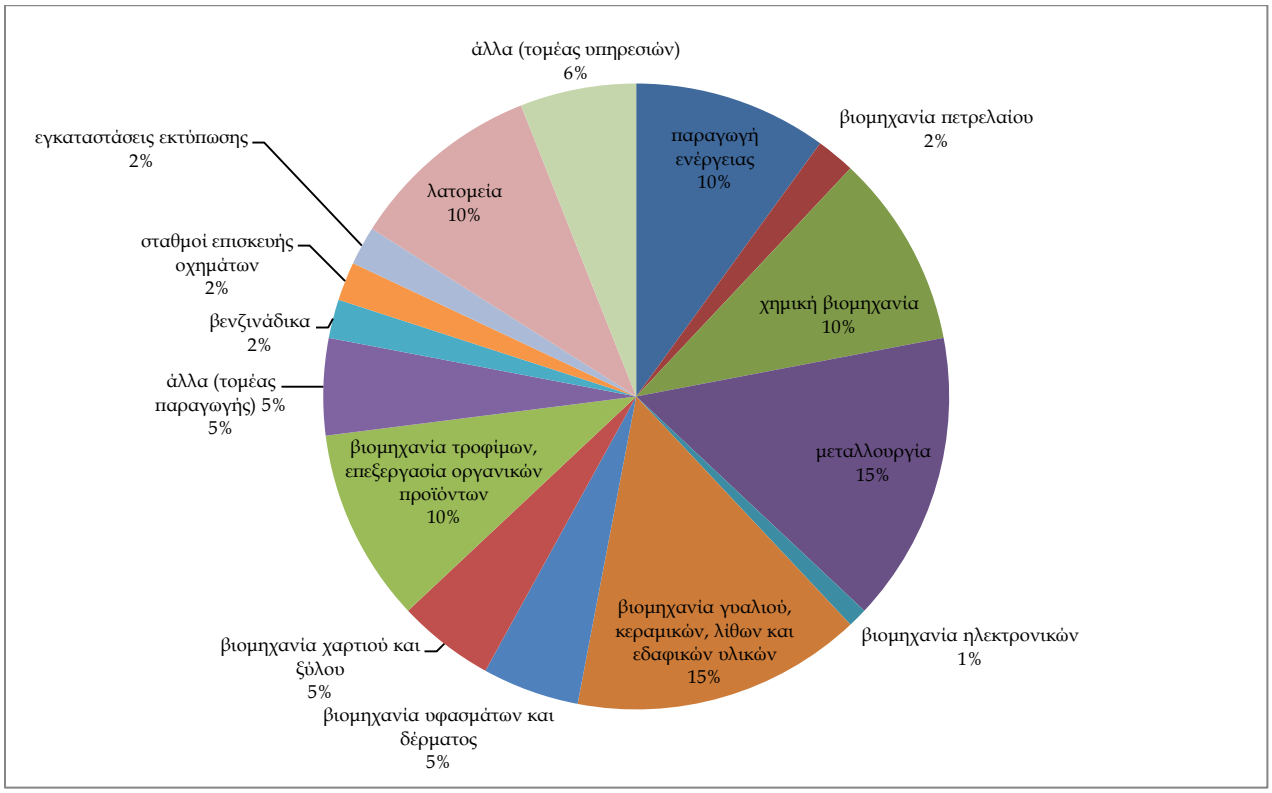
Όπως γίνεται εμφανές από το **Σχήμα 2.1.**, οι τομείς δραστηριότητας με την μεγαλύτερη επιβάρυνση στο υπέδαφος είναι, αρχικά, η επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων (σε ποσοστό 37%), στη συνέχεια, οι βιομηχανικές και εμπορικές δραστηριότητες (σε ποσοστό 33,3%) και ακολούθως, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης (σε ποσοστό 10,5%). Μάλιστα, στην παραπάνω μελέτη δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στους τομείς της βιομηχανίας και του εμπορίου, για τους οποίους παρατίθενται πιο αναλυτικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 2.1.**, εξέχουσα είναι η επιρροή της βιομηχανίας μετάλλων, όπως και της χημικής βιομηχανίας, οι οποίες συναποτελούν το 21,3% της ρύπανσης του υπεδάφους που αποδίδεται σε βιομηχανίες. Μη αμελητέα ποσοστά αποδίδονται επίσης στις βιομηχανίες γυαλιού, κεραμικών, προϊόντων πέτρας και ξύλου (περίπου 3%). Διαφαίνεται επομένως η σημαντική συνεισφορά των βιομηχανιών δομικών υλικών στη ρύπανση του υπεδάφους στον ευρωπαϊκό χώρο.

Προκειμένου να διευκολύνεται η έρευνα σχετικά με την πιθανή ρύπανση ενός χώρου αλλά και να δίνεται έμφαση σε καταλληλότερες μεθόδους αποκατάστασης, είναι χρήσιμο να υπάρχει μια ταξινόμηση των κατηγοριών ρύπων με βάση τη συχνότητα εμφάνισής τους σε ρυπασμένους χώρους. Σύμφωνα με την μελέτη του Ευρωπαϊκού Κέντρου Δεδομένων για το Έδαφος που προαναφέρθηκε (IASS, 2012), οι κατηγορίες ρύπων που συναντώνται πιο συχνά σε περιστατικά ρύπανσης ταξινομούνται, με φθίνουσα σειρά, ως εξής: χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, ορυκτέλαια, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα, φαινόλες, κυανίδια και αρωματικοί υδρογονάνθρακες.

Πίνακας 2.1: Συνεισφορά επιμέρους βιομηχανικών κλάδων στη συνολική ρύπανση του εδάφους από βιομηχανίες (Panagos et al., 2013).

Βιομηχανικός κλάδος	Συνεισφορά κλάδου στην συνολική ρύπανση από βιομηχανίες	Προϊόντα κλάδου
Χημική βιομηχανία	8.2%	Χημικά και προϊόντα από πλαστικό & ελαστικά υλικά
Μεταλλουργική βιομηχανία	13.1%	Βασικά μέταλλα & μεταλλικά προϊόντα
Βιομηχανία υφάσματος & δέρματος	2.0%	Υφάσματα, είδη ένδυσης & δέρμα
Βιομηχανία ξύλου & χαρτιού	3.7%	Ξύλο & χαρτί
Βιομηχανία τροφίμων και επεξεργασίας οργανικών προϊόντων	5.7%	Τρόφιμα & αναψυκτικά
Βιομηχανία ηλεκτρονικών	1.0%	Εξοπλισμός για Η/Υ, ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές
Εξορυκτική βιομηχανία	6.2%	Εξόρυξη
Σύνολο	39.9%	

Σχετικά με τη ρύπανση του εδάφους στον ελληνικό χώρο, δεν υπάρχει κάποια ικανοποιητική μελέτη μέχρι σήμερα, ενώ τα στοιχεία που μπορούν να συγκεντρωθούν από τις μελέτες των Επιθεωρητών Περιβάλλοντος δεν είναι οργανωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνουν μια συνολική εικόνα της ρύπανσης του υπεδάφους. Επομένως ανατρέχουμε στα αναλυτικά στοιχεία του Ευρωπαϊκού Κέντρου Δεδομένων για το Έδαφος, όπου υπάρχουν τα στοιχεία για την Ελλάδα με έτος αναφοράς το 2006 (ΕΕΑ, 2007). Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, ο εκτιμώμενος αριθμός ρυπασμένων χώρων ανερχόταν στους 3000, ενώ μέτρα αποκατάστασης είχαν ληφθεί για τους 230 από αυτούς. Η συνεισφορά των διαφορετικών δραστηριοτήτων στη ρύπανση φαίνεται στο **Σχήμα 2.2.** Κύριοι ρυπαντές είναι οι βιομηχανίες γυαλιού, κεραμικών, λίθων και εδαφικών υλικών (15%), η μεταλλουργία (15%), η παραγωγή ενέργειας (10%), η χημική βιομηχανία (10%) και η εξορυκτική βιομηχανία (10%). Ως προς τους ρύπους, η κατανομή είναι αντίστοιχη τόσο στη στερεά ύλη (έδαφος, ιλύς, ιζήματα), όσο και στην υγρή (επιφανειακό και υπόγειο νερό). Κυριαρχούν τα βαρέα μέταλλα (σε ποσοστό 20-30%), ακολουθούν τα ορυκτέλαια (σε ποσοστό 15%) και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες (επίσης σε ποσοστό 15%), σε αντιστοιχία με τα συνολικά ευρωπαϊκά δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έκτοτε, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ) έστειλε δεδομένα για πιθανώς ρυπασμένους χώρους το 2012, όλα όμως αφορούν σε Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ) – (ESDAC).



Σχήμα 2.2: Συνεισφορά βιομηχανικών και εμπορικών δραστηριοτήτων στη ρύπανση του εδάφους στην Ελλάδα (ΕΕΑ, 2007).

2.2. Ρύπανση υπεδάφους από βιομηχανίες δομικών υλικών

Για την αποτίμηση της επιβάρυνσης των βιομηχανιών δομικών υλικών στο έδαφος και το υπόγειο νερό, αναζητήθηκαν μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από διάφορες περιβαλλοντικές υπηρεσίες διεθνώς και οι οποίες συνδέουν συγκεκριμένες δραστηριότητες με ρύπους που μπορεί να διαφύγουν στο υπέδαφος. Η Βρετανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος ξεκίνησε το 1995 να εκδίδει μελέτες που συνδέουν διάφορες δραστηριότητες με μια σειρά ρύπων που μπορούν να διαρρεύσουν στο υπέδαφος [Department of Environment (DOE) industry profiles - http://www.contaminatedland.co.uk/gov-guid/doe-pb.htm], εξετάζοντας για παράδειγμα τις βιομηχανίες τσιμέντου, κεραμικών, ασφάλτου, παραγωγής και επεξεργασίας μετάλλων κ.ά. Οι μελέτες αυτές παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις διεργασίες, τα υλικά και τα απόβλητα που συναντώνται σε κάθε βιομηχανία. Δεν αποτελούν οριστικές μελέτες αλλά μια εισαγωγή στα τεχνικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τη διαδικασία έρευνας για πιθανή ρύπανση σε ένα χώρο. Αντίστοιχα, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος της Δυτικής Αυστραλίας (DoE, Government of Western Australia, 2004) εξέδωσε μελέτη που συνδέει δραστηριότητες, βιομηχανίες και χρήσεις γης με μια λίστα ρύπων. Στην ίδια λογική, μια σειρά από μελέτες εξέδωσε το 1995 και η Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (U.S. EPA, Office of Compliance Sector Notebook Project) παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφορετικών βιομηχανικών κλάδων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι μελέτες για τις βιομηχανίες «Σιδήρου και Χάλυβα» και «Χύτευσης Μετάλλων» ("Profile of the Iron and Steel Industry" - https://archive.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/web/pdf/iron-stl.pdf, "Profile of the Metal Casting Industry" - https://archive.epa.gov/sectors/web/pdf/metcstsna.pdf). Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι οι παραπάνω μελέτες δεν μπορούν να έχουν καθολική ισχύ, αφού οι πρακτικές που εφαρμόζονται αλλάζουν από χώρο σε χώρο, καθώς και με το πέρασμα του χρόνου, ενώ παράλληλα νέες τεχνολογίες για αποφυγή της ρύπανσης τίθενται σε εφαρμογή. Παρόλα αυτά, αποτελούν μια καλή αφετηρία έρευνας ενώ η σύγκριση των ρύπων που παρουσιάζονται σε αυτές με αυτούς που συναντώνται σε πραγματικά περιστατικά μπορεί να δώσει ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

2.3. Δημιουργία και εξέλιξη της ρύπανσης

Προκειμένου να προχωρήσουμε σε μια αποτελεσματική αποτίμηση της ρύπανσης του υπεδάφους χρειάζεται να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς με τους οποίους αυτή δημιουργείται και διαδίδεται στο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, απαιτείται να προσδιορίσουμε τις πιθανές πηγές ρύπανσης αλλά και εκείνες τις ιδιότητες των ρύπων που σχετίζονται με την επικινδυνότητά τους, όπως για παράδειγμα την τοξικότητα, την κινητικότητα και την επιμονή τους. Επιπλέον, είναι σημαντικό να ορίσουμε τα επίπεδα ρύπανσης που εγείρουν ανησυχία,

κάνοντας σύγκριση με τα αποδεκτά όρια ρύπανσης, όπως αυτά ορίζονται από τα διάφορα κανονιστικά πλαίσια.

2.3.1. Πηγές ρύπανσης και σχετική νομοθεσία

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη ρύπανση του υπεδάφους είναι να υπάρχουν πρώτες ύλες ή απόβλητα, τα οποία περιέχουν επικίνδυνες ουσίες και παράλληλα, να υπάρχουν συνθήκες τέτοιες ώστε οι ρύποι να διαφύγουν στο έδαφος και να διαδοθούν μέχρι τους αποδέκτες. Οι ρυπαντικές ουσίες μπορεί να διαρρεύσουν από υπόγειες ή υπέργειες δεξαμενές αποθήκευσης πρώτων υλών, προϊόντων, παραπροϊόντων ή αποβλήτων εάν δεν έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας ή να διαφύγουν στο έδαφος κατά τη μεταφορά υλικών και αποβλήτων και να κατεισδύσουν στους υπόγειους υδροφορείς. Επίσης, απόβλητα ή παραπροϊόντα διεργασιών μπορεί να αποτίθενται επιφανειακά ή να ενταφιάζονται σε μικρό βάθος χωρίς να έχει προηγηθεί επαρκής επεξεργασία ή ακόμα και να απορρίπτονται σε επιφανειακά νερά και στη συνέχεια να διηθούνται στο υπέδαφος.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μέχρι στιγμής, μόνο μερικά κράτη έχουν υιοθετήσει συγκεκριμένη νομοθεσία για την προστασία του εδάφους. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε το 2006 την Θεματική Στρατηγική για το Έδαφος [COM (2006) 231] καθώς και μια πρόταση οδηγίας [COM (2006) 232], προτείνοντας κοινό πλαίσιο και στόχους για την προστασία του εδάφους, τον εντοπισμό ρυπασμένων περιοχών και την αποκατάστασή τους, χωρίς παρόλα αυτά μέχρι σήμερα να έχει διαμορφωθεί ένα συμπαγές νομοθετικό πλαίσιο για το έδαφος. Η πρόταση αποσύρθηκε το Μάιο του 2014, αφού δεν στάθηκε εφικτό να τεθεί σε εφαρμογή ως τότε. Το 7ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον, που τέθηκε σε εφαρμογή τον Ιανουάριο του 2014, θέτει ως στόχο την αειφόρο διαχείριση, προστασία, και αποκατάσταση των ευρωπαϊκών εδαφών έως το 2020. Επομένως, ελλείψει νομοθεσίας για το έδαφος, το νομοθετικό πλαίσιο που προσανατολίζεται στην πρόληψη και αποκατάσταση της ρύπανσης του γεωπεριβάλλοντος διαρθρώνεται σε τρεις βασικούς άξονες που περιλαμβάνουν το υπόγειο νερό, τις βιομηχανικές εκπομπές και τα απόβλητα. Η έμφαση δίνεται στην πρόληψη μέσω οδηγιών που θέτουν τις προδιαγραφές λειτουργίας μιας σειράς δραστηριοτήτων και ορίζουν τις βέλτιστες πρακτικές για την επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων. Από το 2007 έχει τεθεί σε εφαρμογή η Οδηγία 2004/35/ΕΚ για την περιβαλλοντική ευθύνη όσον αφορά την πρόληψη και την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ζημίας (ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο με το Π.Δ. 148, ΦΕΚ 190Α, 29/9/2009), με την οποία θεσπίζεται η ανάληψη ευθύνης και η κάλυψη των δαπανών για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος από τους φορείς εκμετάλλευσης που έχουν προκαλέσει ζημία σε προστατευόμενα είδη, στα ύδατα ή στο έδαφος. Στον τομέα των βιομηχανικών εκπομπών, βασική είναι η Οδηγία 2008/1/ΕΚ σχετικά με την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης, γνωστή ως Οδηγία IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), η οποία

περιλαμβάνει μέτρα για αποφυγή ή περιορισμό της ρύπανσης του αέρα, του εδάφους και του νερού από βιομηχανίες. Ορίζει τη διαδικασία έκδοσης άδειας για μια λίστα από βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες με υψηλό ρυπαντικό δυναμικό. Καταργήθηκε το 2014 και αντικαταστάθηκε από την Οδηγία 2010/75/ΕΕ περί Βιομηχανικών Εκπομπών, η οποία ορίζει την ολοκληρωμένη αδειοδότηση μονάδων λαμβάνοντας υπόψιν τις συνολικές περιβαλλοντικές επιδόσεις της, με έμφαση στην πρόληψη της ρύπανσης με παρέμβαση στην πηγή (ενσωμάτωση στην εθνική νομοθεσία με την Κ.Υ.Α. Αριθμ. 36060/1155/Ε.103, ΦΕΚ 1450Β, 14/06/2013). Όσον αφορά στο υπόγειο νερό, η Οδηγία 2006/118/ΕΚ σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση, ορίζει τα πρότυπα ποιότητας του υπόγειου νερού και εισάγει μέτρα πρόληψης και περιορισμού εισόδου ρύπων στο υπόγειο νερό, δίνοντας κατευθυντήριες γραμμές στα κράτη-μέλη για τον καθορισμό ανώτερων αποδεκτών τιμών για τους ρύπους (ενσωμάτωση στην εθνική νομοθεσία με την Υ.Α. 39626/2208/Ε130/2009, ΦΕΚ 2075Β, 25/09/2009). Η ανωτέρω οδηγία, εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο που έχει τεθεί από την Οδηγία 2000/60/ΕΚ (Water Framework Directive) για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα πολιτικής των υδάτων. Τέλος, στον τομέα των επικίνδυνων αποβλήτων, έχει θεσπιστεί η Οδηγία Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα στην οποία δίνεται ο ορισμός και οι ιδιότητες των επικίνδυνων αποβλήτων και προσδιορίζονται οι προδιαγραφές διαχείρισης και οι εργασίες διάθεσης και ανάκτησης αποβλήτων (εναρμόνιση με την οδηγία με το Ν. 4042/2012, ΦΕΚ 24Α, 13/02/2012). Τέλος, η Λίστα Αποβλήτων περιλαμβάνει τα απόβλητα που αντιστοιχούν σε μια σειρά από δραστηριότητες και εμπεριέχεται στην Απόφαση 2000/532/ΕΚ (τελευταία τροποποίηση μέσω της Απόφασης 2014/955/ΕΕ).

Σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ, ως *"απόβλητο"* ορίζεται κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει. Ως *"επικίνδυνα απόβλητα"* ορίζονται εκείνα που εμφανίζουν μια ή περισσότερες από τις επικίνδυνες ιδιότητες που αναφέρονται στο παράρτημα της οδηγίας. Με βάση την Οδηγία 91/689/ΕΕC της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα επικίνδυνα απόβλητα κατατάσσονται στις κάτωθι τέσσερις κατηγορίες (Καββαδάς, Πανταζίδου, 2007):

1. Ανόργανα απόβλητα σε αιώρηση ή διάλυση εντός ύδατος. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, υδράργυρος κλπ), το αρσενικό, το κάδμιο και τα κυανιούχα.
2. Οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα (Aqueous Phase Liquids-APLs). Σε αυτά ανήκουν τα απόβλητα της φαρμακευτικής βιομηχανίας, της βιομηχανίας γεωργικών φαρμάκων, διαλύτες, υδατοδιαλυτά χρώματα κλπ.
3. Οργανικά μη-υδατοδιαλυτά απόβλητα (Non-Aqueous Phase Liquids-NAPLs). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα λιπαντικά, ελαιοχρώματα, ελαιώδεις διαλύτες, προϊόντα πετρελαίου. Τα μη αναμείξιμα εξ αυτών με πυκνότητα μικρότερη του νερού ***LNAPLs*** (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο) επιπλέουν στο νερό και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, διαχεόμενα μόνον οριζόντια. Οι υδρογονάνθρακες έχουν τη δυνατότητα να παραμένουν επί πολύ χρόνο στην επιφάνεια των υπόγειων νερών, προσδίνοντας δυσάρεστη οσμή. Τα βαρύτερα ***DNAPLs*** (π.χ. χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες) κινούνται κατακόρυφα στην ακόρεστη και κορεσμένη

ζώνη και εγκαθίστανται πάνω στο αδιαπέρατο υπόβαθρο, ρυπαίνοντας έτσι τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες σε βάθος.
4. Απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύος και στερεών. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται απόβλητα διϋλιστηρίων και απόβλητα καθαρισμού των δεξαμενών πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών.

2.3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της ρύπανσης

Σύμφωνα με τους Καββαδά και Πανταζίδου (2007), όταν οι ρύποι διαφύγουν από ένα χώρο διάθεσης αποβλήτων, μια δεξαμενή αποθήκευσης ή άλλο χώρο εγκιβωτισμού κινούνται διαμέσου της μερικώς κορεσμένης ζώνης (vadose zone). Ένα μέρος των ρύπων συγκρατείται στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων είτε λόγω γεωχημικής εισρόφησης (δέσμευσης) είτε λόγω μηχανικής συγκράτησης μέσω τριχοειδών δυνάμεων, και το υπόλοιπο τελικώς φθάνει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Οι διαλυμένοι στο νερό ρύποι που φθάνουν στον υδροφόρο ορίζοντα παρασύρονται από το υπόγειο νερό κατά την κίνησή του και μεταφέρονται προς τα κατάντη παρακολουθώντας την κίνηση του υπόγειου νερού. Κατά την κίνησή τους οι ρύποι υπόκεινται σε ποικίλες μηχανικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την επέκταση της ρύπανσης, την αραίωση των ρύπων και την βαθμιαία υποβάθμιση (εξασθένηση) του ρυπαντικού φορτίου. Καθώς, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν εξετάζονται τα τοπικά χαρακτηριστικά κάποιου συγκεκριμένου χώρου, η εξέλιξη της ρύπανσης εξετάζεται μόνο από τη σκοπιά των ρύπων, με επιλογή αντιπροσωπευτικών ιδιοτήτων ώστε να προσδιοριστεί η δυνητική τους επίδραση σε κάποιον αποδέκτη.

Χαρακτηριστικά των ρύπων που μπορούν να ληφθούν υπόψιν ως κριτήρια της επικινδυνότητάς τους είναι η τοξικότητα, η βιοσυγκέντρωση, η επιμονή και η κινητικότητα (Πανταζίδου, Σταματάκη & Καββαδάς, 2006). Ως *τοξικότητα* για τον άνθρωπο, ορίζουμε την πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων, κατά την έκθεση σε ρύπους. Η έκθεση γίνεται μέσω της αναπνοής, της διατροφής και της επιδερμίδας (Βουδούρης, 2006). Ως προς την τοξικότητα, γίνεται διαχωρισμός μεταξύ της οξείας και της χρόνιας έκθεσης. Για την οξεία έκθεση χρησιμοποιείται η μέση θανατηφόρα συγκέντρωση (median lethal concentration – LC_{50}) ή η μέση θανατηφόρα δόση (median lethal dose - LD_{50}), δηλαδή η δόση (mg/kg σωματικού βάρους) για την οποία επιζεί το 50% των οργανισμών που εκτίθενται. Για την χρόνια έκθεση δίνεται η δόση αναφοράς (reference dose - RfD), η οποία αντιστοιχεί στην ημερήσια έκθεση που εκτιμάται ότι δεν θα προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις, καθώς και η μεγαλύτερη δόση για την οποία δεν έχουν εμφανιστεί συμπτώματα (no observed adverse effect level – NOAEL), ενώ στην περίπτωση που αυτή δεν έχει προσδιοριστεί, μπορεί να δίνεται η μικρότερη δόση για την οποία έχουν παρατηρηθεί αρνητικές επιπτώσεις (lower observed adverse effect level – LOAEL). Ως *βιοσυγκέντρωση* ορίζεται η πρόσληψη και συγκράτηση μιας ουσίας από έναν οργανισμό αποκλειστικά διαμέσου αναπνοής, είτε μέσω του νερού στο υδατικό περιβάλλον, είτε μέσω του

αέρα στο χερσαίο (Alexander & Fairbridge, 1999). Αποτιμάται τόσο με το συντελεστή βιοσυγκέντρωσης (bioconcentration factor - BCF) σε συγκεκριμένη ομάδα οργανισμών (π.χ. σε ψάρια), όσο και με το συντελεστή διαχωρισμού μεταξύ νερού και οκτανόλης (K_{OW}). Η *επιμονή* αποτιμάται με τον χρόνο ημιζωής (T) , δηλαδή το χρόνο που απαιτείται για να μειωθεί η συγκέντρωση μιας ουσίας κατά το ήμισυ. Ως προς το χρόνο ημιζωής, υπάρχει αβεβαιότητα ως προς τις συνθήκες διάσπασης του ρύπου στο υπέδαφος. Τέλος, η *κινητικότητα* περιγράφεται με το συντελεστή διαχωρισμού μεταξύ του υδατικού διαλύματος και του στερεού εδαφικού υλικού (K_p), ο οποίος συνδέεται με την υστέρηση που θα παρατηρηθεί στη μεταφορά ενός ρύπου λόγω εισρόφησής του στη στερεά φάση. Σχετικά με τον συντελεστή K_p , αυτός προσδιορίζεται με βάση την συσχέτιση $K_p = f_{oc} * K_{oc}$ (K_{oc}: εκφράζει την συγγένεια του ρύπου προς το οργανικό εδαφικό κλάσμα) για όσους από τους ρύπους είναι υδρόφοβοι ($K_{ow} > 10$) και με την προϋπόθεση ότι το ποσοστό οργανικού άνθρακα στο χώμα είναι μεγαλύτερο από 0,1%.

2.4. Αποδεκτά όρια ρύπανσης

Προκειμένου να έχουμε αντιπροσωπευτική εικόνα του επιπέδου της ρύπανσης που μια δραστηριότητα προκαλεί στο γεωπεριβάλλον και κατ' επέκταση στον άνθρωπο, έχουν οριστεί μέγιστα αποδεκτά όρια για μια σειρά από ρύπους. Η φύση των ορίων αυτών μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το μέσο που θεωρούμε ως κριτήριο – για παράδειγμα το έδαφος ή το πόσιμο νερό – ενώ οι μέγιστες τιμές μπορεί να διαφέρουν τόσο μεταξύ νομοθετικών πλαισίων διαφορετικών χωρών όσο και μέσα σε ένα μόνο νομοθετικό πλαίσιο. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη θέσπιση των ορίων λαμβάνονται υπόψιν μια σειρά παραμέτρων, όπως η προβλεπόμενη χρήση για ένα εν δυνάμει ρυπασμένο χώρο, η μέθοδος με βάση την οποία γίνεται η μέτρηση των ρύπων ή ο διαχωρισμός μεταξύ ορίων επιφυλακής και λήψης μέτρων αποκατάστασης. Επίσης, οι τιμές των ορίων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την πολιτική που εφαρμόζεται από κάθε κράτος στον τομέα της δημόσιας υγείας. Επομένως, προκειμένου να προβούμε σε μια αποτελεσματική σύγκριση μετρημένων τιμών και θεσπισμένων ορίων, απαιτείται να γνωρίζουμε τόσο με βάση ποια μέθοδο μετρήθηκαν οι τιμές αυτές αλλά και σε τι είδους χώρο αντιστοιχούν. Σε περίπτωση κάποιου περιστατικού ρύπανσης για το οποίο έχει γίνει σχεδιασμός μέτρων απορρύπανσης, οι τιμές που έχουν τεθεί ως στόχοι της αποκατάστασης μπορούν να αποτελέσουν ένα καλό σημείο αναφοράς.

Παρακάτω παρατίθενται μια σειρά από όρια που έχουν θεσπιστεί από διαφορετικές χώρες.

Η.Π.Α.: Στις Ηνωμένες Πολιτείες, διακρίνονται δύο είδη ορίων για την εκτίμηση της ρύπανσης. Από τη μία, υπάρχουν όρια που αφορούν την εκτίμηση της τοξικότητας του ρυπασμένου εδάφους και των στερεών αποβλήτων, τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο της δοκιμής μέσω της οποίας μετράται η συγκέντρωση των ρύπων. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν οι δοκιμές τύπου EP (Extraction Procedure) και τύπου TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure). Κατά την δοκιμή EP, από το αλεσμένο στερεό δείγμα εκχυλίζεται ο ρύπος με τη

βοήθεια οξέος και στη συνέχεια φιλτράρεται και αναλύεται το εκχύλισμα. Στην δοκιμή TCLP, η οποία αποτελεί βελτίωση της δοκιμής EP, μετά από έκπλυση του αποβλήτου με οξέα μετριέται η συγκέντρωση του ρύπου στο εκχύλισμα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών συγκρίνονται με τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τιμές και αν το δείγμα τις ξεπερνάει χαρακτηρίζεται ως επικίνδυνο με βάση τις εκτιμώμενες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (Καββαδάς, Πανταζίδου, 2007).

Παράλληλα, η Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος έχει ορίσει Μέγιστα Αποδεκτά Όρια συγκέντρωσης ρύπων στο πόσιμο νερό (Maximum Contaminant Levels – MCLs). Επίσης, για ορισμένα στοιχεία ορίζονται τα Δευτερεύοντα Όρια (Secondary Drinking Water Regulations), τα οποία αποτελούν μη-δεσμευτικές ομοσπονδιακές οδηγίες που αφορούν σε αισθητικά κριτήρια (όπως γεύση, οσμή ή χρώμα) για το πόσιμο νερό (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

Ευρωπαϊκή Ένωση: Η Οδηγία για το Πόσιμο Νερό (98/83/ΕΚ, σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης) θέτει τα πρότυπα ποιότητας του νερού για μια σειρά χημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων, με μέγιστα όρια που τα κράτη-μέλη οφείλουν να εξασφαλίζουν, πέραν των οποίων μπορούν κατά βούληση να ορίζουν αυστηρότερες προδιαγραφές (ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με την Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001, ΦΕΚ 892Β, 11/07/2001). Επιπλέον, αναφέρεται η οδηγία 2006/11/ΕΚ (αντικατέστησε την 76/464/ΕΟΚ), σχετικά με τη ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον. Σύμφωνα με τους Καββαδά και Πανταζίδου (2007), η οδηγία αυτή χωρίζει τις επικίνδυνες ρυπαντικές ουσίες σε δύο κατηγορίες: τις πλέον τοξικές (κατηγορία 1 – Black List) και τις λιγότερο τοξικές (κατηγορία 2 – Grey List). Σκοπός είναι να απαλειφθεί η ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων υδάτων από τις ουσίες της κατηγορίας 1 και να περιοριστεί η ρύπανση από τις ουσίες της κατηγορίας 2. Για το λόγο αυτό, έχουν τεθεί στόχοι ποιότητας και οριακές τιμές εκπομπών για τις ουσίες της κατηγορίας 1, μέσω μιας σειράς οδηγιών, όπως για παράδειγμα οι 82/176/ΕΟΚ και 84/156/ΕΟΚ, σχετικά με τις εκροές αποβλήτων υδραργύρου ή η 83/513/ΕΟΚ, σχετικά με τις εκροές αποβλήτων καδμίου. Στον **Πίνακα 2.2.** αναγράφονται οι ουσίες που αντιστοιχούν στις δύο κατηγορίες.

Πίνακας 2.2: Κατηγορίες Τοξικών Ουσιών στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Τοξικές ρυπαναντικές ουσίες Κατηγορίας 1 (Black List)	
1.	Οργανο-αλογόνες (Organohalogen) ουσίες και ουσίες που μπορούν να τις παράγουν
2.	Ουσίες που περιέχουν οργανικό φώσφορο ή οργανικό κασσίτερο
3.	Ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν καρκινογενέσεις
4.	Ουσίες που περιέχουν υδράργυρο ή κάδμιο
5.	Ανθεκτικά ορυκτέλαια και ανθεκτικοί υδρογονάνθρακες πετρελαιοειδών
6.	Ανθεκτικές συνθετικές ουσίες (persistent synthetic compounds)
Τοξικές ρυπαντικές ουσίες Κατηγορίας 2 (Grey List)	
1.	Τα ακόλουθα μέταλλα: ψευδάργυρος, χαλκός, νικέλιο, χρώμιο, μόλυβδος, σελήνιο, αρσενικό, αντιμόνιο, μολυβδένιο, τιτάνιο, κασσίτερος, βάριο, βηρύλιο, βόρον, ουράνιο, βανάδιο, κοβάλτιο, θάλλιο, τελλούριο, άργυρος
2.	Οργανικές ενώσεις των ανωτέρω μετάλλων που δεν περιλαμβάνονται στην κατηγορία 1
3.	Ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς τη γεύση ή την οσμή του υπόγειου νερού, σε περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση
4.	Τοξικές ή ανθεκτικές οργανικές ενώσεις του πυριτίου που μπορούν να ανιχνευτούν στο υπόγειο νερό
5.	Ανόργανες ενώσεις του φωσφόρου και καθαρός φώσφορος
6.	Μη-ανθεκτικά αρυκτέλαια και υδρογονάνθρακες πετρελαιοειδών
7.	Κυανιούχα και φθοριούχες ενώσεις
8.	Ουσίες που έχουν δυσμενείς επιδράσεις στην ισορροπία του οξυγόνου όπως αμμωνία, νιτρικά κλπ.

Οδηγία 2006/11/ΕΚ - http://ec.europa.eu/environment/waste/legislation/a.html

Ολλανδία: Η Ολλανδία διαθέτει μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης τόσο για το έδαφος, όσο και για το υπόγειο νερό. Πρώτη φορά θέσπισε όρια το 1976 και έκτοτε έχουν εκδοθεί αρκετές αναθεωρημένες εκδόσεις, με πιο πρόσφατη αυτή του 2013. Ορίζονται δύο ειδών οριακές συγκεντρώσεις. Τα πρώτο είδος αντιστοιχεί στα επιθυμητά επίπεδα-στόχους (Target Values), που αποτελούν σημείο αναφοράς για την ποιότητα του περιβάλλοντος που περιλαμβάνει αμελητέα διακινδύνευση για το οικοσύστημα. Για τα μέταλλα, γίνεται επιπλέον διαχωρισμός ανάλογα με το βάθος, με ενδεικτικό όριο να αποτελούν τα 10m από την επιφάνεια του εδάφους, αφού για αυτή την κατηγορία ουσιών οι φυσικώς προκύπτουσες συγκεντρώσεις –οι οποίες αποτελούν αφετηρία για τον προσδιορισμό των ορίων- διαφέρουν ανάλογα με το βάθος. Στο δεύτερο είδος, αντιστοιχούν τα όρια συγκέντρωσης ρύπων πέραν των οποίων θεωρείται ότι τίθεται σοβαρός κίνδυνος για τον άνθρωπο, τα φυτά και τα ζώα και απαιτείται επέμβαση (Intervention Values) - (Rijkswaterstaat Mininsty of Infrastructure and the Environment, 2013).

Ηνωμένο Βασίλειο: Τα όρια που έχει θεσπίσει το Ηνωμένο Βασίλειο από το 1987 αναφέρονται σε συγκεντρώσεις ρύπων στο έδαφος. Αναφέρονται δύο ειδών συγκεντρώσεις, οι τιμές επιφυλακής (trigger concentrations), που συνιστούν ένδειξη πιθανής διακινδύνευσης για την ανθρώπινη υγεία και απαιτούν περαιτέρω έρευνα και οι τιμές επέμβασης (action concentrations) που αποτελούν ένδειξη σοβαρής ρύπανσης και απαιτούν λήψη μέτρων

αποκατάστασης. Επιπλέον, γίνεται διαχωρισμός ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση του χώρου, εάν πρόκειται για παράδειγμα για αυλές σπιτιών, καλλιεργήσιμη έκταση κ.λ.π. (Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land, 1987).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.1. Εισαγωγή

Πριν προσδιοριστεί η συνεισφορά των βιομηχανιών στη ρύπανση του υπεδάφους, ήταν απαραίτητο να τεθεί το πλαίσιο του πεδίου δραστηριοτήτων στο οποίο αναφερόμαστε. Πιο συγκεκριμένα, απαιτήθηκε μια χρηστική κατηγοριοποίηση των δραστηριοτήτων που συνδέονται με την παραγωγή δομικών υλικών. Η κατηγοριοποίηση αυτή έπρεπε ταυτόχρονα να είναι κατανοητή για κάποιον που χρησιμοποιεί τα υλικά αυτά στην κατασκευή αλλά και να είναι σε αντιστοιχία με τη δομή των βιομηχανικών κλάδων στην πράξη.

Για να συγκεραστούν οι δύο αυτές απαιτήσεις, συνδυάστηκαν μια σειρά από πηγές στοιχείων για τον κλάδο των δομικών υλικών. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε μια έρευνα ως προς τις εγκαταστάσεις που υπάρχουν στην Ελλάδα, ώστε να διαμορφωθεί μια λίστα δραστηριοτήτων που να αντανακλά την ελληνική πραγματικότητα. Τέλος, επιλέχθηκαν για περαιτέρω διερεύνηση οι πιο αντιπροσωπευτικές κατηγορίες βιομηχανιών, με κριτήριο το βαθμό στον οποίο γίνεται χρήση των υλικών αυτών, αλλά και την έκταση που λαμβάνει ο κάθε κλάδος στον ελληνικό χώρο.

3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις δραστηριοτήτων σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ - http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=804), η διαδικασία της περιβαλλοντικής αδειοδότησης έργων και δραστηριοτήτων προσδιορίζεται από την Υπουργική Απόφαση 1958/2012, ΦΕΚ 21Β/13.1.12 (αντικατέστησε την Υ.Α. Η.Π. 15393/2332/2002, ΦΕΚ 1022Β/5.8.02), περί «Κατάταξης δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1, παράγραφος 4 του Ν.4014/2011, ΦΕΚ 209Α/21.9.2011». Σύμφωνα με την ανωτέρω οδηγία, όλα τα έργα και οι δραστηριότητες για τα οποία απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, την Α (η οποία υποδιαιρείται στις υποκατηγορίες Α1 και Α2) και την Β, και σε 12 ομάδες κοινές για όλες τις κατηγορίες. Στην υποκατηγορία Α1 ανήκουν τα έργα και οι δραστηριότητες που ενδέχεται

να προκαλέσουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ενώ στην υποκατηγορία Α2 κατατάσσονται εκείνα που ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στην κατηγορία Β ανήκουν έργα και δραστηριότητες που εκτιμάται ότι μπορεί να έχουν τοπικές και μη σημαντικές επιπτώσεις. Οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) κατατίθενται και εγκρίνονται από διαφορετική υπηρεσία και αρχή ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν τα έργα και οι δραστηριότητες. Για τα έργα/δραστηριότητες κατηγορίας Α1, οι μελέτες αξιολογούνται από από τη Δ/νση Περιβαλλοντικών Αδειοδοτήσεων του ΥΠΕΚΑ και η έγκρισή τους γίνεται από τον Υπουργό Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Για τα έργα/δραστηριότητες της υποκατηγορίας Α2, αρμόδιες είναι οι υπηρεσίες περιβάλλοντος των οικείων Αποκεντρωμένων Διοικήσεων (Από το 2011 τέθηκε σε ισχύ η διάρθρωση σε 7 Αποκεντρωμένες Διοικήσεις, σύμφωνα με το Νόμο 3852/2010 (ΦΕΚ 37Α/2010): 1. Αττικής, 2. Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας, 3. Ηπείρου – Δυτικής Μακεδονίας, 4. Πελοποννήσου – Δυτικής Ελλάδας – Ιονίου, 5. Αιγαίου, 6. Κρήτης και 7. Μακεδονίας - Θράκης - http://www.apd-depin.gov.gr/index.php/%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC/%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%BA%CE%B5%CE%BD%CF%84%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B7-%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CE%AF%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7.html) και η έγκριση γίνεται από τους αντίστοιχους Γενικούς Γραμματείς. Για την κατηγορία Β, δεν απαιτείται η υποβολή Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, αλλά οι δραστηριότητες υπόκεινται σε Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (ΠΠΔ). Η διάκριση σε κατηγορίες και υποκατηγορίες γίνεται τόσο σε σχέση με το είδος της δραστηριότητας, όσο και ανάλογα με τη δυναμικότητα της εκάστοτε παραγωγικής μονάδας.

Οι 12 ομάδες έργων και δραστηριοτήτων είναι οι εξής:

- ομάδα 1η: Έργα χερσαίων και εναέριων μεταφορών
- ομάδα 2η: Υδραυλικά έργα
- ομάδα 3η: Λιμενικά έργα
- ομάδα 4η: Συστήματα περιβαλλοντικών υποδομών
- ομάδα 5η: Εξορυκτικές δραστηριότητες
- ομάδα 6η: Τουριστικές εγκαταστάσεις και έργα αστικής ανάπλασης, κτιριακού τομέα, αθλητισμού και αναψυχής
- ομάδα 7η: Πτηνοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις
- ομάδα 8η: Υδατοκαλλιέργειες
- **ομάδα 9η: Βιομηχανικές και συναφείς εγκαταστάσεις**
- ομάδα 10η: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- ομάδα 11η: Μεταφορά ενέργειας, καυσίμων και χημικών ουσιών
- ομάδα 12η: Ειδικά έργα και δραστηριότητες

Συγκεκριμένα για τον κλάδο της Βιομηχανίας, βάσει της Οδηγίας 2010/75/ΕΕ, έχουν εκδοθεί μια σειρά από Εκτελεστικές Αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στις οποίες παρουσιάζονται οι Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (ΒΔΤ) ανά κατηγορία δραστηριοτήτων. Στον **Πίνακα 3.1** αναγράφονται οι αποφάσεις αυτές.

Πίνακας 3.1: Εκτελεστικές Αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τον καθορισμό των συμπερασμάτων σχετικά με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (ΒΔΤ) ανά κατηγορία έργων και δραστηριοτήτων βάσει της Οδηγίας 2010/75/ΕΕ.

Αριθμός απόφασης	Κατηγορία δραστηριότητας
2012/134/ΕΕ	**Παραγωγή γυαλιού**
2012/135/ΕΕ	**Παραγωγή σιδήρου και χάλυβα**
2013/84/ΕΕ	Δέψη δερμάτων
2013/163/ΕΕ	**Παραγωγή τσιμέντου, ασβέστου και οξειδίου του μαγνησίου**
2013/732/ΕΕ	Παραγωγή χλωρο-αλκαλίων
2014/687/ΕΕ	Παραγωγή χαρτοπολτού, χαρτιού και χαρτονιού
2014/738/ΕΕ	Διύλιση πετρελαίου και αερίου
2015/2119/ΕΕ	**Παραγωγή πετασμάτων με βάση το ξύλο**

ΥΠΕΚΑ, *Περιβαλλοντική Αδειοδότηση*, http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=804

Γίνεται εμφανές από τον παραπάνω πίνακα ότι σημαντικό τμήμα της περιβαλλοντικής νομοθεσίας εστιάζει στη βιομηχανική παραγωγή υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές (π.χ. γυαλί, σίδηρος, χάλυβας, τσιμέντο, ξύλο κ.λπ.). Για να προχωρήσει κανείς στην εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων των βιομηχανιών δομικών υλικών στο υπέδαφος, είναι απαραίτητο να έχει πρώτα διαμορφώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα του κλάδου στον οποίο αναφερόμαστε. Παρακάτω, παρουσιάζεται η δομή του κλάδου των υλικών που χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα και παρασκευάζονται σε επίπεδο βιομηχανικής παραγωγής.

3.3. Ο κλάδος των δομικών υλικών. Πηγές στοιχείων για τα δομικά υλικά.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 89/106/ΕΟΚ, «Οδηγία Δομικών Προϊόντων», ως δομικό υλικό, ορίζεται κάθε προϊόν το οποίο παράγεται για να ενσωματωθεί, κατά τρόπο διαρκή, σε δομικά έργα εν γένει, που καλύπτουν τόσο τα κτίρια όσο και τα υπόλοιπα έργα πολιτικού μηχανικού.

Τα δομικά προϊόντα περιλαμβάνουν τα βασικά δομικά υλικά (τσιμέντο, χάλυβας, αλουμίνιο, κ.λπ.), τα έτοιμα δομικά προϊόντα (κουφώματα αλουμινίου, τσιμεντόπλακες πεζοδρομίου,

τσιμεντοκονιάματα κ.λπ.) που παράγονται από τα βασικά δομικά υλικά καθώς και τα συστήματα ή συνδυασμούς προϊόντων που διατίθενται στο εμπόριο. Ο κλάδος περιλαμβάνει μια ευρεία γκάμα υλικών, τα οποία διαρκώς ανανεώνονται, με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Στη συγκεκριμένη εργασία, δίδεται μια όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη εικόνα των βασικών υλικών που χρησιμοποιούνται ευρέως στη δόμηση και τα τεχνικά έργα, αξιοποιώντας μια σειρά από διαφορετικές πηγές στοιχείων. Έτσι, πραγματοποιείται μια σύνθεση διαφορετικών κατηγοριοποιήσεων υλικών από διαφορετικές σκοπιές. Πιο συγκεκριμένα αξιοποιήθηκαν:

- *Κατηγοριοποίηση έργων και δραστηριοτήτων ως προς την περιβαλλοντική τους επιβάρυνση* (Υ.Α. 1958/2012, ΦΕΚ 21Β/13.1.12).
- *Στατιστική Ταξινόμηση Οικονομικών Δραστηριοτήτων (ΣΤΑΚΟΔ 2008)* της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος (ΕΣΥΕ), η οποία βασίζεται στη Στατιστική Ταξινόμηση των Οικονομικών Δραστηριοτήτων NACE Rev. 2 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- *Οδηγοί Δομικών Υλικών του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος* (ΤΕΕ - http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES). Το ΤΕΕ εξέδωσε 14 οδηγούς στους οποίους κωδικοποιούνται εκείνα τα επιστημονικοτεχνικά στοιχεία που θεωρούνται απαραίτητα, ώστε να έχουν οι χρήστες –μηχανικοί, επαγγελματίες που συνεργάζονται με μηχανικούς, κύριοι έργων– όσο το δυνατόν πιο σωστή εικόνα για κάθε δομικό υλικό.
- *Επιστημονικά συγγράμματα* που απευθύνονται σε μηχανικούς που δραστηριοποιούνται στο χώρο των κατασκευών.
- *Διεθνείς, ευρωπαϊκές και εθνικές ενώσεις βιομηχανιών* καθώς και *τεχνικοί οργανισμοί*. Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποιες/ους από αυτές/ους:
    - Διεθνής – Αμερικανική Ένωση Μετάλλων (International – American Society for Metals - ASM), http://www.asce.org/
    - Διεθνής Ένωση Χάλυβα (World Steel Association), http://www.worldsteel.org/
    - Διεθνές Ινστιτούτο για το Αλουμίνιο (International Aluminium Institute - IAI), http://www.world-aluminium.org/about/institute/
    - Ευρωπαϊκός Οργανισμός Έτοιμου Σκυροδέματος (European Ready Mixed Concrete Organization), http://www.ermco.eu/
    - Ένωση Τεχνολογίας Σιδήρου και Χάλυβα (Association of Iron & Steel Technology - AIST), http://www.aist.org/home.aspx
    - Ευρωπαϊκή Ένωση Τσιμέντου (CEMBUREAU), http://www.cembureau.eu/
    - Αμερικανικό Ινστιτούτο Τσιμέντου (American Concrete Institute - ACI), https://www.concrete.org/
    - Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος (Hellenic Cement Industry Association), http://www.hcia.gr/el/compay/
    - Ελληνική Ένωση Αλουμινίου (Aluminium Association of Greece), http://www.aluminium.org.gr/

- Ελληνικός Σύνδεσμος Ασβέστου (Hellenic Lime Association), http://www.lime-association.gr/members.html
- Σύνδεσμος Βιομηχάνων Ελληνικής Κεραμοποιίας, http://www.sevk.gr/sevk.htm

Ως βασικές κατηγορίες δομικών υλικών, αναφέρονται οι εξής (Τριανταφύλλου, 2013, ΤΕΕ – Οδηγοί Δομικών Υλικών, Οδηγία 89/106/ΕΟΚ):

- Φυσικοί λίθοι και αδρανή υλικά
- Κονίες και κονιάματα. Ως παραδείγματα κονιών αναφέρουμε την άσβεστο, τη γύψο και τα διαφόρων ειδών τσιμέντα
- Σκυρόδεμα
- Σίδηρος και χάλυβας (δομικός χάλυβας και χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος)
- Αλουμίνιο
- Ξύλο
- Κεραμικά υλικά
- Πολυμερή
- Ασφαλτικά υλικά
- Γυαλί για δομική χρήση
- Θερμομονωτικά – στεγανοποιητικά υλικά
- Χρώματα, βερνίκια και συγκολλητικές ουσίες
- Υλικά δικτύων σωληνώσεων ύδρευσης και αποχέτευσης
- Γεωσυνθετικά υλικά

3.4. Εγκαταστάσεις δομικών υλικών στην Ελλάδα

Ο κλάδος των δομικών υλικών είναι πολύ σημαντικός για την Ελλάδα καθώς είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τον κατασκευαστικό κλάδο, ο οποίος με τη σειρά του ήταν για δεκαετίες πυλώνας της ελληνικής οικονομίας. Οι βασικοί βιομηχανικοί κλάδοι δομικών υλικών, με βάση το συνολικό κύκλο εργασιών είναι κατά φθίνουσα σειρά του χάλυβα-σιδήρου, του αλουμινίου, του τσιμέντου και του σκυροδέματος (Μοροπούλου και Κωνσταντή, 2008).

Η πρώτη ελληνική βιομηχανία δομικών υλικών ήταν η «Χατζηκυριάκος, Ζαχαρίου & Σια», η οποία ιδρύθηκε το 1902, και το 1911 μετονομάστηκε σε «Α.Ε. Τσιμέντων Τιτάν» (Δρακούλης, 2008). Ο κλάδος τσιμέντου συνέχισε να αναπτύσσεται έκτοτε και σήμερα στην Ελλάδα υπάρχει ισχυρή τσιμεντοβιομηχανία, με έντονη εξαγωγική δραστηριότητα. Το 50% των ελληνικών τσιμέντων εξάγονται, αφού οι απαιτήσεις της ελληνικής αγοράς είναι υποδιπλάσιες της παραγωγής. Σήμερα, στην Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, ανήκουν τρεις βιομηχανίες,

η Ανώνυμη Εταιρεία Τσιμέντων «ΗΡΑΚΛΗΣ», η Ανώνυμη Εταιρεία Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ και η ΧΑΛΥΨ Δομικά Υλικά Α.Ε. (Μοροπούλου και Κωνσταντή, 2008).

Τα εκτεταμένα αποθέματα βωξίτη του ελληνικού χώρου καθιστούν τον κλάδο του αλουμινίου έναν από τους παραγωγικότερους της ελληνικής οικονομίας. Σύμφωνα με την Ελληνική Ένωση Αλουμινίου (http://www.aluminium.org.gr/%CE%BA%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%BF%CF%82-%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85-i-112.html), αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο εξαγωγικό κλάδο, με εξαγωγές 1,4 δις € περίπου για το έτος 2015 (5,5% των συνολικών εξαγωγών της χώρας), ενώ σε αυτόν δραστηριοποιούνται περίπου 6000 μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις. Ο κατασκευαστικός κλάδος αποτελεί την κυριότερη αγορά στην οποία διοχετεύονται τα προϊόντα αλουμινίου, με την οικοδομή να απορροφά περισσότερο από το 60% των συνολικών εγχώριων πωλήσεων (Μοροπούλου και Κωνσταντή, 2008).

Η βιομηχανία χάλυβα αποτελεί ένα ιδιαίτερα δυναμικό κλάδο, ο οποίος είναι ανταγωνιστικός ακόμα και σε διεθνές επίπεδο. Χαρακτηριστικά, η παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα έφτασε τους 2,5 εκατ. τόνους το 2007, όταν η συνολική ευρωπαϊκή παραγωγή ανερχόταν περίπου στους 160 εκατ. τόνους (Μοροπούλου και Κωνσταντή, 2008). Οι σημαντικότερες βιομηχανίες που δραστηριοποιούνται στον ελληνικό χώρο είναι η «Σιδενόρ», η «Σοβέλ» του ομίλου «Σιδενόρ», η «Χαλυβουργία Ελλάδος» και η «Χαλυβουργική».

Πέραν των ανωτέρω κλάδων, σημαντικοί είναι επίσης εκείνοι της κεραμοποιίας, των μη πυρίμαχων κεραμικών προϊόντων (όπως πλακίδια, κυβόλιθοι, πλακόλιθοι), των δομικών προϊόντων από σκυρόδεμα και γύψο, των θερμομονωτικών υλικών, των ξυλουργικών προϊόντων για χρήση σε κατασκευές, των υαλοπινάκων, των χρωμάτων και των επιχρισμάτων (Δρακούλης, 2008).

Χαρακτηριστικό του ελληνικού χώρου είναι ο ιδιαίτερα μεγάλος ορυκτός του πλούτος. Ως αποτέλεσμα, οι κλάδοι εξορυκτικών και λατομικών δραστηριοτήτων είναι πολύ σημαντικοί για την ελληνική οικονομία. Οι κλάδοι αυτοί τροφοδοτούν με πρώτες ύλες τις βασικές βιομηχανίες δομικών υλικών (σιδηρομεταλλεύματα και άλλα μεταλλεύματα για παραγωγή μεταλλικών προϊόντων, βωξίτης για την παραγωγή αλουμινίου, ασβεστολιθικά και αργιλικά πετρώματα κ.ά. για την παραγωγή τσιμέντου) και παράλληλα αποτελούν πηγή υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, με τη μορφή δομικών λίθων (http://www.orykta.gr/).

3.5. Κατηγοριοποίηση δραστηριοτήτων παραγωγής δομικών υλικών

Η κατηγοριοποίηση δραστηριοτήτων που συνδέονται με την παραγωγή δομικών υλικών διαρθρώθηκε αρχικά συνδυάζοντας την Υπουργική Απόφαση 1958/2012, ΦΕΚ 21Β/13.1.12, περί κατάταξης δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων, και την Σταστιστική Ταξινόμηση Δραστηριοτήτων (ΣΤΑΚΟΔ 2008). Σε κάποιες από τις κατηγορίες δραστηριοτήτων υπήρξε ταύτιση μεταξύ των δύο λιστών, σε άλλες περιπτώσεις, δραστηριότητες εντοπίστηκαν σε μία μόνο από τις δύο κατηγοριοποιήσεις. Η λογική πίσω από τη συγκεκριμένη επιλογή ήταν η εξής. Από τη μια, η κατηγοριοποίηση έπρεπε να είναι χρηστική για κάποιον που θα ήθελε να αναζητήσει στοιχεία σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας κατηγορίας δραστηριότητας. Από την άλλη, οι κωδικοί ταξινόμησης οικονομικών δραστηριοτήτων θα ήταν χρήσιμοι για μια αναζήτηση σχετικών εγκαταστάσεων στον ελληνικό χώρο.

Σύμφωνα με την παραπάνω λογική, καταρτίστηκε ο **Πίνακας 3.2.**, στον οποίο παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες βιομηχανιών δομικών υλικών και οι υποκατηγορίες τους. Αρχικά, καταστρώθηκαν οι βασικές κατηγορίες δομικών υλικών με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό το φάσμα των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή (2η στήλη του **Πίνακα 3.2.**). Αξιοποιήθηκε για το σκοπό η αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε στην επιστημονική βιβλιογραφία, όπως αναγράφεται παραπάνω (Τριανταφύλλου, 2013, ΤΕΕ – Οδηγοί Δομικών Υλικών, Οδηγία 89/106/ΕΟΚ). Στη συνέχεια, οι βασικές κατηγορίες χωρίστηκαν περαιτέρω, αξιοποιώντας την ταξινόμηση των οικονομικών δραστηριοτήτων κατά ΣΤΑΚΟΔ 2008. Όπου κρίθηκε απαραίτητο, δημιουργήθηκαν νέες υποκατηγορίες δραστηριοτήτων οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνονταν στη ταξινόμηση κατά ΣΤΑΚΟΔ 2008, ώστε να καλύπτεται ευρύτερο φάσμα δομικών υλικών. Για παράδειγμα, προστέθηκε η παραγωγή γεωσυνθετικών προϊόντων. Αντίστοιχα, αλλού, όπως στη βιομηχανία χάλυβα, κάποιες κατηγορίες δραστηριοτήτων συνενώθηκαν για λόγους απλότητας, καθώς παρουσιάζουν παρόμοια δομή παραγωγικής διαδικασίας.

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες δραστηριοτήτων που συνδέονται με βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής δομικών υλικών.

Κωδικός κατηγορίας	Κατηγορία δραστηριότητας	Α/Α	Υποκατηγορίες δραστηριοτήτων
Α	Κονίες & Κονιάματα	Α.1.	Παραγωγή ασβέστη
		Α.2.	Παραγωγή γύψου
Β	Τσιμέντο	Β.1.	Παραγωγή τσιμέντου Portland
		Β.2.	Παραγωγή ειδικών τύπων τσιμέντου
Γ	Σκυρόδεμα	Γ.1.	Κατασκευή δομικών προϊόντων από σκυρόδεμα
		Γ.2.	Παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος
Δ	Δομικός Χάλυβας - Χάλυβας Σκυροδέματος	Δ.1.	Παραγωγή βασικού σιδήρου και χάλυβα και σιδηροκραμάτων
		Δ.2.	Κατασκευή χαλυβδοσωλήνων
		Δ.3.	Ψυχρή επεκτατική ολκή χάλυβα
		Δ.4.	Ψυχρή έλαση στενών φύλλων χάλυβα
		Δ.5.	Ψυχρή μορφοποίηση ή δίπλωση μορφοράβδων χάλυβα
		Δ.6.	Κατασκευή μεταλλικών σκελετών και μερών μεταλλικών σκελετών
		Δ.7.	Σφυρηλάτηση, κοίλανση, ανισόπαχη τύπωση και μορφοποίηση μετάλλων με έλαση
		Δ.8.	Κονιομεταλλουργία (παραγωγή μεταλλικών αντικειμένων από σκόνες μετάλλου με θερμή επεξεργασία ή υπό πίεση)
		Δ.9.	Κατεργασία και επικάλυψη μετάλλων
Ε	Αλουμίνιο	Ε.1.	Παραγωγή αλουμινίου (αργιλίου)
		Ε.2.	Κατασκευή αρχιτεκτονικών προφίλ αλουμινίου
ΣΤ	Κεραμικά προϊόντα	ΣΤ.1.	Κατασκευή πυρίμαχων κεραμικών προϊόντων
		ΣΤ.2.	Κατασκευή τούβλων, πλακιδίων και λοιπών δομικών προϊόντων από οπτή γη
Ζ	Ξύλο	Ζ.1.	Πριόνισμα, πλάνισμα και εμποτισμός ξύλου
		Ζ.2.	Κατασκευή αντικολλητών (κόντρα πλακέ) και άλλων πλακών και δαπέδων παρκέ
		Ζ.3.	Κατασκευή συναρμολογούμενων δαπέδων παρκέ
		Ζ.4.	Κατασκευή άλλων ξυλουργικών προϊόντων οικοδομικής
Η	Χρώματα	Η.1.	Παραγωγή χρωμάτων
		Η.2.	Παραγωγή βερνικιών
Θ	Γυαλί	Θ.1.	Παρασκευή επίπεδου γυαλιού
		Θ.2.	Παρασκευή υαλονημάτων
Ι	Ασφαλτικά υλικά - υλικά στεγάνωσης	Ι.1.	Παραγωγή ασφαλτομίγματος / Παραγωγή πίσσας και πισσασφάλτου
		Ι.2.	Παραγωγή προϊόντων για την πετροχημική βιομηχανία και για την επίστρωση των οδών
		Ι.3.	Παραγωγή ειδών από άσφαλτο ή από παρόμοια υλικά (θερμομονωτικά, πισσόχαρτα, ασφαλτόπανα)
		Ι.4.	Παραγωγή ασφαλτικών μειγμάτων με βάση φυσικά ή τεχνητά λίθινα υλικά και βιτούμιο, φυσικής ασφάλτου ή συναφών ουσιών ως συνδετικό υλικό
Κ	Πλαστικά - Γεωσυνθετικά	ΣΤ.1.	Παραγωγή πλαστικών για την οικοδόμηση
		ΣΤ.2.	Παραγωγή γεωσυνθετικών προϊόντων
		ΣΤ.3.	Κατασκευή πλαστικών σωλήνων

3.6. Επιλογή αντιπροσωπευτικών κατηγοριών βιομηχανιών

Η επιλογή αντιπροσωπευτικών κατηγοριών βιομηχανιών έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να αντικατοπρίζεται η ελληνική πραγματικότητα της κατασκευής δομικών έργων. Η πραγματικότητα αυτή ήταν δυνατό να προσεγγιστεί με δύο τρόπους. Αρχικά, μέσω της έρευνας ως προς τα υλικά που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται στη δόμηση στον ελληνικό χώρο. Έπειτα, με βάση τη δομή της ελληνικής βιομηχανίας και το μέγεθος που λαμβάνει ο κάθε κλάδος παραγωγής υλικών. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι παραγωγικότεροι κλάδοι δομικών υλικών στην Ελλάδα είναι αυτοί του σιδήρου-χάλυβα, του αλουμινίου, του τσιμέντου και του σκυροδέματος.

Καθώς ο στόχος που τέθηκε στη συγκεκριμένη εργασία ήταν να προσδιοριστούν οι πιθανές επιπτώσεις βιομηχανιών στο υπέδαφος, κρίθηκε χρήσιμο να εξεταστούν επίσης τα στοιχεία από τις επιθεωρήσεις που έχουν διενεργηθεί σε συγκεκριμένους χώρους από την Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος (ΕΥΕΠ) – (http://www.ypeka.gr/). Θελήσαμε με τον τρόπο αυτό, να επιβεβαιώσουμε ότι η επιλογή των δραστηριοτήτων θα αντανακλά επίσης την εικόνα που έχουμε στη διάθεσή μας για τους ρυπασμένους χώρους στην Ελλάδα, έχοντας υπόψιν ότι η εικόνα αυτή δεν μπορεί να είναι πλήρης, εφόσον μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποιο πλαίσιο συστηματικής καταγραφής των ρυπασμένων χώρων. Για την εκπλήρωση του παραπάνω στόχου αξιοποιήθηκε η έκθεση για την εφαρμογή της Οδηγίας 2004/35/ΕΚ στην Ελλάδα, «σχετικά με την περιβαλλοντική ευθύνη όσον αφορά την πρόληψη και την αποκατάσταση περιβαλλοντικής ζημιάς», που συντάχθηκε από το Συντονιστικό Γραφείο Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Ζημιών (ΣΥΓΑΠΕΖ) – (ΥΠΕΚΑ, 2013). Από το έτος 2009 έως το έτος 2013, είχαν εξεταστεί 52 υποθέσεις επιβάρυνσης του εδάφους, του υπόγειου και επιφανειακού νερού και ευαίσθητων οικοσυστημάτων, εκ των οποίων οι 9 αποτελούν κλειστές υποθέσεις, ενώ οι υπόλοιπες 43 βρίσκονταν σε στάδιο συλλογής στοιχείων για επιβεβαίωση της περιβαλλοντικής ζημίας. Οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν είτε μετά από αιτήματα ανάληψης δράσης που κατατέθηκαν στο ΣΥΓΑΠΕΖ από φυσικά ή νομικά πρόσωπα, είτε μέσω συγκέντρωσης στοιχείων για πιθανώς ρυπασμένους χώρους από τις Αποκεντρωμένες Διοικήσεις, έπειτα από αίτημα του ΣΥΓΑΠΕΖ. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υποθέσεων αφορά πρόκληση ζημιών στα εδάφη, κυρίως λόγω ανεξέλεγκτης διάθεσης στερεών και υγρών αποβλήτων. Ακολουθούν ζημίες στα ύδατα, είτε λόγω απορρίψεων σε ρέματα είτε λόγω διαρροών ρυπασμένων στραγγιδίων προς τους υπόγειους υδροφορείς. Σύμφωνα με τα στοιχεία της έκθεσης, 32 από τις υποθέσεις συνδέονται με δραστηριότητες του κλάδου της μεταποίησης (σύμφωνα με την κατάταξη κατά ΣΤΑΚΟΔ 2008), με τις 19 από αυτές να σχετίζονται με βιομηχανίες παραγωγής βασικών μετάλλων και βιομηχανίες κατασκευής μεταλλικών προϊόντων. Παράλληλα, σημαντικό ποσοστό των υποθέσεων σχετίζονται με μονάδες παραγωγής δομικών υλικών [τέσσερις (4) υποθέσεις συνδέονται με δραστηριότητες «παραγωγής μη μεταλλικών ορυκτών προϊόντων» και τέσσερις (4) με «ορυχεία και λατομεία»]. Ενδεικτικά αναφέρουμε, μονάδες παραγωγής στεγανωτικών – μονωτικών υλικών, κεραμικών προϊόντων, λατομεία αδρανών υλικών και μονάδες παραγωγής ασφαλτοσκυροδέματος και έτοιμου σκυροδέματος.

Από τα παραπάνω, καταλήξαμε στο συμπέρασμα τις επιλογής των εξής βιομηχανιών για περαιτέρω ανάλυση: βιομηχανίες τσιμέντου, χάλυβα και αλουμινίου. Ειδικά για τον κλάδο του τσιμέντου, για τον οποίο δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία ως προς τη συνεισφορά του στην επιβάρυνση του υπεδάφους, κρισιμότερο ρόλο στην επιλογή έπαιξε η σημασία του ως βιομηχανικού κλάδου για την ελληνική οικονομία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

4.1. Γενικά στοιχεία βιομηχανίας τσιμέντου. Σύνδεση της βιομηχανίας με ρύπους μέσω της βιβλιογραφίας

Το σκυρόδεμα είναι σήμερα το συνηθέστερο δομικό υλικό για τις κατασκευές κτιρίων και έργων κοινής ωφελείας. Το τσιμέντο σε ανάμειξη με το νερό (τσιμεντόπαστα) είναι το συνδετικό υλικό, που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του σκυροδέματος. Υπάρχουν πολλών ειδών (τύποι) τσιμέντα, με συνηθέστερο αυτό που καλείται κοινό τσιμέντο Portland (OPC, Ordinary Portland Cement). Το κοινό τσιμέντο είναι ένα γκρίζο λεπτομερές υλικό, που προκύπτει από τη λειοτρίβηση του κλίνκερ τσιμέντου. Η σημαντικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή του κλίνκερ τσιμέντου είναι τα ασβεστολιθικά πετρώματα, που εξορύσσονται επιφανειακά κοντά στη μονάδα παραγωγής του τσιμέντου. Το μείγμα των πρώτων υλών (θραυσμένος ασβεστόλιθος, αργιλικά πετρώματα, χαλαζιακά πετρώματα, σιδηρομετάλλευμα, βωξίτης, κ.α.) αναμειγνύεται σε κατάλληλη αναλογία του κάθε συστατικού και λειοτριβείται. Το λειοτριβημένο μείγμα («φαρίνα») υφίσταται πυρομεταλλουργική κατεργασία μέσα σε περιστροφική κάμινο (rotary kiln). Στην περιστροφική κάμινο, οι λειοτριβημένες πρώτες ύλες, με χρήση καυσίμων (συμβατικών ή εναλλακτικών), θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, με φυσικοχημικές διεργασίες, μετατρέπονται σε ένα υλικό γκριζοπράσινου χρώματος μορφής σφαιριδίων, το οποίο ονομάζεται κλίνκερ τσιμέντου. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ψύξη του κλίνκερ, ανάμειξη με τις δευτερεύουσες πρώτες ύλες ανάλογα με τον παραγόμενο τύπο τσιμέντου –εν προκειμένω για το κοινό τσιμέντο Portland οι αναλογίες είναι 95% κλίνκερ με 5% γύψο– και περαιτέρω λειοτρίβηση, ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν τσιμέντου (Τσακαλάκης, 2010).

Οι βασικοί τύποι τσιμέντων ευρωπαϊκού τύπου είναι οι εξής:

- CEM I: Κοινό τσιμέντο Portland
- CEM II: Σύνθετο τσιμέντο Portland
- CEM III: Σκωριοτσιμέντο
- CEM IV: Ποζολανικό τσιμέντο
- CEM V: Σύνθετο τσιμέντο

Στην τελευταία φάση, το κλίνκερ αλέθεται μαζί με ποζολάνες που μπορεί να είναι (α) φυσικές ποζολάνες (μηλαϊκή και θηραϊκή γη), (β) ιπτάμενη τέφρα ή (γ) σκωρία καμίνου. Συχνά,

προστίθενται πληρωτικά (filler) – ειδικά φυσικά ή τεχνητά ανόργανα ορυκτά υλικά – είτε αδρανή, είτε με ασθενείς υδραυλικές ιδιότητες – π.χ. άχνη ασβεστολίθου. Επιπλέον, μπορεί να γίνει προσθήκη ασβεστίου (σε μορφή γύψου / ανυδρίτη) για ρύθμιση ταχύτητας πήξης (Τριανταφύλλου, 2013).

Η μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος του Ηνωμένου Βασιλείου (U.K. EA, 1996c) σχετικά με εγκαταστάσεις παρασκευής κεραμικών, τσιμέντου και ασφάλτου συνδέει τη βιομηχανία τσιμέντου με μια σειρά ρύπων, στους οποίους περιλαμβάνονται μέταλλα, ανόργανες ενώσεις, συστατικά ιπτάμενης τέφρας και σκωρίας υψικαμίνου κ.ά. Στις τσιμεντοβιομηχανίες, πρωταρχική πηγή ρύπανσης αποτελεί η διαχείριση της σκόνης τσιμεντοκλιβάνου (cement kiln dust – CKD). Παράλληλα, άλλες πιθανές πηγές ρύπανσης σχετίζονται με εγκαταστάσεις αποθήκευσης, σταθμούς εκφόρτωσης και μεταφοράς καυσίμων και ειδικών προσθέτων ή χώρους διάθεσης αποβλήτων (U.K. EA, 1996c).

Η Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency – EPA) εξέδωσε το 1993 μια μελέτη σχετικά με τη διαχείριση της σκόνης που παράγεται κατά τη λειτουργία των κλιβάνων σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου και τις περιβαλλοντικές της επιπτώσεις. Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνου είναι ένα λεπτόκοκκο υλικό που παράγεται ως βασικό παραπροϊόν της παραγωγής του κλίνκερ. Ο αέρας που διέρχεται μέσα από τον κλίβανο συμπαρασύρει λεπτόκοκκο υλικό από τις πρώτες ύλες, συμπυκνωμένα συστατικά των καυσίμων και υλικό τροφοδοσίας που έχει μερικώς μόνο αντιδράσει μέσα στον κλίβανο. Τα υλικά αυτά συλλέγονται από τα φίλτρα πριν την έξοδο των καυσαερίων από τον κλίβανο και αποτελούν την σκόνη τσιμεντοκλιβάνου. Μέρος της ποσότητας της σκόνης που παράγεται στον κλίβανο ανακυκλώνεται άμεσα στο σύστημα, τμήμα αυτής επανεισάγεται στο μείγμα έπειτα από επεξεργασία του, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα είτε διατίθεται σε μονάδα διάθεσης απορριμμάτων εντός της εγκατάστασης παραγωγής τσιμέντου (π.χ. σε σωρούς αποβλήτων, σε εγκαταλελειμμένα λατομεία, χωματερές ή σε δεξαμενές), είτε πωλείται ή διατίθεται αλλού. Παρόλο που η δημιουργία της σκόνης είναι αναπόφευκτη, η ποσότητα και τα χαρακτηριστικά της (καθώς και ο βαθμός στον οποίο αυτή ανακυκλώνεται ή επαναχρησιμοποιείται) επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως ο τύπος του κλιβάνου, ο ρυθμός παραγωγής του τσιμέντου, το είδος των πρώτων υλών και οι αναλογίες τους, τα είδη των καυσίμων και το είδος των συσκευών ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η σκόνη τσιμεντοκλιβάνου αποτελείται από θερμικά αμετάβλητες πρώτες ύλες, άνυδρη άργιλο, οπτό ασβεστόλιθο, τέφρα από τα καύσιμα, και νεοσυσταθέντα ανόργανα στοιχεία που αντιστοιχούν σε όλα τα στάδια επεξεργασίας μέχρι τον σχηματισμό του κλίνκερ. Παρόλο που οι συγκεντρώσεις τους μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από δείγμα σε δείγμα, ο βασικός όγκος των συστατικών της σκόνης αποτελείται από πυριτικές ενώσεις, οξείδιο του ασβεστίου, ανθρακικά άλατα, οξείδιο του καλίου, θειικά, χλωρίδια, διάφορα οξείδια μετάλλων και οξείδιο του νατρίου. Το οξείδιο του ασβεστίου αποτελεί το βασικό της συστατικό, σε ποσοστό περίπου 50%. Σε ό,τι αφορά τα μέταλλα που εντοπίζονται στη σκόνη, τα συνηθέστερα είναι το αντιμόνιο, το βάριο, ο μόλυβδος, το μαγγάνιο, το στρόντιο, το θάλλιο και ο ψευδάργυρος ενώ δευτερευόντως αναφέρονται τα:

αρσενικό, βηρύλλιο, χαλκός, εξασθενές χρώμιο, υδράργυρος, νικέλιο, άργυρος κ.ά. (U.S. EPA, 1993).

Σε ό,τι αφορά τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα, και συγκεκριμένα την σκωρία υψικαμίνου (blast furnace slag), την ιπτάμενη τέφρα (pulverized fuel ash – PFA) και την πυριτική παιπάλη, η σύστασή τους δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με αυτή του τελικού προϊόντος κλίνκερ και ταυτόχρονα αυτήν της σκόνης τσιμεντοκλιβάνου, με διαφορετικές όμως αναλογίες μεταξύ των συστατικών (U.S. EPA, 2008). Επομένως, τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ρύπανση του εδάφους σε περίπτωση διασποράς της σκόνης μέσω του αέρα και απόθεση στο έδαφος ή μέσω έκπλυσής τους σε περίπτωση που η αποθήκευσή τους δεν γίνεται με τις απαραίτητες προδιαγραφές.

Στη βιομηχανία τσιμέντου χρησιμοποιούνται τόσο συμβατικά όσο και εναλλακτικά καύσιμα. Τα συμβατικά περιλαμβάνουν οπτάνθρακα πετρελαίου (petcoke), άνθρακες, μαζούτ, λιγνίτες και φυσικό αέριο. Προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την αποθήκευση των παραπάνω για τυχόν διαρροές των υγρών καυσίμων ή έκπλυση συστατικών των στερεών εάν είναι εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες καθώς αποτελούν πηγή ιχνοστοιχείων (π.χ. το petcoke συχνά περιέχει ψευδάργυρο, βανάδιο και νικέλιο και οι άνθρακες ενώσεις σιδήρου) και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs). Ως εναλλακτικά καύσιμα χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών απόβλητα όπως, χρησιμοποιημένα ελαστικά (Tire Derived Fuel – TDF), απορρίμματα υλικών συσκευασίας, οργανικοί διαλύτες, οργανικά κατάλοιπα διυλιστηρίων, λιπαντικά, οικιακά απορρίμματα, αγροτικά πλαστικά, ρινίσματα βιομηχανίας ξύλου, χαρτί, ζωικά άλευρα, λίπη, απόβλητα ελαίων, ιλύς βιολογικών καθαρισμών κ.ά. Η αποθήκευσή τους πρέπει επίσης να γίνεται με όλα τα μέτρα ασφαλείας καθώς σε αυτά περιέχονται συχνά οργανικά χημικά [χλωρίδια όπως χλωρίδιο του μεθυλίου και τετραχλωρίδιο του άνθρακα, τριχλωροβενζόλιο, τριχλωροαιθάνιο, πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) (Stockholm Convention, 2007)] και μέταλλα [π.χ. τα ελαστικά περιέχουν ψευδάργυρο και η βιολογική λάσπη βαρέα μέταλλα, κυρίως όταν προέρχεται από βιομηχανικά λύματα (CIWMB, 1996, Κάρτσωνας, 2005)].

Κατά τη σύνθεση ειδικών τύπων τσιμέντου γίνεται χρήση προσμίκτων, τα οποία προσδίδουν συγκεκριμένες ιδιότητες στο τελικό προϊόν. Συγκεκριμένα, αναφέρουμε τα αερακτικά πρόσμικτα και τους πλαστικοποιητές. Τα αερακτικά πρόσμικτα προσδίδουν στο μείγμα αυξημένη αντοχή στον παγετό και περιέχουν σουλφονωμένους υδρογονάνθρακες. Αντίστοιχα, οι πλαστικοποιητές αυξάνουν την εργασιμότητα και επιβραδύνουν την πήξη και αποτελούνται από ξυλοσουλφονικό οξύ ή ένυδρο καρβοξυλικό οξύ (U.K. EA, 1996c). Τέλος, υπό εξέταση πρέπει να είναι τα ενδεχόμενα να έχουν διατεθεί ανεξέλεγκτα απόβλητα σε μη-κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους, όπως τούβλα επένδυσης καμίνων που έχουν αντικατασταθεί [συγκεκριμένα περιέχουν χρώμιο (U.S. EPA, 1990)] ή προϊόντα με περιεχόμενο αμίαντο που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν ως μόνωση, επίστρωση ή επικάλυψη σωλήνων (U.K. EA, 1996c).

Στον **Πίνακα 4.1.** συνοψίζονται οι πηγές ρύπανσης (αποθήκευση πρώτων υλών και διάθεση αποβλήτων) και οι ρύποι που αντιστοιχούν στα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας, όπως περιγράφηκαν παραπάνω.

Πίνακας 4.1: Ρύποι ανά στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας τσιμέντου, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Στάδιο παραγωγικής διαδιακασίας	Διεργασία	Ρυπογόνες ουσίες		Ρύποι
		Πρώτες ύλες	Απόβλητα - Εκπομπές	
παραγωγή κλίνκερ	καύση πρώτων υλών σε κλίβανο	ασβεστόλιθος, αργιλικά και χαλαζιακά πετρώματα, σιδηρομετάλλευμα, βωξίτης	σκόνη τσιμεντοκλιβάνου	οξείδιο ασβεστίου, πυριτικές ενώσεις, ανθρακικά άλατα, οξείδιο καλίου, θειικά, χλωρίδια, οξείδιο νατρίου, αντιμόνιο, αρσενικό, βάριο, μόλυβδος, μαγγάνιο, στρόντιο, θάλλιο, ψευδάργυρος, βηρύλλιο, χαλκός, χρώμιο (VI), υδράργυρος, νικέλιο, άργυρος κ.ά.
σύνθεση τελικού προϊόντος	άλεση και συνένωση πρώτων υλών	κλίνκερ, ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνου, γύψος, πυριτική παιπάλη, αερακτικά πρόσμικτα, πλαστικοποιητές	σκόνη τσιμέντου, σκόνες πρώτων υλών	οξείδιο ασβεστίου, χλωρίδιο ασβεστίου, πυρίτιο, θειικά, σουλφονωμένοι υδρογονάνθρακες, ξυλοσουλφονικό οξύ, ένυδρο καρβοξυλικό οξύ
άλλες πηγές ρύπανσης	αποθήκευση και χρήση καυσίμων	οπτάνθρακας πετρελαίου, άνθρακες, μαζούτ, λιγνίτης, ελαστικά, λιπαντικά, οργανικοί διαλύτες, απόβλητα ελαίων, ιλύς βιολογικού καθαρισμού κ.ά.		PAHs, ψευδάργυρος, βανάδιο, νικέλιο, ενώσεις σιδήρου, χλωρίδιο μεθυλίου, τετραχλωρίδιο του άνθρακα, τριχλωροβενζόλιο, τριχλωροαιθάνιο, PCBs
	αλλαγή επενδύσεων και εξοπλισμού		τούβλα επένδυσης καμίνων, μονωτικά υλικά - υλικά επίστρωσης σωλήνων, έλαια μετασχηματιστών	χρώμιο, αμίαντος, PCBs

4.2. Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες τσιμέντου

Υπάρχουν αρκετά περιστατικά ρύπανσης που έχουν καταγραφεί σε εγκαταστάσεις παραγωγής τσιμέντου και συνδέονται με την διαχείριση της σκόνης τσιμεντοκλιβάνου. Στο πλαίσιο της μελέτης του 1993, η Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος, συγκέντρωσε στοιχεία από 127 χώρους σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίοι αποτελούσαν ενεργά ή ανενεργά εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου καθώς και ανενεργούς χώρους διάθεσης αποβλήτων (σκόνης). Από αυτούς, οι 19 έχουν επιβεβαιωμένη επιβάρυνση σε κάποιο περιβαλλοντικό μέσο και οι 6

αποτελούν περιστατικά ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου νερού. Η ζημιά στο υπόγειο νερό ορίστηκε ως υπέρβαση των οριακών επιτρεπόμενων συγκεντρώσεων (Federal or State maximum contaminant levels – MCLs) για το πόσιμο νερό, είτε σε ομοσπονδιακό επίπεδο είτε σε επίπεδο πολιτείας. Τυπικά προβλήματα για αυτές τις εγκαταστάσεις αποτελούν οι υψηλές τιμές pH, τιμές ολικά διαλυμένων στερεών και θειικών που ξεπερνούν τα δευτερεύοντα όρια για το επιφανειακό και υπόγειο νερό (secondary MCLs), καθώς επίσης και αυξημένες τιμές τοξικών μετάλλων όπως το αρσενικό, το κάδμιο και ο μόλυβδος που ξεπερνούν τα όρια για το πόσιμο νερό. Παρ' όλα αυτά, οι ρύποι για τους οποίους ισχύουν τα δευτερεύοντα όρια –με εξαίρεση το pH– στις περισσότερες περιπτώσεις δεν συμπεριλαμβάνονται στους βασικούς στόχους της αποκατάστασης και για αυτό δεν αναφέρονται και οι συγκεντρώσεις τους στο υπόγειο νερό στις αντίστοιχες αποφάσεις αποκατάστασης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα οξείδια του ασβεστίου που περιέχονται στη σκόνη, όταν αντιδρούν με το νερό απελευθερώνουν στο διάλυμα ιόντα υδροξειδίου (OH^-). Η συγκέντρωση των ιόντων ελέγχει άμεσα την τιμή του pH στο υγρό, με αποτέλεσμα να προκύπτουν υψηλές τιμές pH στο νερό που ρυπαίνεται από σκόνη τσιμεντοκλιβάνου (US EPA, 1991). Στον **Πίνακα 4.2.** παρουσιάζονται τρία περιστατικά επιβεβαιωμένης ρύπανσης στο έδαφος και το υπόγειο νερό που εντάχθηκαν στην Εθνική Λίστα Προτεραιοτήτων (National Priorities List – NPL) της Αμερικανικής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος.

Εκτός από τις περιπτώσεις της εσκεμμένης διάθεσης της τέφρας, έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες σε περιοχές γειτονικές εργαστασίων τσιμέντου που εξετάζουν τις επιπτώσεις των εκπομπών σκόνης τσιμέντου είτε από τους κλιβάνους είτε από τις μονάδες ψύξης του κλίνκερ, που μεταφέρονται μέσω του αέρα και φτάνουν στο έδαφος (Schuhmacher et al. 2003 ; Al-Khashman et al. 2005 ; Isikli et al. 2005 ; Isikli et al. 2001). Οι δειγματοληψίες που έχουν γίνει αφορούν στις περισσότερες των περιπτώσεων εδαφικά δείγματα, σε μικρά όμως βάθη, και τα στοιχεία των οποίων οι συγκεντρώσεις προσδιορίζονται ανήκουν στις κατηγορίες των μετάλλων (π.χ. χρώμιο, κάδμιο, μόλυβδος) και των έμμονων οργανικών ρύπων [π.χ. πολυχλωριωμένες διβενζο-παρα-διοξίνες (PCDD), πολυχλωριωμένα διβενζοφουράνια (PCDF)]. Οι εκπομπές αυτές αποτελούν σημαντική πηγή έκθεσης για τον πληθυσμό των παρακείμενων περιοχών, συγκρινόμενες με τις συνήθεις τιμές που συναντώνται σε εδάφη. Εντούτοις, οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις στο έδαφος στα παραπάνω περιστατικά είναι αρκετά μικρότερες από τις οριακές για ξηρό έδαφος, όπως αυτές ορίζονται από την Βρετανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (ICRCL, 1987). Τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών απεικονίζονται στον **Πίνακα 4.3.** Στον πίνακα, αναγράφονται επίσης οι αποστάσεις από τα εργοστάσια όπου μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των ρύπων, προκειμένου να αποκτηθεί μια αίσθηση της απόστασης όπου διαδίδονται τα αερομεταφερόμενα σωματίδια. Σε ό,τι αφορά τους έμμονους οργανικούς ρύπους, η Σύμβαση της Στοκχόλμης (2001) όρισε τους κλιβάνους τσιμεντοβιομηχανιών ως μια εκ των βασικών πηγών παραγωγής τους (Rodrigues, 2012). Η υποκατηγορία των διοξινών [ή διαφορετικά polychlorinated dibenzo-p- dioxins and dibenzofurans (PCDD/PCDFs)], περιλαμβάνει ρύπους που παράγονται ακούσια και εκλύονται από θερμικές κατεργασίες που περιλαμβάνουν οργανική ύλη ή/και χλώριο, όπως η καύση των υλικών στον κλίβανο, ως αποτέλεσμα ατελούς καύσης ή χημικών αντιδράσεων.

Πίνακας 4.2: Περιστατικά ρύπανσης σε βιομηχανίες τσιμέντου, από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (U.S. EPA).

Α/Α	Περιστατικό	Ρύποι	Συγκέντρωση στο υπόγειο νερό (mg/l)[1]	Όριο στο πόσιμο νερό (mg/l)[2,3]	Στόχος της απόφασης αποκατάστασης (mg/l)	Πηγή ρύπανσης	Μέτρα αποκατάστασης
1	**Portland Cement Superfund Site, Salt Lake City, Utah (USEPA, 1990b)**	αρσενικό (As)	0,01 - 11,4	0,01	-	επιφανειακή απόθεση σκόνης τσιμεντοκλιβάνου	Εκσκαφή και απομάκρυνση ρυπασμένου εδάφους και σκόνης, επεξεργασία και διάθεση. Απομάκρυνση τούβλων με περιεχόμενο χρώμιο, επεξεργασία. Για το υπόγειο νερό, φυσική εξασθένηση.
		μόλυβδος (Pb)	0,018 - 0,45	0,015	-		
		κάδμιο (Cd)	0,003 - 0,041	0,005	-		
		μολυβδαίνιο (Mo)	0,014-228	-	-		
		pH	7,1-12,2	6,5-8,5	-		
		χρώμιο (Cr)	0,004 - 0,47	0,1	-	σκόνη τσιμεντοκλιβάνου, πυρίμαχοι πλίνθοι επένδυσηςΥυ του κλιβάνου	
2	**Lehigh Portland Cement Co., Mason City, Iowa (USEPA, 1991)**	αρσενικό (As)	0,1	0,01	0,00003	αποθέσεις σκόνης τσιμεντοκλιβάνου σε πρώην θέσεις λατομείου	Άντληση επιφανειακού νερού, επεξεργασία (εξουδετέρωση των οξέων και ιοντοανταλλαγή/αντίστροφη ώσμωση). Εκσκαφή και συσσωμάτωση της σκόνης, επικάλυψη με αργιλικό στρώμα, φρέατα αποστράγγισης.
		χρώμιο (Cr)	0,042	0,1	0,5		
		μόλυβδος (Pb)	0,52	0,015	0,015		
		pH[3]	12,04	6,5-8,5	6,5-8,5		
3	**Northwestern States Portland Cement Co., Mason City, Iowa (USEPA, 1990a)**	αρσενικό (As)	0,045	0,01	-	αποθέσεις σκόνης τσιμεντοκλιβάνου σε πρώην θέσεις λατομείου	Άντληση επιφανειακού νερού και επεξεργασία με εξουδέρωση οξέων,σύστημα αποστράγγισης στο χώρο της λίμνης, αργιλικό στρώμα επικάλυψης πάνω από την τέφρα και συνεχής παρακολούθηση, πηγάδια αποστράγγισης για το υπόγειο νερό, επεξεργασία του ρυπασμένου νερού και διάθεσή του.
		κάδμιο (Cd)	0,006	0,005	0,005		
		χρώμιο (Cr)	0,17	0,1	0,05		
		μόλυβδος (Pb)	0,074	0,015	0,05		
		νικέλιο (Ni)	0,46	-	0,2		
		pH	>13	6,5-8,5	6-9		
		φαινόλες	0,23	-	0,05		

1. Εύρος συγκεντρώσεων ή μέγιστες τιμές ανά περιστατικό
2. US EPA, 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, Maximum Contaminant Levels (MCLs)
3. US EPA, 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, Secondary Maximum Contaminant Levels

Πηγές οργανικών συστατικών και χλωρίου συναντώνται στην τροφοδοσία καυσίμων αφού οι πρώτες ύλες για την παρασκευή του τσιμέντου περιλαμβάνουν ανόργανα συστατικά. Παρόλα αυτά, λόγω της μικρής διαλυτότητας των ρύπων αυτών και με βάση δοκιμές εκπλυσιμότητας που διεξήγαγε η EPA, οι ρύποι αυτοί δεν θεωρούνται πιθανό να φτάσουν στο υπόγειο νερό σε ανησυχητικές συγκεντρώσεις. Συν τοις άλλοις, νεότερες έρευνες σχετικά με τις εκπομπές διοξινών δείχνουν ότι, με την εφαρμογή των μέτρων ασφαλείας, οι συγκεντρώσεις των ρύπων εμπίπτουν στα αποδεκτά όρια (Karstensen, 2007).

Πίνακας 4.3: Περιστατικά ρύπανσης η οποία οφείλεται σε αερομεταφερόμενα σωματίδια από καύση σε κλίβανο σε βιομηχανίες τσιμέντου.

Α/Α	Περιστατικό	Ρυπασμένο μέσο	Ρύποι	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)[1,2,3]	Όρια σε ξηρό έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)[4]	Τρόπος υπολογισμού συγκεντρώσεων	Αποστάση από την πηγή ρύπανσης
1	**Portland cement kiln, Catalonia, Spain (Schuhmacher et al., 2003)**	αέρας, έδαφος, βλάστηση	αρσενικό (As)	0.001 (0.002)	10 - 40	μέσω υπολογιστικών μοντέλων, υπολογίστηκε μέση τιμή για 16 αποδέκτες	ακτίνα 6-7 km από το εργοστάσιο
			κάδμιο (Cd)	0.004 (0.012)	3 - 15		
			χρώμιο (Cr)	0.001 (0.004)	600 - 1000		
			υδράργυρος (Hg)	0.0003 (0.001)	1 - 20		
			νικέλιο (Ni)	0.026 (0.088)	70		
			μόλυβδος (Pb)	0.007 (0.028)	500 - 2000		
			ψευδάργυρος (Zn)	0.051 (0.173)	300		
			διοξίνες PCDD/F (I-TEQ)	1.39×10^{-8} (5.42×10^{-8})	-		
2	**Cement factory, Qadissiya, Jordan (Al-Khashman, O. A. & Shawabkeh, 2005)**	έδαφος	μόλυβδος (Pb)	55 / 24.21	500 - 2000	εδαφικά δείγματα σε βάθη 0-10cm και 10-20cm	έως 2,7 km από το εργοστάσιο
			ψευδάργυρος (Zn)	44.51 / 22.5	300		
			κάδμιο (Cd)	5 / 2.18	3-15		
			σίδηρος (Fe)	24.18 / 12.72	-		
			χαλκός (Cu)	2.89 / 1.09	130		
			χρώμιο (Cr)	22.18 / 6	600 - 1000		
3	**Cement factory, Cukurhisar, Eskisehir, Turkey (Isikli et al., 2001, Isikli et al., 2005)**	έδαφος, βλάστηση	χρώμιο (Cr)	20.71 - 123.76	600 - 1000	επιφανειακά εδαφικά δείγματα και δείγματα φυτών	ακτίνα από 500 έως 2500 m από το εργοστάσιο
			κάδμιο (Cd)	0.15 - 0.42	3 - 15		

1. Μέσες τιμές (σε παρένθεση οι μέγιστες τιμές).
2. Μέσες τιμές ανά θέση δειγμάτων: σε βάθος 0-10cm / σε βάθος 10cm από την επιφάνεια του εδάφους
3. Εύρος τιμών
4. Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land (ICRCL), 59/83 Trigger Concentrations, Threshold values, http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/icrcl-l.htm

4.3. Συμπεράσματα κεφαλαίου

Όπως μπορούμε να δούμε στους **Πίνακες 4.2.** και **4.3.**, οι ρύποι που συναντώνται κοντά σε βιομηχανίες τσιμέντου ανήκουν κατά κύριο λόγο στην κατηγορία των μετάλλων. Τα συνηθέστερα από αυτά είναι το χρώμιο, το αρσενικό, ο μόλυβδος και το κάδμιο. Το χρώμιο εντοπίστηκε σε όλα τα περιστατικά ρύπανσης, ο μόλυβδος και το κάδμιο στα πέντε (5) από τα έξι (6) περιστατικά που εξετάστηκαν ενώ το αρσενικό σε τέσσερα (4) από τα έξι (6) περιστατικά. Η εμφάνιση των παραπάνω μετάλλων ήταν αναμενόμενη από την βιβλιογραφική έρευνα, καθώς αποτελούν συστατικά της τέφρας τσιμεντοκλιβάνου, όπως αναφέρθηκε ήδη. Επιπρόσθετα, το χρώμιο συναντάται συνηθέστερα καθώς εμπεριέχεται και σε πυρίμαχα υλικά επένδυσης των καμίνων που εξαντλούνται και απορρίπτονται. Η αναφορά που γίνεται στις

λίστες της Βρετανικής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (U.K. EA, 1996c) σε ανόργανες ενώσεις, σε συστατικά των προσθέτων ή προσμίκτων του τσιμέντου ή σε συστατικά καυσίμων, λίγο επιβεβαιώνονται από τα περιστατικά. Συγκεκριμένα, το πιο συχνό φαινόμενο είναι το αυξημένο pH στο έδαφος ή σε υδάτινους αποδέκτες κοντά στην εγκατάσταση, το οποίο συνδέεται με το υδροξείδιο του ασβεστίου, όπως προαναφέρθηκε, και το οποίο στη βιβλιογραφία αναφέρεται τόσο ως συστατικό των πρώτων υλών, όσο και της ιπτάμενης τέφρας. Καθοριστικό ρόλο για τη διαφοροποίηση αυτή θεωρείται ότι παίζουν δύο παράγοντες. Από τη μία, οι πρώτες ύλες και τα διάφορα πρόσμικτα και πρόσθετα δεν αποθηκεύονται σε τόσο μεγάλες ποσότητες και σε μόνιμη βάση όσο η σκόνη που απορρίπτεται από τις διεργασίες και συσσωρεύεται εντός του χώρου. Από την άλλη, οι ανόργανες ενώσεις που αναφέρονται δεν είναι εξίσου τοξικές με τα βαρέα μέταλλα ώστε να έχουν αποτελέσει κρίσιμους ρύπους κατά το σχεδιασμό των μέτρων αποκατάστασης στα περιστατικά.

Πέραν των αποθέσεων τέφρας τσιμεντοκλιβάνου, η βασική πηγή ρύπανσης στις βιομηχανίες τσιμέντου είναι τα αερομεταφερόμενα σωματίδια που διαφεύγουν κατά την καύση στους κλιβάνους. Η διαφυγή ρύπων μέσω αέριων εκπομπών επιφέρει ρύπανση στις γειτονικές περιοχές και σε διαφορετικά περιβαλλοντικά μέσα (έδαφος, βλάστηση, κλπ), όμως οι τιμές που παρατηρούνται είναι μικρές συγκρινόμενες με τα όρια για το ξηρό έδαφος. Επομένως η έκθεση του πληθυσμού πιθανώς δεν θα έπρεπε να αναλυθεί με κυρίαρχη πηγή έκθεσης το πόσιμο νερό αλλά άλλες πηγές, όπως για παράδειγμα με βάση την έκθεση μέσω εισπνοής σωματιδίων. Αντίθετα, η ρύπανση που έχει προκαλέσει η εσκεμμένη διάθεση σκόνης τσιμεντοκλιβάνου ή άλλων απορριμμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική, εάν τη συγκρίνουμε με τα όρια στο πόσιμο νερό, και απαιτεί επεμβάσεις αποκατάστασης. Επομένως, τα στοιχεία που πρωταρχικά θα έπρεπε να ληφθούν υπόψιν κατά τη διερεύνηση πιθανής ρύπανσης από βιομηχανίες τσιμέντου είναι οι συνθήκες διάθεσης της σκόνης τσιμεντοκλιβάνου και τα συστήματα ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ως προς την επέκταση της ρύπανσης στο υπέδαφος, δεν αναμένεται μεταφορά των ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο διάθεσης. Οι ανόργανες ενώσεις –τα βαρέα μέταλλα εν προκειμένω– δεν είναι ιδιαίτερα κινητικά. Παράλληλα, το αυξημένο pH που συναντάται στο υπέδαφος μειώνει ακόμα περισσότερο την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων, αυξάνοντας την προσρόφησή τους στους εδαφικούς κόκκους (Sherene, 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΧΑΛΥΒΑ

5.1. Εισαγωγή

Η χρήση των μετάλλων στη δόμηση έχει ιστορία δυόμισι περίπου αιώνων. Οι πρώτες μεταλλικές κατασκευές έγιναν από χυτοσίδηρο, και ήταν σιδηροδρομικές γέφυρες, δοκοί και υποστυλώματα για στέγες κτιρίων. Στην πορεία, η χρήση του χυτοσιδήρου σταδιακά εκτοπίστηκε από το χάλυβα. Η χρήση του χάλυβα κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει επεκταθεί ευρέως σε μια σειρά κατασκευές όπως είναι οι γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων, τα πολυόροφα κτίρια, οι στέγες μεγάλων ανοιγμάτων κ.τ.λ. Ακόμα, η χρήση του υλικού σε συνεργασία με το σκυρόδεμα, σε μορφή ράβδων οπλισμού ή τενόντων προέντασης έδωσε τεράστια ώθηση στην κατασκευή τεχνικών έργων από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα (Τριανταφύλλου, 2013).

5.2. Γενικά στοιχεία βιομηχανίας χάλυβα. Σύνδεση της βιομηχανίας με ρύπους μέσω της βιβλιογραφίας.

Η βιομηχανία χάλυβα, στη γενική μορφή της, περιλαμβάνει τόσο την παραγωγή χάλυβα από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, όσο και διεργασίες εξευγενισμού και φινιρίσματος που επιδέχονται τα ημιτελή προϊόντα χάλυβα. Σε μικρές εγκαταστάσεις, μπορεί να πραγματοποιούνται μόνο αυτές οι διεργασίες επεξεργασίας, με προμήθεια των ημικατεργασμένων προϊόντων χάλυβα από άλλες παραγωγικές μονάδες. Είναι ενδεικτικό της βαρύτητας της μεταλλουργικής βιομηχανίας, ως προς τη δυνητική της επιβάρυνση στο έδαφος και το υπόγειο νερό, το γεγονός ότι συνδέεται με μια πολύ ευρεία γκάμα ρύπων. Αυτό γίνεται εμφανές από την ποικιλία ρύπων που απαντώνται τόσο στις μελέτες των διαφόρων υπηρεσιών και οργανισμών, όσο και στα περιστατικά ρύπανσης. Προκειμένου, επομένως, να επιτευχθεί καλύτερη εποπτεία της πιθανής επίπτωσης της βιομηχανίας αυτής στο υπέδαφος, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ της βασικής παραγωγής προϊόντων χάλυβα και των διεργασιών επιμετάλλωσης και φινιρίσματος που απαιτούνται για τα τελικά προϊόντα.

5.2.1. Παραγωγή βασικού χάλυβα και μηχανικές διεργασίες για παραγωγή χαλύβδινων προϊόντων

Ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα. Πρώτες ύλες παρασκευής του αποτελούν ο πρωτογενής χυτοσίδηρος και ο ανακυκλωμένος χάλυβας (scrap). Ειδικότερα, ο πρωτογενής χυτοσίδηρος που παράγεται με τη μέθοδο της υψικαμίνου είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα με περιεκτικότητα σε στοιχεία: σίδηρο (Fe) 92-97%, άνθρακα (C) 0.25- 3.51%, μαγγάνιο (Mn) 0.5-1.5%, πυρίτιο (Si) 0.5-4%, θείο (S) 0.02-0.5% και φώσφορο (P) 0.1-0.3%. Η παραγωγή του χάλυβα συνίσταται στη μεταλλαγή του χυτοσιδήρου, δηλαδή στη μείωση της περιεκτικότητάς του σε άνθρακα (< 1,7%) σε μαγγάνιο και πυρίτιο και στην εξάλειψη του φωσφόρου και των ξένων προσμείξεων. Η δεύτερη πρώτη ύλη, ο ανακυκλωμένος σίδηρος διακρίνεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή του: στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνεται ο σίδηρος που γεννάται σε μορφή διαφόρων καταλοίπων από την παραγωγική διαδικασία του χάλυβα, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκει το scrap περισυλλογής που αγοράζεται από το εμπόριο και προκύπτει από τα διάφορα στάδια της επεξεργασίας και κατανάλωσης προϊόντων του χάλυβα. Το εσωτερικά ανακυκλούμενο scrap είναι συγκεκριμένης και γνωστής χημικής σύνθεσης και φυσικών χαρακτηριστικών και συνήθως καταναλώνεται από τη βιομηχανία που παράγεται. Το εμπορικό scrap ή scrap περισυλλογής, προέρχεται είτε από τα αρχικά στάδια μεταποίησης του χάλυβα, είτε από τα τελικά προϊόντα που περιέχουν χάλυβα (π.χ. πλοία, αυτοκίνητα, δοχεία, κ.λπ.) – (Χρυσουλάκης & Παντελής, 2007).

Οι μέθοδοι παραγωγής χάλυβα είναι:

1) Αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
2) Άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (Direct Reduced Iron - DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).
3) Ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.

Ο χάλυβας που παράγεται από τις παραπάνω μεθόδους είναι σε ρευστή μορφή και απομακρύνεται από τις καμίνους σε μεγάλους κάδους, όπου στη συνέχεια είτε διαμορφώνεται σε ημικατεργασμένα προϊόντα (*χάλυβες διαμόρφωσης)*, είτε χυτεύεται υπό μορφή χελωνών (*χυτοχάλυβες)* και στη συνέχεια επαναχυτεύεται σε καλούπια για την κατασκευή τελικών προϊόντων. Παράλληλα, σημαντική είναι και η λεγόμενη *δευτερογενής μεταλλουργία χάλυβα (ή μεταλλουργία κάδου)*, από την οποία παράγεται χάλυβας καλύτερης ποιότητας που προορίζεται για εφαρμογές ειδικών απαιτήσεων. Με τη συγκεκριμένη διαδικασία, ο χάλυβας υφίσταται επεξεργασίες εξευγενισμού που έχουν ως σκοπό τη μείωση της περιεκτικότητας ορισμένων στοιχείων, όπως το υδρογόνο, ο άνθρακας, το άζωτο, το θείο και ο φωσφόρος, τον καθαρισμό του από διάφορες άλλες προσμείξεις και γενικότερα, τον καλύτερο έλεγχο της σύνθεσης, αλλά και της θερμοκρασίας του, ιδιαίτερα εν όψει της συνεχούς χύτευσής του. Τα ημιτελή προϊόντα

χάλυβα είναι συνήθως δοκοί τετραγωνικής διατομής («μπιγιέτες») ή κυκλικής διατομής (κυλινδρικές «μπιγιέτες» ή «κορμοί»), ή ακόμα πλατιά πρίσματα. Η παραγωγή των ημιτελών προϊόντων γίνεται με συνεχή χύτευση σε μήτρες από χαλκό (το προϊόν ψύχεται με νερό και αποκόπτεται τμηματικά, σε συνεχή γραμμή παραγωγής) και με έλαση σε ειδικά έλαστρα. Τα ημιτελή προϊόντα αναθερμαίνονται και υποβάλλονται σε έλαση, διέλαση, ολκή κ.λπ. για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, που μπορεί να είναι *πλατέα* ή *επιμήκη*. Τόσο τα πλατέα προϊόντα όσο και τα επιμήκη παράγονται με θερμή ή ψυχρή έλαση. Από τη θερμή και ψυχρή έλαση προκύπτουν προϊόντα τα οποία προορίζονται είτε για περαιτέρω κατεργασία και παραγωγή νέων προϊόντων χάλυβα, είτε για απευθείας χρήση. Ως παραδείγματα τελικών προϊόντων μπορούμε να αναφέρουμε χονδρές κατασκευαστικές λαμαρίνες (plates), ρολά ή επίπεδα φύλλα (strips), ράβδους ή χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (reinforcing bars), ελάσματα (narrow strips), μορφοσίδηρο (χάλυβας διαμορφωμένης διατομής όπως γωνίες και διατομές ταυ - profiles), κοίλες δοκούς (hollow sections), σωλήνες (tubes) και σύρμα (wire).

Η παραγωγική διαδικασία, στη γενική της μορφή, περιλαμβάνει τα εξής στάδια: 1) παραγωγή οπτάνθρακα, 2) προετοιμασία μεταλλεύματος, 3) παραγωγή σιδήρου, 4) παραγωγή χάλυβα, 5) χύτευση (σε χελώνες ή συνεχής) και 6) έλαση και φινίρισμα (U.K. EA, 1996a). Οι βιομηχανίες που λειτουργούν με Κλίβανο Ηλεκτρικού Τόξου και που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη παλαιοσίδηρο σε ποσοστό 100%, λειτουργούν μόνο με τα τρία τελευταία στάδια και πιθανώς μόνο με παραγωγή χάλυβα και χύτευση. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής για το 2014, αλλά και με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές στη χαλυβουργία, η παραγωγή περιορίζεται σε ακατέργαστο χάλυβα και προϊόντα αυτού, και μάλιστα μόνο από Κλίβανο Ηλεκτρικού Τόξου (ΕΛ.ΣΤΑΤ, 2014, Remus et al., 2013). Μολοταύτα, υπάρχουν ελληνικές βιομηχανίες που ανά περιόδους έχουν εφαρμόσει ή εφαρμόζουν ολοκληρωμένη παραγωγή από σιδηρομετάλλευμα (π.χ. Χαλυβουργική: http://www.halyvourgiki.com/inside_page.aspx?MAIN_SUBCATEGORIES=18&Id=2). Καθώς η ρύπανση μπορεί να δημιουργείται και να εξελίσσεται σε πάροδο ετών, όλες οι πιθανές παραγωγικές διεργασίες του κλάδου πρέπει να εξετάζονται.

Παραγωγή οπτάνθρακα: ο οπτάνθρακας, ο οποίος χρησιμοποιείται και ως καύσιμο, αλλά και ως αναγωγικό μέσον, μπορεί σε κάποιες βιομηχανίες να παράγεται ως μέρος της παραγωγικής διαδικασίας του χάλυβα, με θέρμανση ασφαλτούχου άνθρακα σε κλίβανο. Η διεργασία θεωρείται από τις πιο ρυπογόνες της παραγωγικής διαδικασίας. Πέρα από συστατικά των πρώτων υλών που διαφεύγουν σε μορφή σκόνης κατά την τροφοδοσία, προκύπτουν παραπροϊόντα από την επεξεργασία των απαερίων της καμίνου οπτανθρακοποίησης, όπως ανθρακόπισσα, ακατέργαστο βενζόλιο (light-oil), αμμωνιακόν ύδωρ, ιλύς από δοχεία διαχωρισμού πίσσας (decanter tank tar sludge), καθώς και μείγματα πίσσας/οπτάνθρακα που έχουν στερεοποιηθεί σε δεξαμενές κατακάθισης και αποθήκευσης. Κατά την ψύξη και έκπλυση εξοπλισμού, προκύπτουν λύματα με ναφθαλίνη, αμμωνία, ψευδάργυρο και υπολείμματα διύλισης πίσσας. Το βασικό πρόβλημα κατά την παραγωγή οπτάνθρακα προκύπτει από το αμμωνιακόν ύδωρ, το οποίο έχει δημιουργήσει προβλήματα ρύπανσης στο παρελθόν. Κατά την

διύλισή του παράγονται καθιζάνοντα στερεά, τα οποία περιέχουν φαινόλες, θειικά, πισσέλαια κ.ά. (U.K. EA, 1996a, U.S. EPA, 1995).

Προετοιμασία μεταλλεύματος: σε ό,τι αφορά στην προετοιμασία μεταλλεύματος, αυτή συνίσταται στη συνένωση αλεσμένου μεταλλεύματος με οπτάνθρακα και ασβεστόλιθο, για την τροφοδοσία της υψικαμίνου. Δεν παράγονται σημαντικά απόβλητα κατά τη διαδικασία, πέραν από σκόνη που συλλέγεται και ανακυκλώνεται στη μονάδα συσσωμάτωσης (U.K. EA, 1996a).

Παραγωγή σιδήρου και χάλυβα: ως προς τα απόβλητα των διεργασιών παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, παρουσιάζουν παρόμοια σύνθεση. Το βασικό παραπροϊόν των διεργασιών, η σκωρία, διαφέρει ελαφρώς ως προς τις αναλογίες των συστατικών της ανάλογα με το είδος του κλιβάνου, αλλά κυρίως ανάλογα με τη σύσταση των πρώτων υλών. Διακρίνεται σε σκωρία υψικαμίνου (blast-furnace slag – BF), σκωρία από υψικάμινο με εμφύσηση οξυγόνου (basic oxygen furnace slag – BOS), σκωρία από κάμινο ηλεκτρικού τόξου (electric arc furnace slag), σκωρίες δευτερεύουσας μεταλλουργίας όπως σκωρία κάδου (ladle-furnace slag – LFS), σιδηρούχο σκωρία ελάστρων κ.ά. Ως προς τη σύστασή της, περιλαμβάνει οξείδια ασβεστίου, μαγνησίου, πυριτίου, αργιλίου αλλά και σιδήρου ή μικρές ποσότητες σιδήρου παγιδευμένου εντός του υλικού, με τα οξείδια σιδήρου να βρίσκονται κυρίως σε σκωρίες παραγωγής χάλυβα και πολύ λιγότερο σε σκωρίες υψικαμίνου (van Oss, 2002, U.K. EA, 1996a). Κατά την παραγωγική διαδικασία προκύπτουν επίσης σκόνη και πολτός από πλυντρίδες φίλτρων απαερίων στα οποία εντοπίζονται ψευδάργυρος, μόλυβδος, φθοριούχα και αλκάλια. Ειδικά η σκόνη από την κάμινο ηλεκτρικού τόξου περιέχει οξείδια σιδήρου, ψευδάργυρο, χρώμιο, οξείδια νικελίου (όταν πρόκειται για παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα) και άλλα μέταλλα που ποικίλλουν ανάλογα με τη σύσταση του scrap τροφοδοσίας και σύμφωνα με την U.S. EPA, τα βασικά επικίνδυνα συστατικά της είναι ο μόλυβδος και το κάδμιο. Τόσο σε αυτές τις διεργασίες, όσο και κατά τη χύτευση χάλυβα, προκύπτουν ως απόβλητα πυρίμαχα υλικά από αλλαγή επένδυσης δοχείων, κάδων και χοανών τροφοδοσίας (U.K. EA, 1996a).

Μορφοποίηση προϊόντων: κατά την έλαση και μορφοποίηση προϊόντων χάλυβα, πέραν της σκωρίας εξέλασης, που αποτελείται σε ποσοστό άνω του 95% από οξείδια σιδήρου, παράγονται ως απόβλητα νερό ψύξης, ρινίσματα φρεζαρίσματος καλυμένα με έλαια και χρησιμοποιημένα γαλακτώματα υδατικά ή ελαίων, γράσο καθώς και ρινίσματα από τη λείανση των μύλων εξέλασης.

5.2.2. Κατεργασία και επικάλυψη μεταλλικών προϊόντων

Τα χαλύβδινα προϊόντα που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, συχνά χρειάζεται να υποστούν περαιτέρω κατεργασία προκειμένου να προστατευτούν από τη διάβρωση ή να τροποποιηθούν οι ιδιότητές τους, έτσι

ώστε να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Οι διεργασίες φινιρίσματος μετάλλων περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα διεργασιών, που περιλαμβάνουν διαδικασίες κοπής, καθαρισμό και απολίπανση, διεργασίες επιφανειακής επεξεργασίας, επίστρωση μεταλλικών επιφανειών και εφαρμογή μεταλλικών επιχρισμάτων και βερνικιών (U.K. EA, 1996a). Οι διεργασίες αυτές μπορεί να πραγματοποιούνται είτε από την ίδια τη βιομηχανική μονάδα που παράγει τα πρωτογενή προϊόντα χάλυβα, είτε από ανεξάρτητη βιομηχανία που προμηθεύεται ημιτελή προϊόντα και για το λόγο αυτό εξετάζεται χωριστά. Αυτός άλλωστε είναι και ένας συνήθης διαχωρισμός που γίνεται και στις μελέτες που περιγράφουν τη δυνητική ρύπανση του υπεδάφους από βιομηχανίες (π.χ. U.K. EA, 1996a, 1996b).

5.2.2.1. Προετοιμασία επιφάνειας

Πριν να γίνει απόθεση κάποιας επικάλυψης η επιφάνεια πρέπει να καθαριστεί μέχρι να φύγουν τελείως τυχόν λάδια, γράσα, λιπαντικά, ρινίσματα και άλλοι ρύποι, όπως παλιές επικαλύψεις, που μπορεί να υπάρχουν. Κατά την εφαρμογή των διαφορετικών μεθόδων καθαρισμού, προκύπτουν απόβλητα, πιθανώς επικίνδυνα, είτε με τη μορφή χρησιμοποιημένων μέσων καθαρισμού είτε ως ρύποι που έχουν αφαιρεθεί από τις προς επεξεργασία επιφάνειες. Για παράδειγμα, όλα τα απόβλητα που περιέχουν διαλυτικές ουσίες ταξινομούνται ως επικίνδυνα, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2.

Ο καθαρισμός των επιφανειών μπορεί να πραγματοποιείται με διαφορετικούς τρόπους, όπως βούρτσισμα, ριπή σωματιδίων υπό πίεση, λείανση, καθώς και με συμβατικά ή εναλλακτικά διαλυτικά μέσα. Οι διεργασίες καθαρισμού μπορεί να περιλαμβάνουν λίπανση των καλουπιών, εμβάπτιση, ψεκασμό, έκπλυση και απολίπανση με οργανικούς διαλύτες (U.K. EA, 1996a). Στην αποσκωρίωση μέσω οξέων χρησιμοποιούνται θειικό οξύ, υδροχλωρικό οξύ ή μείγμα υδροφθορικού και νιτρικού οξέως, ενώ το χρησιμοποιημένο υγρό αποσκωρίωσης κατατάσσεται ως επικίνδυνο απόβλητο. Μετά το λουτρό αποσκωρίωσης ακολουθεί μια σειρά από εκπλύσεις με αλκαλικούς παράγοντες, όπως καυστική σόδα, για την αφαίρεση ελαίων. Τα παραγόμενα απόβλητα περιλαμβάνουν επίσης χρησιμοποιημένες βούρτσες και μέσα λείανσης, υλικό απόξεσης με περιεχόμενα σωματίδια μετάλλου, πλαστικά σφαιρίδια και οργανικές ουσίες, ρυπασμένο νερό έκπλυσης, ιλύ από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και χρησιμοποιημένα διαλυτικά μέσα (π.χ. χλωριωμένα διαλυτικά μέσα). Οι διαλύτες μπορεί επίσης να περιέχουν αλειφατικά κλάσματα πετρελαίου, χλωριωμένους υδρογονάνθρακες και αλκοόλες, ενώ τα γαλακτώματα που χρησιμοποιούνται περιέχουν συνήθως κλάσματα πετρελαίου, όπως κηροζίνη. Οι ρύποι που προκύπτουν περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), τοξικά οργανικά, οξέα και αλκαλικές ουσίες (U.K. EA, 1996a, U.S. EPA, 1995)

5.2.2.2. Επιμεταλλώσεις και άλλες διεργασίες φινιρίσματος

Οι διεργασίες επιμεταλλώσεων και επικαλύψεων συνίστανται στην επικάλυψη επιφανειών με κάποιο άλλο μέταλλο, μπογιά ή επικάλυψη σκόνης, με σκοπό την τροποποίηση των ιδιοτήτων του χάλυβα. Η επιμετάλλωση μπορεί να είναι χημική, ηλεκτροχημική ή ηλεκτρολυτική ή μπορεί να γίνεται με εμβάπτιση εν θερμώ (επικάλυψη με ψευδάργυρο, η οποία ονομάζεται γαλβανισμός). Για τη βαφή χρησιμοποιούνται μπογιές με βάση το νερό, μπογιές με περιεχόμενα στερεά ή στερεές μπογιές, συνήθως από πλαστικά ή ρητινώδη υλικά. Επιπλέον, συχνά κρίνεται απαραίτητο να ακολουθήσουν (ή ενδεχομένως να προηγηθούν) στίλβωση ή/και λείανση των μεταλλικών επιφανειών, αλλά και τμημάτων του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των προς επεξεργασία κομματιών. Ρύπανση μπορεί να προκύψει είτε κατά την αποθήκευση και μεταφορά πρώτων υλών, είτε κατά την προσωρινή αποθήκευση, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων. Στις πρώτες ύλες περιλαμβάνονται δραστικές ουσίες καθαρισμού, μέταλλα, συλλιπάσματα (ουσίες που συνενώνονται με τις ανεπιθύμητες προσμίξεις των πρώτων υλών, διευκολύνοντας την αφαίρεσή τους) για την εμβάπτιση εν θερμώ (π.χ. στο γαλβανισμό χρησιμοποιείται χλωριούχο αμμώνιο), χημικά για λουτρά επιμετάλλωσης, καθώς και χημικά για την επεξεργασία λυμάτων. Στα μέταλλα που χρησιμοποιούνται ως επιστρώσεις περιλαμβάνονται, πέρα από τον ψευδάργυρο, κασσίτερος, χρώμιο, αλουμίνιο και μόλυβδος. Ως απόβλητα προκύπτουν ρυπασμένα νερά έκπλυσης, χρησιμοποιημένα λουτρά διεργασιών, χρησιμοποιημένα διαλυτικά μέσα και ιλύς από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα από το γαλβανισμό προκύπτουν χλωρίδια σιδήρου, χλωρίδια ψευδαργύρου και υδροχλωρικό οξύ. Στους παραγόμενους ρύπους επίσης ανήκουν βαρέα μέταλλα, κυανίδια, χρωμικά άλατα, τοξικά οργανικά, οξέα και αλκαλικές ουσίες. Πηγή αποβλήτων αποτελεί επίσης ο καθαρισμός του εξοπλισμού, από τον οποίο προκύπτουν απόβλητα μπογιάς και διαλυτικών μέσων, υπολείμματα επικαλύψεων, υγρά καθαρισμού και εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων. Τέλος, στα απόβλητα ανήκουν και εξαντλημένα φίλτρα άνθρακα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό διαλυμάτων επιμετάλλωσης, ιζήματα που έχουν αποξεσθεί από δεξαμενές επιμετάλλωσης, ρινίσματα συλλιπασμάτων και μεταλλικά θραύσματα (U.K. EA, 1996a, U.S. EPA, 1995).

Συγκεντρωτικά, οι ρύποι που μπορεί να προκύψουν από τα διαφορετικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας που αναλύθηκαν παραπάνω, αναγράφονται στον **Πίνακα 5.1.** που ακολουθεί.

Πίνακας 5.1: Ρύποι ανά στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας χάλυβα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Στάδιο παραγωγικής διαδιακασίας	Διεργασία	Ρυπογόνες ουσίες		Ρύποι
		Πρώτες ύλες	Απόβλητα - Εκπομπές	
Ενότητα 5.1.1: Παραγωγή βασικού χάλυβα και μηχανικές διεργασίες για παραγωγή χαλύβδινων προϊόντων				
Παραγωγή οπτάνθρακα	θέρμανση σε κλίβανο, επεξεργασία απαερίων καμίνου	ασφαλτούχος άνθρακας	ανθρακόπισσα, ακατέργαστο βενζόλιο, αμμωνιακόν ύδωρ, ιλύς από δοχεία διαχωρισμού πίσσας	PAHs
	έκπλυση εξοπλισμού		υγρά έκπλυσης, υπολείμματα διύλισης πίσσας	ναφθαλίνη, αμμωνία, ψευδάργυρος
	διύλιση αμμωνιακού ύδατος		καθιζάνοντα στερεά, πισσέλαια	φαινόλες, θειικά
Προετοιμασία μεταλλεύματος	συσσωμάτωση πρώτων υλών	μετάλλευμα, οπτάνθρακας, ασβεστόλιθος		
Παραγωγή σιδήρου και χάλυβα	καύση σε κάμινο ηλεκτρικού τόξου, υψικάμινο		σκωρία υψικαμίνου, καμίνου ηλεκτρικού τόξου, σκωρία μεταλλουργίας κάδου	
	πλυντρίδες φίλτρων απαερίων		σκόνη καμίνου ηλεκτρ. τόξου, πολτός	ψευδάργυρος, μόλυβδος, φθοριούχα, αλκάλια, οξείδια σιδήρου, χρώμιο, οξείδια νικελίου, κάδμιο
	αλλαγή επένδυσης δοχείων και κάδων		πυρίμαχα υλικά	
Κοπή - έλαση - μορφοποίηση	έλαια κοπής		σκωρία εξέλασης, νερό ψύξης, ρινίσματα φρεζαρίσματος, υδατικά και ελαιούχα γαλακτώματα, γράσο	οξείδια σιδήρου, βαρέα μέταλλα, PCBs
Ενότητα 5.1.2.1: Προετοιμασία επιφάνειας				
Καθαρισμός (λείανση, απόξεση, εμβάπτιση, έκπλυση κ.ά.)	αποσκωρίωση	θειικό, υδροχλωρικό, νιτρικό-υδροφθορικό οξύ	χρησιμοποιημένο υγρό αποσκωρίωσης	
	απολίπανση	αλκαλικοί παράγοντες, π.χ. καυστική σόδα		
	έκπλυση, λείανση, απόξεση	διαλύτες, γαλακτώματα (κλάσματα πετρελαίου, π.χ. κηροζίνη)	χρησιμοποιημένες βούρτσες, υλικό απόξεσης με σωματίδια μετάλλου, ιλύς επεξεργασίας λυμάτων, χρησιμοποιημένοι διαλύτες	χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, αλειφατικά κλάσματα πετρελαίου, αλκοόλες, βαρέα μέταλλα, VOCs, οξέα, αλκαλικές ενώσεις
Ενότητα 5.1.2.2: Επιμεταλλώσεις και άλλες διεργασίες φινιρίσματος				
Επιμετάλλωση - φινίρισμα	εφαρμογή επικαλύψεων, βαφών	μέταλλα επίστρωσης (ψευδάργυρος, κασσίτερος, χρώμιο, αλουμίνιο, μόλυβδος), συλλιπάσματα (π.χ. χλωριούχο αμμώνιο), μπογιές με βάση νερό, πλαστικά ή ρητινώδη υλικά, ουσίες καθαρισμού	νερά έκπλυσης, εξοφλημένα λουτρά διεργασιών, χρησιμοποιημένοι διαλύτες	χλωρίδια σιδήρου και ψευδαργύρου, υδροχλωρικό οξύ, βαρέα μέταλλα, κυανίδια, χρωμικά άλατα, τοξικά οργανικά, οξέα, αλκαλικές ενώσεις
	καθαρισμός εξοπλισμού	διαλύτες	απόβλητα μπογιάς, διαλυτικών μέσων, ιζήματα δεξαμενών, ρινίσματα μετάλλων	πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)
	επεξεργασία λυμάτων	χημικά επεξεργασίας λυμάτων	ιλύς επεξεργασίας λυμάτων, εξαντλημένα φίλτρα άνθρακα	

5.3. Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες χάλυβα

Η Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος (U.S. EPA, 1995), παραθέτει μια καταγραφή των ποσοτήτων τοξικών εκλύσεων (Toxic Release Inventory) από μια σειρά εγκαταστάσεων που δραστηριοποιούνται στην βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα, είτε μέσω εκπομπών στην ατμόσφαιρα, είτε μέσω επιφανειακής ή υπόγειας διάθεσης σε υδάτινους αποδέκτες, είτε μέσω απόθεσης στο έδαφος. Η ποικιλία των διεργασιών που πραγματοποιούνται και συνακόλουθα των ρύπων που εμφανίζονται στις εγκαταστάσεις είναι αυξημένη και αυτό γίνεται εμφανές από το γεγονός ότι οι πιο συχνά αναφερόμενοι ρύποι, εντοπίζονται σε ένα ποσοστό μόνο των βιομηχανιών και όχι ευρέως, ενώ σε μια «τυποποιημένη» ως προς τη διάρθρωσή της βιομηχανία θα περιμέναμε μια ομοιογένεια, τουλάχιστον ως προς τους βασικούς ρύπους. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι οι περισσότερες μονάδες περιλαμβάνουν κάποια μόνο από τα στάδια της ολοκληρωμένης παραγωγής σιδήρου και χάλυβα και τελικών προϊόντων (όπως αναφέρεται από την U.S. EPA, λιγότερες από το 30% των βιομηχανιών πραγματοποιούν ολοκληρωμένη παραγωγή).

Όπως ήδη αναμέναμε από τα παραπάνω, τα περιστατικά ρύπανσης που συνδέονται με βιομηχανίες χάλυβα παρουσιάζουν μια ευρεία γκάμα ρύπων. Μολοταύτα, κατά τις αποφάσεις αποκατάστασης δίνεται έμφαση σε ένα πιο περιορισμένο αριθμό ρύπων, για τους οποίους τίθενται όρια – στόχοι, με το συγκερασμό των απαιτήσεων μείωσης διακινδύνευσης και οικονομικότητας των μεθόδων αποκατάστασης. Από τα τέσσερα περιστατικά που εξετάστηκαν, γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστεί τόσο η συνολική εικόνα των ρύπων που συναντώνται σε χαλυβουργίες, όσο και να δοθεί έμφαση σε αυτούς που συναντώνται πιο συχνά και ταυτόχρονα τίθενται ως προτεραιότητα κατά την διαδικασία αποκατάστασης. Οι "ρύποι προτεραιότητας", όπως ορίζονται στις αποφάσεις αποκατάστασης των ρυπασμένων χώρων, επιλέγονται με βάση τη συχνότητα εμφάνισής τους σε ένα χώρο, αλλά και με βάση τη συνεισφορά τους στη συνολική διακινδύνευση. Η παρουσίαση των εγκαταστάσεων γίνεται, στο βαθμό που αυτό είναι δυνατό, διαχωρίζοντας τις εγκαταστάσεις παραγωγής χάλυβα και προϊόντων αυτού μέσω μηχανικής επεξεργασίας από τις εγκαταστάσεις φινιρίσματος μεταλλικών προϊόντων.

Τα κύρια ευρήματα συνοψίζονται, μετά την παρουσίαση των περιστατικών, στον **Πίνακα 5.2.** Η παρουσίαση των ρύπων γίνεται διαχωρίζοντας τις βασικές πηγές στην εκάστοτε βιομηχανία. Παράλληλα, στην 1η στήλη του **Πίνακα 5.2.**, γίνεται αντιστοίχιση καθεμίας από τις βιομηχανίες των τεσσάρων περιστατικών με κωδικούς του Πίνακα Δραστηριοτήτων (**Πίνακας 3.2.**) που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3, στο βαθμό πο ήταν δυνατό από τα στοιχεία που δίνονται στις αποφάσεις αποκατάστασης σχετικά με τις εγκαταστάσεις των βιομηχανικών μονάδων που εξετάζονται. Αντίστοιχα, στην 3η και την 4η στήλη του πίνακα, παρουσιάζονται τα προϊόντα χάλυβα που παράγονταν στην εκάστοτε μονάδα αλλά και οι διεργασίες που πραγματοποιούνταν. Αυτά τα στοιχεία κρίθηκαν απαραίτητα προκειμένου να μπορεί να γίνει η σύνδεση των περιστατικών με τις δραστηριότητες που συνδέονται με την παραγωγή δομικών

υλικών. Επιπλέον, προκειμένου να δοθεί μια αίσθηση του βαθμού της επιβάρυνσης, παρατίθενται οι μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις για το πόσιμο νερό της Αμερικανικής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (U.S. EPA, 2012) και τα αντίστοιχα Ολλανδικά Όρια επέμβασης (Intervention Values) για το έδαφος (RMIE, 2013).

1. **Continental Steel Corp., Kokomo, Howard County, Indiana (U.S. EPA, 1996, 1998a, 1998b):**

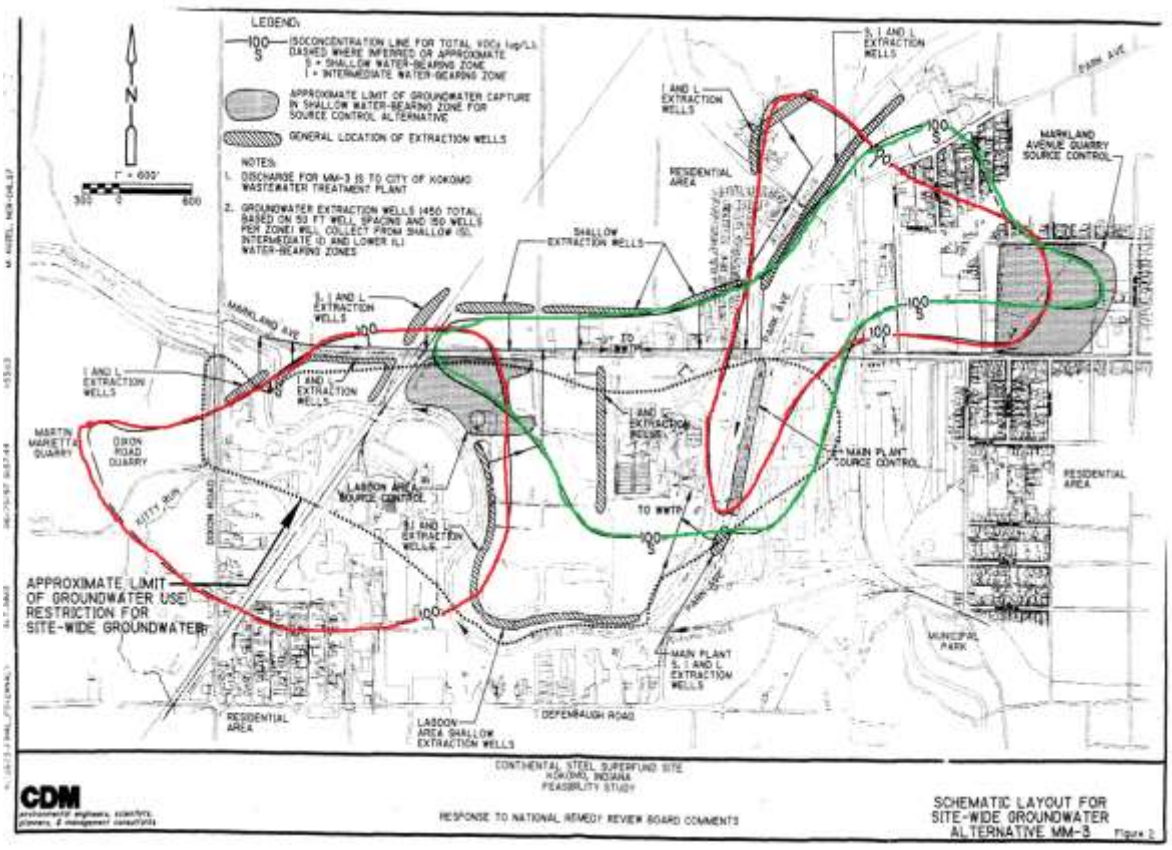
Το εργοστάσιο της "Continental Steel Corp." Βρίσκεται στην πόλη Kokomo, της επαρχίας Howard, της πολιτείας της Indiana. Παρήγαγε καρφιά, σύρμα και συρματόπλεγμα από scrap χάλυβα για το διάστημα από το 1914 έως το 1986. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνταν στην εγκατάσταση περιλάμβαναν αναθέρμανση, χύτευση, εξέλαση, κοίλανση, αποσκωρίωση, γαλβανισμό, επικασσιτέρωση και ανόπτηση με χρήση ελαίων. Η χρήση γης στην περιοχή είναι μεικτή (κατοικιών, εμπορική και βιομηχανική). Ο χώρος έχει έκταση 740 στρέμματα και περικλείεται από τα υδατορέματα Kokomo και Wildcat.

Το έδαφος της περιοχής αποτελείται από παγετωνικούς σχηματισμούς με διάφορες προσχώσεις αργίλου, άμμου και χαλικιών. Το υπόγειο νερό στην περιοχή αποτελείται από τρεις υπόγειους υδροφορείς, το ρηχό, τον ενδιάμεσο και το βαθύ. Η ροή στο ρηχό υδροφορέα είναι προς τα επιφανειακά υδατορέματα (Kokomo και Wildcat), με τοπική στροφή προς το βορρά (βόρεια της "Lagoon Area"). Στον ενδιάμεσο και το βαθύ υδροφορέα, η ροή πραγματοποιείται τόσο διαμέσου των σχηματισμών άμμου και χαλικιών, όσο και εντός του δικτύου των ρωγμών του ασβεστολιθικού βραχώδους υποβάθρου, εισχωρώντας στα καρστικά κενά. Στον ενδιάμεσο υδροφορέα η υδραυλική κλίση είναι 0,01 και αυξάνεται τοπικά σε 0,02 στην περιοχή επεξεργασίας σκωρίας λόγω άντλησης. Ο ρηχός υδροφορέας συναντάται σε βάθος περίπου 12 m από την επιφάνεια του εδάφους, ο ενδιάμεσος περίπου στα 30 m, ενώ ο βαθύς περίπου στα 43 m. Η βασική πηγή πόσιμου νερού στην περιοχή είναι ένας ταμιευτήρας ανάντη του χώρου, ενώ στα λίγα ιδιωτικά πηγάδια που εντοπίζονται κοντά στο χώρο δεν εντοπίστηκαν οι ρύποι ενδιαφέροντος.

Ο χώρος εισήχθη στη Λίστα Προτεραιοτήτων το 1989. Η ρύπανση προσεγγίζεται με έξι λειτουργικές μονάδες που περιλαμβάνουν (1) το υπόγειο νερό σε όλη την έκταση της εγκατάστασης, (2) περιοχή με λεκάνες επεξεργασίας υγρού αποσκωρίωσης, (3) υδατορέματα που υπάρχουν στο χώρο, (4) περιοχή διάθεσης απορριμμάτων, (5) το κυρίως εργοστάσιο παραγωγής χάλυβα και τέλος, (6) την περιοχή επεξεργασίας σκωρίας. Η απόφαση αποκατάστασης για τον κυρίως χώρο του εργοστασίου εκδόθηκε το 1996 (U.S. EPA, 1996) και για τις υπόλοιπες μονάδες το 1998 (U.S.EPA, 1998b).

Στην *περιοχή του κυρίως εργοστασίου* βρέθηκαν μέταλλα, πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), η προέλευση των οποίων είναι τα ελαιώδη απόβλητα που παράγονταν στην εγκατάσταση. Στα απόβλητα των διεργασιών

περιλαμβάνονται μονωτικά υλικά με αμίαντο, σκόνη φίλτρων αέρα (καταχωρημένο απόβλητο που περιέχει χρώμιο και μόλυβδο), χρησιμοποιημένοι διαλύτες, βασικά διαλύματα και λάσπη ρυπασμένη με τριχλωροαιθυλένιο (TCE). Βρέθηκαν βαρέλια με διαλύτες, απολιπαντικά και έλαια κοπής, δεξαμενές αποθήκευσης, υπέργειες και υπόγειες, κυρίως πετρελαίου, πυκνωτές και μετασχηματιστές. Στην *περιοχή διάθεσης υγρών αποσκωρίωσης* μετρήθηκαν υψηλά ποσοστά καδμίου, χρωμίου και μολύβδου. Εδαφικά δείγματα και δείγματα σκόνης *εντός και εκτός των κτιρίων της εγκατάστασης* έδειξαν ρύπανση με μέταλλα και συγκεκριμένα, μόλυβδο, αρσενικό, χρώμιο, άργυρο και ψευδάργυρο. Στο έδαφος της *περιοχής διάθεσης απορριμμάτων* μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις πτητικών οργανικών ενώσεων, φαινολών, φθαλικών ενώσεων και PCBs. Το νερό που είχε συσσωρευτεί στην εν λόγω περιοχή περιείχε οργανικούς διαλύτες (όπως TCE), χαμηλά επίπεδα χαλκού, ψευδαργύρου και υδραργύρου και υψηλές τιμές pH (έως 12 μονάδες). Τα *υδατορέματα* χρησιμοποιήθηκαν για την απόρριψη λυμάτων, αδρανοποιημένων υγρών αποσκωρίωσης ενώ δέχονταν και επιφανειακές απορροές από τις εγκαταστάσεις του χώρου. Ιζήματα από τα *υδατορέματα* ήταν ρυπασμένα με υψηλές τιμές PCBs. Τέλος, στο *υπόγειο νερό* οι βασικοί ρύποι ήταν μέταλλα όπως το αρσενικό, το χρώμιο, το κάδμιο, ο μόλυβδος, το μαγγάνιο, το θείο και ο σίδηρος και πτητικές οργανικές ενώσεις όπως το TCE, το τετραχλωροαιθυλένιο (PCE), το cis-1,2-διχλωροαιθένιο (cis-1,2-DCE) και το βινυλοχλωρίδιο.



Σχήμα 5.1: Ισοπληθείς καμπύλες συγκέντρωσης 0,1 mg//L VOCs για το ρηχό και το βαθύ υδροφορέα και περιοχές άντλησης νερού από το ρηχό υδροφορέα, του χώρου Continental Steel Corp. (U.S. EPA, 1998a).

Στο **Σχήμα 5.1.** φαίνεται ο χάρτης του χώρου στον οποίο σημειώνονται οι ισοπληθείς καμπύλες συγκεντρώσεων VOCs (0,1 mg/L) για το ρηχό και τον ενδιάμεσο υδροφορέα (σημειώνονται με πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα). Από το σχήμα αντλούμε στοιχεία σχετικά με τη μεταφορά των ρύπων σε σχέση με τις πηγές στο χώρο: για παράδειγμα, για τον ενδιάμεσο υδροφορέα, βλέπουμε επέκταση της ρύπανσης δυτικά των λεκανών διάθεσης υγρών αποσκωρίωσης ("Lagoon Area") κατά περίπου 1140 m, βόρεια του κυρίως εργοστασίου ("Main Plant") κατά 730 m και βορειοδυτικά της περιοχής διάθεσης αποβλήτων ("Markland Avenue Quarry") κατά 780 m περίπου. Κατά αντίστοιχο τρόπο, το πλούμιο ρύπανσης για το ρηχό υδροφορέα εκτείνεται από την περιοχή διάθεσης αποβλήτων έως περίπου 1100 m δυτικά του κυρίως εργοστασίου.

Οι ρύποι ενδιαφέροντος (Contaminants of Concern) προσδιορίζονται (https://cumulis.epa.gov/supercpad/SiteProfiles/index.cfm?fuseaction=second.Contams&id=0501228) για τις λειτουργικές μονάδες του υπόγειου νερού (01) και του κυρίως εργοστασίου (05). Ως προς το υπόγειο νερό, επιλέχθηκε το αρσενικό και το TCE. Για το έδαφος, μέταλλα όπως το αρσενικό, το χρώμιο, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος, PCBs και PAHs όπως βενζο(b)φλουορανθένιο, βενζο(ghi)περιλένιο, βενζο(k)φλουορανθένιο, βενζο(a)ανθρακένιο, βενζο(a)πυρένιο, χρυσένιο, διβενζο(a,h)ανθρακένιο, ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο και πυρένιο. Στον **Πίνακα 5.2.** αναγράφονται οι συγκεντρώσεις στο έδαφος (επιφανειακό/σε μεγαλύτερο βάθος) και το υπόγειο νερό (τιμές για ρηχό/ενδιάμεσο/βαθύ υδροφορέα).

Τα μέτρα αποκατάστασης αφορούν σε κάθε λειτουργική μονάδα ξεχωριστά (U.S. EPA, 1998b). Ως προς το *υπόγειο νερό*, αποφασίζεται συλλογή του νερού από τον ρηχό υδροφορέα –κατά προσέγγιση οι περιοχές επέμβασης φαίνονται με διαγράμμιση στο **Σχήμα 5.1.**– μερική άντληση από τους βαθύτερους υδροφορείς προκειμένου να αποφευχθεί η μεταφορά των ρύπων εκτός του χώρου, έλεγχος της χρήσης του νερού κατάντη και συστηματική παρακολούθηση μέχρις ότου επιτευχθούν οι στόχοι αποκατάστασης. Ως προς τις *λεκάνες και περιοχές διάθεσης λυμάτων και αποβλήτων*, επιλέγεται εκσκαφή και αφαίρεση ρυπασμένων εδαφών και των απορριμμάτων που έχουν αποτεθεί, εκσκαφή ιζημάτων από τις *περιοχές των υδατορεμάτων* και συνακόλουθα στερεοποίηση του εδάφους για μείωση διήθησης, επανεπίχωση με καθαρά υλικά και φύτευση ή, εναλλακτικά, τοποθέτηση εδαφικού καλύμματος. Στην *περιοχή των λεκανών*, η ύπαρξη παραμενουσών πηγών ρύπανσης –πτητικές οργανικές ενώσεις σε μορφή DNAPL– μπορεί να απαιτήσει τη συνέχιση των εργασιών συλλογής και παρακολούθησης μέχρι και για 30 χρόνια. Τόσο για την *περιοχή του κυρίως εργοστασίου* όσο και για την *περιοχή της σκωρίας*, τα μέτρα περιλαμβάνουν εκσκαφή των αποθέσεων που περιέχουν PCBs και VOCs και του υλικού της σκωρίας αντίστοιχα, και απόθεση εντός του χώρου με τοποθέτηση εδαφικού καλύμματος, έτσι ώστε να αποφευχθεί επαφή με τους ρύπους αλλά και διήθηση στο υπέδαφος μέσω των κατακρημνισμάτων.

2. **Jackson Steel, Mineola / North Hempstead, Nassau County, New York (U.S. EPA, 2004a, 2007):**

Η εταιρεία Jackson Steel διατηρούσε στο εξεταζόμενο χώρο εργοστάσιο παραγωγής χαλύβδινων προϊόντων μέσω έλασης, για το διάστημα από το 1970 έως το 1991. Η ζώνη στην οποία βρίσκεται η εγκατάσταση είναι εμπορική/κατοικιών, ενώ σε ακτίνα μισού μιλίου βρίσκονται πηγάδια που τροφοδοτούν με νερό τις γειτονικές κοινότητες.

Το έδαφος στην περιοχή αποτελείται από άμμο και χαλίκια, που εκτείνονται σε βάθος έως 32 m από την επιφάνεια, ενώ συναντώνται μικρές ποσότητες ιλύος και σχεδόν καθόλου άργιλος. Το υπόγειο νερό βρίσκεται στο υπερκείμενο στρώμα ιλυώδους άμμου και φτάνει σε βάθος περίπου 15 m από την επιφάνεια του εδάφους. Ένας βαθύτερος, αμμώδης, υδροφορέας περιορίζεται από στρώμα εγκιβωτισμού το οποίο συναντάται σε βάθος περίπου 46 m από την επιφάνεια, αποτελείται από αμμώδη υλικά με ενδιάμεσα στρώματα ιλυώδους αργίλου και έχει πάχος περίπου 90 m.

Η ρύπανση στο χώρο αποδίδεται στην απόρριψη αποβλήτων σε απορροφητικούς βόθρους, σε διαρροές από θέσεις αποθήκευσης χημικών που χρησιμοποιούνταν κατά την παραγωγική διαδικασία αλλά και σε διήθηση ρύπων σε φρεάτια κατά την έκπλυση δαπέδων των εγκαταστάσεων. Κατά τις διεργασίες απολίπανσης που λάμβαναν χώρα στην εγκατάσταση, γινόταν χρήση διαλυτών με τετραχλωροαιθυλένιο (PCE), τριχλωροαιθυλένιο (TCE) και 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο (TCA). Η ιλύς που παραγόταν, αποθηκευόταν σε βαρέλια και δεξαμενές.

Οι έρευνες που έγιναν σε εδαφικά δείγματα αφορούν τόσο σε επιφανειακό έδαφος όσο και σε μεγαλύτερο βάθος, στις θέσεις των απορροφητικών βόθρων. Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) –κυρίως TCE (1,4 mg/kg), PCE (19 mg/kg) και ακετόνη (2 mg/kg)– αλλά και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες –κυρίως χρυσένιο (5,2 mg/kg) και βενζο-β-φθορανθένιο (5,1 mg/kg)–ήταν οι ρύποι που εντοπίστηκαν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, σε μικρά βάθη. Σε δείγματα σε μεγαλύτερα βάθη, εντοπίστηκαν κυρίως VOCs –όπως ολικά ξυλόλια (5,9 mg/kg), 1,1-DCA (1,6 mg/kg), 1,1,1-TCA (1,4 m mg/kg), 1,2-cis-DCE (12 mg/kg)– και πολύ λιγότερο PAHs, γιατί προσροφώνται περισσότερο στα εδαφικά σωματίδια και εξαπλώνονται πιο δύσκολα σε βάθος. Επίσης, κυρίως σε μικρά βάθη, εντοπίστηκαν μέταλλα, όπως αρσενικό (62,5 mg/kg), κάδμιο (5,1 mg/kg), χαλκός (257 mg/kg), μόλυβδος (1190 mg/kg), υδράργυρος (0,8 mg/kg) και ψευδάργυρος (50 mg/kg). Σε ό,τι αφορά το υπόγειο νερό και συγκεκριμένα, το ρηχό υδροφορέα, εντοπίστηκαν VOCs όπως 1,1-DCA, 1,2- cis-DCE (0,34 mg/L), 1,1,1-TCA, TCE και PCE (0,063 mg/L), αλλά και μέταλλα όπως αρσενικό (0,0135 mg/L), σίδηρος (66,1 mg/L) και μαγγάνιο (7,07 mg/L). Στο βαθύ υδροφορέα, και σε βάθος περίπου 137 m εντοπίστηκαν TCE (0,2 mg/L) και PCE (0,086 mg/L), επειδή όμως οι ίδιες ενώσεις δεν βρέθηκαν σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο ενδιάμεσο ιλυώδες στρώμα, θεωρείται ότι η προέλευσή τους είναι διαφορετική από την εγκατάσταση παραγωγής χάλυβα. Κατηγορίες ρύπων όπως SVOCs, ζιζανιοκτόνα και μέταλλα βρέθηκαν και στο εσωτερικό κτιρίων. Να σημειωθεί ότι ζιζανιοκτόνα εντοπίστηκαν τόσο στο (επιφανειακό) έδαφος όσο και στο υπόγειο νερό, αλλά δε συνδέθηκαν με κάποια διεργασία της εγκατάστασης. Στην απόφαση αποκατάστασης, για το έδαφος, δίνεται

έμφαση στους ρύπους αρσενικό, βενζο(α)πυρένιο και βενζόλιο. Αντίστοιχα, στο υπόγειο νερό επιλέγονται το TCE και το PCE, το αρσενικό, το μαγγάνιο και ο σίδηρος.

Τα μέτρα αποκατάστασης περιλάμβαναν εκσκαφή του ρυπασμένου επιφανειακού εδάφους αλλά και των υλικών από τους απορροφητικούς βόθρους και επεξεργασία ή/και διάθεση ανάλογα με το επίπεδο της ρύπανσης. Για την μη-κορεσμένη ζώνη του υπεδάφους επιλέχθηκε επι-τόπου άντληση εδαφικού αέρα για τα υλικά που είναι ρυπασμένα από VOCs και έπειτα επεξεργασία των αερίων με κοκκώδη ενεργό άνθρακα. Επιπλέον, αποφασίστηκε απόξεση και έκπλυση των ρυπασμένων υλικών από το εσωτερικό κτιρίων και διάθεση σε κατάλληλο χώρο. Για το υπόγειο νερό του ρηχού υδροφορέα, επι-τόπου επεξεργασία με ένα οξειδωτικό μέσο, όπως υπερμαγγανικό κάλιο, υπεροξείδιο του υδρογόνου ή όζον, μέχρι να επιτευχθούν οι επιθυμητές συγκεντρώσεις ενώσεων. Τέλος, για το βαθύτερο υδροφορέα, η αρχική πρόταση άντλησης και επεξεργασίας του νερού αποσύρθηκε, καθώς δεν επιβεβαιώθηκε ότι η ρύπανσή του οφειλόταν στο συγκεκριμένο χώρο και καθώς τα προηγούμενα μέτρα πέτυχαν αποδεκτά επίπεδα ρύπανσης.

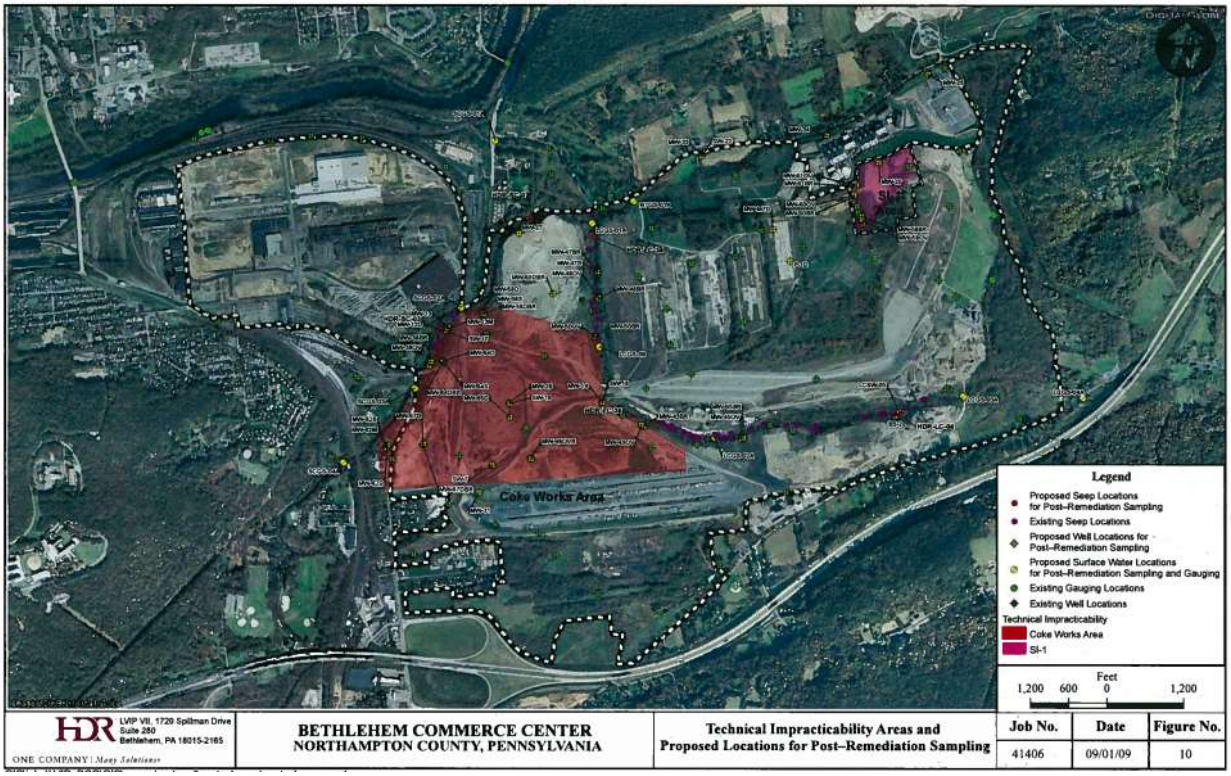
3. ISG Tecumseh Redevelopment Inc. (formerly: Bethlehem Steel Corporation – Bethlehem Structural Products), Northhampton County, Pennsylvania (U.S. EPA, 2012b, 2015)

Στο χώρο, ο οποίος εκτείνεται σε περίπου 6680 στρέμματα (1650 εκτάρια) και συνορεύει με τον ποταμό Lehign, λειτουργούσε ολοκληρωμένη βιομηχανία παραγωγής χάλυβα και χαλύβδινων προϊόντων περίπου από το 1899 έως το 1995. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνταν περιλάμβαναν παραγωγή οπτάνθρακα, σιδήρου και χάλυβα, χύτευση χάλυβα σε χελώνες ή συνεχή χύτευση, θερμή και ψυχρή έλαση, σφυρηλάτηση, θερμική κατεργασία και εργασίες φινιρίσματος.

Πηγές ρύπανσης υπήρχαν σε πολλά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Στην περιοχή παραγωγής οπτάνθρακα, εντοπίστηκαν μια σειρά από απόβλητα που περιλαμβάνουν βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλια, ναφθαλίνη, φαινόλες, έλαιο έκπλυσης, αέριο εγκαταστάσεων οπτανθρακοποίησης, αμμωνιακόν ύδωρ, όξινη λάσπη από διεργασία ραφιναρίσματος με αρωματικούς υδρογονάνθρακες (BETX refining process– Benzene/Ethylbenzene/Toluene/Xylenes) και νερά ψύξης. Κατά τη διαδικασία τήξης των πρώτων υλών για παραγωγή σιδήρου και χάλυβα, παράγονταν σκωρία, σκόνη και παλαιοσίδηρος που αποτέθηκαν στο χώρο. Σε διάφορες θέσεις αποθηκεύονταν χημικά και απόβλητα από τις διεργασίες κοπής, έλασης και θερμικής κατεργασίας, στα οποία περιλαμβάνονται διαλύτες και έλαια. Ως καύσιμο χρησιμοποιούνταν πετρέλαιο εξωτερικής καύσης (μαζούτ), το οποίο ήταν αποθηκευμένο σε υπόγειες και υπέργειες δεξαμενές και μεταφερόταν στις καμίνους μέσω υπόγειου συστήματος σωληνώσεων. Σε περιοχή όπου γινόταν επιφανειακή απόθεση υλικών εντοπίστηκαν κατάλοιπα πίσσας, οξέα, καυστικά υλικά,

απορρίμματα ελαίων, ιλύς αποθείωσης, πίσσα από τον πυθμένα δεξαμενών και μεταλλικά κατάλοιπα.

Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται τουλάχιστον 7 m κάτω από την επιφάνεια και συχνά αρκετά πιο βαθιά. Οι έρευνες έδειξαν ότι το έδαφος και το υπόγειο νερό στο χώρο ήταν ρυπασμένα με διαλύτες όπως τριχλωροαιθυλένιο (TCE) και τετραχλωροαιθάνιο (PCE), πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs) όπως βενζόλιο και ναφθαλίνη και μέταλλα. Ως «ρύποι δείκτες» επιλέχθηκαν το βενζόλιο για τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και η ναφθαλίνη για τις ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις (SVOCs). Βρίσκονται εκτεταμένα στο χώρο σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από το 1% της διαλυτότητάς τους, άρα πιθανώς και σε μη-υδατική φάση (NAPL). Οι Ρύποι Πιθανού Ενδιαφέροντος (Contaminants of Potential Concern – COPC) είναι 35: 6 μέταλλα, 8 πτητικές οργανικές ενώσεις και 21 ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις. Οι ρύποι μεταφέρθηκαν μέσω του διαρρηγμένου υποστρώματος βράχου στο βαθύτερο υδροφορέα, τόσο σε διαλυμένη φάση όσο και σε μη-υδατική φάση. Η συστηματική παρακολούθηση του υπόγειου νερού έδειξε ότι το πλούμιο της ρύπανσης είναι σταθερό και σε μεγάλο βαθμό περιορισμένο εντός του χώρου. Οι ρύποι έχουν μεταφερθεί εκτός του χώρου μόνο στο δυτικό όριο του χώρου, κατά μήκος του διαρρηγμένου βραχώδους υποστρώματος και σε βάθος 45-90 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η περαιτέρω μεταφορά των ρύπων δεν κρίνεται πιθανή, καθώς η κατεύθυνση της ροής του νερού είναι προς το εσωτερικό των ορίων του χώρου. Εντός του χώρου, υπάρχουν δύο περιοχές-πηγές ρύπου σε μορφή NAPL στις οποίες δεν είναι τεχνικώς εφικτό να επιτευχθούν οι οριακές συγκεντρώσεις και τα όρια των οποίων προσδιορίζονται με κριτήριο την υπέρβαση της συγκέντρωσης του ορίου στο πόσιμο νερό για το βενζόλιο (0,005 mg/l), καθώς αυτό αποτελεί τον αντιπροσωπευτικό ρύπο. Η μία εκ των δύο απαντάται στην περιοχή της παραγωγής οπτάνθρακα και έχει έκταση περίπου 834 στρέμματα και βάθος περίπου 152 m. Η δεύτερη περιλαμβάνει λεκάνες απόθεσης αποβλήτων και έχει έκταση 73 στρέμματα και βάθος 123 m. Οι παραπάνω ζώνες απεικονίζονται στο **Σχήμα 5.2.**



Σχήμα 5.2: Ζώνες όπου είναι τεχνικώς ανέφικτη η αποκατάσταση του υπόγειου νερού στο χώρο ISG Tecumseh Redevelopment Inc. (U.S. EPA, 2012b).

Οποιαδήποτε επεμβατική μέθοδος αποκατάστασης δεν κρίνεται τεχνικώς εφικτή για τις περιοχές όπου οι ρύποι συναντώνται σε μη-υδατική φάση. Επομένως, ως μέθοδος αποκατάστασης επιλέχθηκε η παρακολουθούμενη φυσική εξασθένηση για τους 35 ρύπους πιθανού ενδιαφέροντος που βρίσκονται σε διαλυμένη μορφή στις παραπάνω περιοχές, ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν μεταφέρονται έξω από αυτές σε μη-αποδεκτές συγκεντρώσεις. Παράλληλα, απαγορεύτηκε η χρήση του χώρου και του υπόγειου νερού ως πόσιμο για όσο οι συγκεντρώσεις των ρύπων υπερέβαιναν τα αποδεκτά όρια. Τα μέτρα για το ρυπασμένο έδαφος περιορίζονται στην περιοχή παραγωγής οπτάνθρακα. Αποφασίστηκε η τοποθέτηση αδιαπέρατου καλύμματος στο πιο κρίσιμο –ως προς πιθανότητα διαρροής ρύπων στο υπόγειο νερό- κομμάτι και η επίστρωση με εδαφικό υλικό στην υπόλοιπη περιοχή (ρυπασμένη με PAHs και ενώσεις BTEX), όπου δεν αναμένεται σοβαρός κίνδυνος διήθησης ρύπων.

4. Florida Steel Corp., Indiantown, Martin County, Florida (U.S. EPA, 1992a, 1994, 2013):

Η Florida Steel Corporation (τωρινή επωνυμία: Gerdau AmeriSteel) βρίσκεται στην περιοχή Martin County της πολιτείας της Φλόριντα, σε έκταση 607 στρεμμάτων η οποία απέχει 16 km από τη λίμνη Okeechobee, περίπου 3,2 km από το κανάλι St.Lucie και βρίσκεται εντός της λεκάνης απορροής του ποταμού Indian. Στο χώρο λειτουργούσε εγκατάσταση παραγωγής ράβδων χάλυβα από scrap σε κάμινο ηλεκτρικού τόξου από το 1970 έως το 1982. Υπάρχουν δύο

βασικοί υπόγειοι υδροφορείς στην περιοχή. Ο ρηχός (μη—αρτεσιανός) υδροφορέας εκτείνεται σε βάθη από τα 1,5 έως τα 45 m από την επιφάνεια του εδάφους και προμηθεύει με νερό την τοπική κοινότητα. Ο ρηχός υδροφορέας χωρίζεται σε δύο επιμέρους ζώνες (ζώνη I: έως βάθος 9m και ζώνη II: από 26 έως 45 m, με ενδιάμεσο στρώμα λεπτόκοκκης άμμου και αργίλου. Η ταχύτητα του υπόγειου νερού είναι περίπου 12-15 m/έτος, ενώ τα κοντινότερα πηγάδια πόσιμου νερού βρίσκονται σε απόσταση 800 m κατάντη του χώρου. Ο βαθύς (αρτεσιανός) υδροφορέας βρίσκεται σε βάθος 183 – 450 m από την επιφάνεια του εδάφους. Μεταξύ τους παρεμβάλλεται στρώμα άμμου και αργίλου χαμηλής διαπερατότητας.

Τρία ήταν τα βασικά παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας. Το πρώτο ήταν η σκωρία εξέλασης, αποτελούμενη από οξείδια σιδήρου από την ψύξη του χάλυβα. Το δεύτερο ήταν η σκωρία από την κάμινο ηλεκτρικού τόξου που περιέχει βάριο, χρώμιο και μόλυβδο. Τέλος, η σκόνη από το σύστημα ελέγχου ατμοσφαιρικών εκπομπών έχει ως βασικά συστατικά οξείδια σιδήρου, ψευδαργύρου και μολύβδου. Η διεργασία της χύτευσης μπιγιετών χάλυβα, περιλάμβανε υδραυλική μέθοδο κοπής και το χρησιμοποιούμενο υγρό περιείχε πολυχλωριωμένα διφαινύλια. Το υδραυλικό υγρό, μαζί με τα νερά ψύξης, αναμιγνύονταν με λιπαντικά έλαια, σκωρία εξέλασης και άλλα ιζήματα που κατακάθονταν σε δεξαμενές. Κοντά στις δεξαμενές, αλλά και στην περιοχή διάθεσης σκόνης από το σύστημα ελέγχου απαερίων, εντοπίστηκε ρύπανση από PCBs στο έδαφος και σε ιζήματα, σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 50 mg/kg. Από το σύστημα αποσκλήρυνσης του νερού προέκυψε ρύπανση του υπόγειου νερού με νάτριο και ράδιο (πιθανώς λόγω αύξησης της εκπλυσιμότητας του περιεχομένου του μητρικού πετρώματος).

Το αρχικό πλούμιο της ρύπανσης για τη ζώνη I του ρηχού υδροφορέα εκτεινόταν σε περίπου 138 στρέμματα (αναφέρεται μέγιστη απόσταση 180 m πέραν του νοτίου άκρου της ιδιοκτησίας) και σε βάθος περίπου 9 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ για τη ζώνη II του ρηχού υδροφορέα σε έκταση περίπου 10 στρέμματα και βάθος 40 m από την επιφάνεια του εδάφους. Οι πρωτεύοντες ρύποι ενδιαφέροντος (Primary Contaminants of Concern) για το έδαφος είναι ο μόλυβδος (17000 mg/kg), το κάδμιο (380 mg/kg) και τα PCBs (1100 mg/kg) και για το υπόγειο νερό ο μόλυβδος (0,742 mg/L), το κάδμιο (0,038 mg/L), τα ραδιονουκλίδια gross alpha (98±83 pCi/L), ράδιο-226 (91 pCi/L) και 228 (δίνεται συγκέντρωση για ράδιο 226 και 228 μαζί: 141 pCi/L), το νάτριο (1310 mg/L) και το βάριο. Για το επιφανειακό νερό ορίστηκαν ως ρύποι ενδιαφέροντος ο μόλυβδος (0,031 mg/L), το κάδμιο, ο σίδηρος και ο ψευδάργυρος (0,115 mg/L) ενώ για τα ιζήματα ο μόλυβδος (667 mg/kg), το κάδμιο (8 mg/kg) και τα PCBs.

Για το εδαφικό υλικό που ήταν ρυπασμένο με PCBs, αποφασίστηκε εκσκαφή και αποτέφρωση και, καθώς η τέφρα περιείχε βαρέα μέταλλα, στερεοποίηση σε ειδική εγκατάσταση. Επιπλέον, ορίστηκε εκσκαφή και επι-τόπου στερεοποίηση σκόνης συστήματος απαερίων, εδαφικού υλικού και ιζημάτων με περιεχόμενο σε μόλυβδο (συγκέντρωση πάνω από 600 mg/kg), PCBs (συγκεντρώσεις 25-50 mg/kg) και σκωρίας με συγκέντρωση μολύβδου πάνω από 1360 mg/kg ή πάνω από 5 mg/l κατά τη δοκιμή TCL, αλλά και συγκέντρωση χρωμίου πάνω από 1 mg/l κατά τη δοκιμή TCLP. Στη συνέχεια, ορίστηκε τοποθέτηση επικάλυψης πάνω από τα στερεοποιημένα

υλικά. Για το υπόγειο νερό, επιλέχθηκε άντληση από τον επιφανειακό και τον βαθύ υδροφορέα, ανάμιξη με καθαρό νερό μέχρις ότου επιτευχθούν συγκεντρώσεις εντός των αποδεκτών ορίων για το πόσιμο νερό και έπειτα διάθεση στο πεδίο μέσω ψεκασμού. Συστηματική παρακολούθηση πιθανώς να χρειαστεί έως και για 30 χρόνια.

Πίνακας 5.2: Περιστατικά ρύπανσης που συνδέονται με βιομηχανίες χάλυβα από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος

Κωδικοί δραστ/των	Περιστατικό	Προϊόντα χάλυβα	Διεργασίες - Εγκαταστάσεις	Πηγή ρύπανσης	Ρυπασμένο μέσο	Ρύποι	Συγκέντρωση στο υπόγειο νερό (mg/l)	Συγκέντρωση σε ξηρό έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)	Όριο στο πόσιμο νερό (mg/l)	Ολλανδικά όρια επέμβασης (mg/kg ξηρού εδάφους)	Μέτρα αποκατάστασης
Δ1, Δ3, Δ7, Δ9	**Continental Steel Corp., Kokomo, Howard County, Indiana (USEPA, 1996, 1998)**	καρφιά, σύρμα και συρματόπλεγμα από σκραπ χάλυβα	εγκαταστάσεις αναθέρμανσης, χύτευσης, έλασης, κοίλανσης, αποσκωρίωσης, γαλβανίσματος, επικασσιτέρωσης, ανόπτησης, δεξαμενές επεξεργασίας όξινων λυμάτων, περιοχές διάθεσης αποβλήτων και επεξεργασίας σκωρίας	απόβλητα υγρών αποσκωρίωσης, λάσπη	έδαφος, ιζήματα, υπόγειο νερό, επιφανειακό νερό	τριχλωροαιθυλένιο	2/5,1/0,71	5,6/0,19	0,005	2,5	αφαίρεση σκόνης ρυπασμένης με μόλυβδο από το εσωτερικό κτιρίων, μονωτικών και άλλων υλικών με αμίαντο, ξύλινων πατωμάτων ρυπασμένων με PCB's και διάθεσή τους σε εγκεκριμένες εγκαταστάσεις, άντληση νερού από πλημμυρισμένους υπόγειους χώρους, επίχωση και επικάλυψη λάκκων
						τετραχλωροαιθυλένιο	1,9/0,1/0,13	1,6/0,025	0,005	8,8	
						cis-1,2-διχλωροαιθένιο	0,88/1,9/4,7	-	0,07	1	
						βινυλοχλωρίδιο	0,11/0,15/0,33	-	0,002	-	
				ελαιώδη απόβλητα		PCBs	6,4/-/-	30/9,3	0,0005	0,01	
						βενζο(b)φλουορανθένιο	-	1,6/-	-	40[7]	
						βενζο(ghi)περιλένιο	-	4/2,4	0,0003[9]	40[7]	
						βενζο(k)φλουορανθένιο	-	1,1/-	0,0004[9]	40[7]	
						βενζο(a)ανθρακένιο	-	16/14	0,0001[9]	40[7]	
						βενζο(α)πυρένιο	-	8,8/5,8	0,0002	40[7]	
						χρυσένιο	-	30/11	0,003[9]	40[7]	
						διβενζο(a,h)ανθρακένιο	-	20/-	-	40[7]	
						ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο	-	21/22	0,0004[9]	40[7]	
						πυρένιο	-	16/6,3	-	40[7]	
				σκόνη φίλτρων αέρα		χρώμιο	0,0005/-/-	2800/890	0,1	180(III)/78(VI)	
						μόλυβδος	0,07/0,05/0,07	39000/3600	0,015	530	
						κάδμιο	0,12/-/0,011	83/89	0,005	13	
						σίδηρος	0,003/-/0,0003	78800/26300	0,3[3]	-	
						αρσενικό	3050/13,9/3050	89/65	0,01	76	
						ψευδάργυρος	0,014/0,008/0,003	92500/4100	5[3]	720	
Δ4, Δ7, Δ9	**Jackson Steel, Mineola/ North Hempstead, New York (USEPA, 2004a, 2007)**	προϊόντα χάλυβα εξέλασης	εργασίες απολίπανσης μεταλλικών προϊόντων	απόρριψη διαλυτών & αποβλήτων σε απορροφητικούς βόθρους, διήθηση νερών έκπλυσης στο έδαφος, διαρροές από βαρέλια, δεξαμενές πρώτων υλών & αποβλήτων	έδαφος και υπόγειο νερό	τετραχλωροαιθυλένιο	0,086	19	0,005	8,8	επί τόπου άντληση εδαφικού αέρα για αφαίρεση VOCs από την ακόρεστη ζώνη, επί τόπου χημική οξείδωση στο ρηχό υδροφορέα, εκσκαφή & απόθεση για επεξεργασία του ρυπασμένου επιφανειακού εδάφους, πλύσεις με πίεση και απόξεση δαπέδων στα κτίρια - μεταφορά στερεών αποβλήτων και νερών έκπλυσης σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας
						τριχλωροαιθυλένιο	0,2	1	1,4	2,5	
						βενζο(α)πυρένιο	-	4,6	0,0002	40[7]	
						βενζόλιο	0,0011	0,022	0,005	1,1	
						αρσενικό	0,014	62,5	0,01	76	
						μαγγάνιο	7,07	410	0,3	-	
						σίδηρος	66	29000	0,3[3]	-	

Πίνακας 5.2. (συνέχεια): Περιστατικά ρύπανσης που συνδέονται με βιομηχανίες χάλυβα από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος

Κωδικοί δραστ/των	Περιστατικό	Προϊόντα χάλυβα	Διεργασίες - Εγκαταστάσεις	Πηγή ρύπανσης	Ρυπασμένο μέσο	Ρύποι	Συγκέντρωση στο υπόγειο νερό (mg/l)	Συγκέντρωση σε ξηρό έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)	Όριο στο πόσιμο νερό (mg/l)	Ολλανδικά όρια επέμβασης (mg/kg ξηρού εδάφους)	Μέτρα αποκατάστασης
Δ1, Δ2, Δ3, Δ4, Δ5, Δ7, Δ9	**ISG Tecumseh Redevelopment Inc. (formerly Bethlehem Steel Corp.), Pensylvania (USEPA, 2012b, 2015)**	παραγωγή ημιτελών και τελικών προϊόντων χάλυβα	παραγωγή οπτάνθρακα	έλαια έκπλυσης, νερά ψύξης, αμμωνιακόν ύδωρ, όξινη λάσπη από διεργασίες φινιρίσματος με PAHs, άλλα απόβλητα	Υπόγειο νερό, έδαφος, πτητικά εδάφους	μόλυβδος	0,021	12500	0,015	530	- για το έδαφος: τοποθέτηση αδιαπέρατων προστατευτικών καλυμμάτων στην περιοχή οπτάνθρακα, επικάλυψη με εδαφικό υλικά στα υπόλοιπα ρυπασμένα τμήματα (PAHs & BTEX) - για το υπόγειο νερό: φυσική εξασθένηση και έλεγχος πλουμίων ρύπανσης όπου είναι τεχνικώς ανέφικτη η αποκατάσταση, θεσμικούς ελέγχους ώστε να μην γίνεται χρήση νερού ως πόσιμο από την περιοχή (η ύπαρξη ρύπων σε μορφή NAPL καθιστά αναποτελεσματική όποια επέμβαση) - για τα πτητικά εδάφους (soil vapor): εκσκαφή και απομάκρυνση εδάφους και πληρωτικών υλικών που υπερβαίνουν όρια ρύπανσης σε μια ακτίνα 100 ποδιών από χώρους που περιλαμβάνουν κτίρια (υπάρχοντα ή υπό σχέδιο), έλεγχος με μηχανικά μέσα όπως φράγματα ατμών, εξαερισμό κάτω από πλάκες κτιρίων
						υδράργυρος	0,047	-	0,002	36	
						σελήνιο	0,147	27	0,05	100	
						θάλλιο	0,059	183	0,002	15	
						κυανίδια	1690	-	0,200	50	
						βενζόλιο	1600	33	0,005	1,1	
						τολουόλιο	150	165	1	110	
						αιθυλβενζόλιο	5,8	87,9	0,7	110	
						ολικά ξυλόλια	85	-	10	17	
			κοπή, ψυχρή - θερμή έλαση, σφυρηλάτηση, φινίρισμα, εγκαταστάσεις αποθήκευσης /απόθεσης πρώτων υλών και αποβλήτων	πετρέλαιο σε υπόγειες /υπέργειες δεξαμενές, κατάλοιπα πίσσας, οξέα, καυστικά υλικά, απορρίμματα ελαίων, ιλύς αποθείωσης, κατάλοιπα μετάλλων, διαλύτες		βενζόλιο	1600	33	0,005	1,1	
						1,1-διχλωροαιθυλένιο	0,016	-	0,007	0,3	
						τριχλωροαιθυλένιο	0,3	14	0,005	2,5	
						ναφθαλίνη	960	17000	0,1	40[7]	
						μόλυβδος	0,021	12500	0,015	530	
						τετραχλωροαιθυλένιο	-	4,4	0,005	8,8	

Πίνακας 5.2. (συνέχεια): Περιστατικά ρύπανσης που συνδέονται με βιομηχανίες χάλυβα από την Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος

Κωδικοί δραστ/ των	Περιστατικό	Προϊόντα χάλυβα	Διεργασίες - Εγκαταστάσεις	Πηγή ρύπανσης	Ρυπασμένο μέσο	Ρύποι	Συγκέντρω-ση στο υπόγειο νερό (mg/l)	Συγκέντρω-ση σε ξηρό έδαφος (mg /kg ξηρού εδάφους)	Όριο στο πόσιμο νερό (mg/l)	Ολλανδικά όρια επέμβασης (mg/kg ξηρού εδάφους)	Μέτρα αποκατάστασης
Δ3, Δ5	**Florida Steel Corporation, Indiantown, Martin County, Florida (U.S. EPA 1992a, 1994, 2013)**	ράβδοι χάλυβα από scrap σε κάμινο ηλεκτρικού τόξου	κάμινος ηλεκτρικού τόξου, έλαση και χύτευση	σκωρία εξέλασης, σκωρίου καμίνου ηλεκτρικού τόξου, σκόνη συστήματος απαερίων	έδαφος, υπόγειο νερό, επιφανεια-κό νερό, ιζήματα	μόλυβδος	0,007-0,742	4-17000	0,015	530	- Για το εδαφικό υλικό-ρυπασμένο με PCBs: εκσκαφή, αποτέφρωση και στερεοποίηση τέφρας - Εκσκαφή και επι-τόπου στερεοποίηση σκόνης συστήματος απαερίων, εδαφικού υλικού και ιζημάτων με συγκέντρωση σε: μόλυβδο >600 mg/kg, PCBs 25-50 mg/kg και σκωρίας με συγκέντρωση σε: μόλυβδο >1360 mg/kg (ή > 5 mg/L κατά τη δοκιμή TCLP), χρώμιο > 1 mg/L κατά τη δοκιμή TCLP. Τοποθέτηση επικάλυψης - Για το υπόγειο νερό, άντληση, ανάμιξη με καθαρό νερό και διάθεση στο πεδίο μέσω ψεκασμού. Συστηματική παρακολούθηση
						κάδμιο	0,001-0,038	2-380	0,005	13	
						ψευδάργυρος	0,11-13	32-110000	5[3]	720	
				υγρό κοπής κατά τη χύτευση		PCBs	-	1-1100	0,0005	0,01	
				διεργασίες αποσκλήρυνσης νερού		gross alpha	1±7 - 98±83*	-	15*	-	
						ράδιο-226	1-91*	-	5 *	-	
						ράδιο 226+228	1,6 - 141*	-	5 *	-	
						νάτριο	66-1310	-	30-60[4]	-	

VOCs: Volatile Organic Compounds - Πτητικές Οργανικές Ενώσεις, SVOCs: Semi-Volatile Organic Compounds - Ημιπτητικές Οργανικές Ενώσεις, PAHs: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons - Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες, PCBs: Polychlorinated biphenyls - Πολυχλωριωμένα διφαινύλια

[1] MCL=Maximum Contaminant Levels, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[2] HAL=Health Advisory Level (Lifetime) , Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[3] SCML=Secondary Maximum Contaminant Levels, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[4] Drinking Water Advisory, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[5] MCL για το ολικό χρώμιο, δεν δίνονται για III & IV, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[6] Intervention Values-Soil, Source: Rijkswaterstaat Ministry of Infrastructure and the Environment, (2013), Soil Remediation Circular 2013, http://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and/

[7] Δεν δίνονται επιμέρους τιμές, αλλά συνολικά για PAHs

[8] Δεν δίνεται όριο για ολικούς PAHs, το αυστηρότερο είναι για το βενζο-ανθρακένιο: 0,0001 mg/l

* τιμή σε pCi/L

5.4. Συμπεράσματα κεφαλαίου

Όπως αναμέναμε από την αναζήτηση στη βιβλιογραφία (στοιχεία **Πίνακα 5.1.**), οι βιομηχανίες παραγωγής χάλυβα και χαλύβδινων προϊόντων συνδέονται με μεγάλη ποικιλία ρύπων, τόσο ανόργανων, όσο και οργανικών. Οι κατηγορίες ενώσεων που κυρίως εντοπίζονται είναι τα μέταλλα και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Τα πρώτα, συνδέονται τόσο με την βασική παραγωγή σιδήρου και χάλυβα όσο και με την πραγματοποίηση διεργασιών περαιτέρω επεξεργασίας και φινιρίσματος. Έτσι, βαρέα μέταλλα εντοπίστηκαν και στα τέσσερα (4) περιστατικά που εξετάστηκαν. Συχνότερα εμφανίστηκε ο μόλυβδος –σε τρία (3) από τα τέσσερα (4) περιστατικά– και ακολούθως, το αρσενικό, το κάδμιο, ο σίδηρος και ο ψευδάργυρος. Ως προς τις οργανικές ενώσεις, κυρίως συνδέονται με τις διεργασίες καθαρισμού και επιμετάλλωσης, και αυτό επιβεβαιώνεται στα τρία (3) από τα τέσσερα (4) περιστατικά, όπου πραγματοποιούνταν διεργασίες απολίπανσης, αποσκωρίωσης, επιμετάλλωσης κ.ά. Στο τέταρτο περιστατικό (**Florida Steel Corporation**), όπου πραγματοποιούνταν παραγωγή ράβδων χάλυβα μέσω χύτευσης και έλασης με υδραυλική μέθοδο κοπής, δεν εμφανίζονται οργανικοί διαλύτες ως κύριοι ρύποι. Μια ακόμη ιδιαιτερότητα αυτού του περιστατικού είναι το γεγονός ότι στους ρύπους ενδιαφέροντος ανήκουν ενώσεις από την κατηγορία των ραδιονουκλιδίων, τα οποία δεν αναφέρονται στη βιβλιογραφία, σε σχέση με τη βιομηχανία χάλυβα. Σύμφωνα με την απόφαση αποκατάστασης, οι ενώσεις αυτές, που πιθανώς προϋπήρχαν στο υπέδαφος, διέρρευσαν είτε μέσω της αντίδρασης με χλωριούχο νάτριο, είτε μέσω αντιδράσεων ιοντοανταλλαγής με ενώσεις που χρησιμοποιούνταν σε διεργασίες αποσκλήρυνσης του νερού.

Πέρα από τα παραπάνω, στις χαλυβουργίες συναντάμε πολυχλωριωμένους αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs) αλλά και πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs). Οι πρώτοι εμφανίζονται σε διεργασίες παραγωγής οπτάνθρακα ή σε διεργασίες όπου χρησιμοποιούνται παραπροϊόντα του πετρελαίου ή γίνεται καύση ορυκτών καυσίμων. Έτσι, εντοπίστηκαν στα τρία (3) από τα τέσσερα (4) περιστατικά. Ως προς τα PCBs, εμφανίστηκαν στα περιστατικά σε διεργασίες που περιλαμβάνουν έλαια κοπής (έλαση).

Η εξάπλωση της ρύπανσης είναι αρκετά σημαντική, αν και συνήθως δεν ξεπερνά κατά πολύ τα όρια των ιδιοκτησιών των βιομηχανιών. Η απόσταση όπου εντοπίζονται οι ρύποι είναι της τάξεως των μερικών εκατοντάδων μέτρων, όπως για παράδειγμα περίπου 200 m από την πηγή στο χώρο της **Florida Steel Corp.**, ενώ 1100 m στο χώρο της **Continental Steel Corp.** Επιπλέον, παρατηρούμε δημιουργία ζωνών «τεχνικώς ενέφικτης» αποκατάστασης, λόγω της ύπαρξης οργανικών διαλυτών και πτητικών οργανικών ενώσεων, οι οποίες λαμβάνουν μεγάλη έκταση και εξαπλώνονται σε βάθος (π.χ. 150 m στο χώρο της **ISG Tecumseh Redevelopment Inc.**). Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι οι οργανικές ενώσεις έχουν την τάση να εξαπλώνονται περισσότερο σε σχέση με τις ανόργανες, γεγονός που καθιστά τις χαλυβουργίες, γενικά, πιο ρυπογόνες. Βλέπουμε συγκεκριμένα, στο περιστατικό του χώρου **Jackson Steel**, τα μέταλλα που εντοπίστηκαν στο έδαφος περιορίζονται σε μικρότερα βάθη σε σχέση με τις VOCs.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

6.1. Εισαγωγή

Η χρήση άλλων μετάλλων πλην του χάλυβα σε κατασκευές είναι κάπως περιορισμένη, με εξαίρεση το αλουμίνιο. Η βιομηχανική παραγωγή του αλουμινίου ξεκίνησε πριν από περίπου 100 χρόνια, αποτελεί επομένως ένα σχετικώς νέο μέταλλο, και σήμερα χρησιμοποιείται με τη μορφή κραμάτων σε δομικές εφαρμογές με δευτερεύοντα χαρακτήρα (π.χ. στέγαστρα, πόρτες, παράθυρα και πλαίσια αυτών κ.τ.λ.). Σε ορισμένες χώρες (π.χ. Η.Π.Α.) η χρήση του έχει επεκταθεί και στην κατασκευή γεφυρών, υποστυλωμάτων, δοκών, δικτυωμάτων κ.τ.λ. (Τριανταφύλλου, 2013).

6.2. Γενικά στοιχεία βιομηχανίας αλουμινίου. Σύνδεση της βιομηχανίας με ρύπους μέσω της βιβλιογραφίας

Το αλουμίνιο βρίσκεται στη φύση σε ορυκτά, το πιο συνηθισμένο από τα οποία είναι ο βωξίτης (ονομάστηκε έτσι επειδή τα πρώτα κοιτάσματα ανακαλύφθηκαν στην πόλη Les Beaux της Γαλλίας), που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος στην Ελλάδα. Ο βωξίτης αποτελείται από ένυδρο οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3 $2H_2O$) με προσμίξεις Fe_2O_3, TiO_2 και SiO_2, με περιεκτικότητα σε Al_2O_3 (που λέγεται και «αλουμίνα») γύρω στο 55-56% (Τριανταφύλλου, 2013). Η παραγωγή του αλουμινίου μπορεί να είναι πρωτογενής, με αξιοποίηση του βωξίτη, ή δευτερογενής, από την επανάτηξη scrap το οποίο προέρχεται είτε από ανακύκλωση προϊόντων, είτε από υπολείμματα κοπής κατά την παραγωγική διαδικασία προϊόντων αλουμινίου. Το καθαρό αλουμίνιο χρησιμοποιείται σπανίως, ενώ συνηθέστερα είναι τα κράματά του με χαλκό, μαγνήσιο, μαγγάνιο, σίδηρο, πυρίτιο, ψευδάργυρο και νικέλιο (Τριανταφύλλου, 2013).

6.2.1. Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου

Κατά την πρωτογενή παραγωγή αλουμινίου, η αλουμίνα εξάγεται από τον ορυκτό βωξίτη μέσω της υδρομεταλλουργικής μεθόδου Bayer. Τα οξείδια του αργιλίου απελευθερώνονται με την χρήση ενός διαλύματος καυστικής σόδας ή καυστικού νατρίου, το οποίο ανακυκλώνεται στη διεργασία (U.K. EA, 1996d). Προκύπτει ως απόβλητο «ερυθρά ιλύς», η οποία περιλαμβάνει τις ανεπιθύμητες προσμείξεις που αφαιρούνται κατά τη διεργασία και επομένως αποτελείται κυρίως από οξείδια και υδροξείδια αλουμινίου, ασβεστίου, σιδήρου, τιτανίου και πυριτίου. Η ερυθρά ιλύς αποτελεί ένα από τα βασικά παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας και η διάθεσή της απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, λόγω της υψηλής αλκαλικότητάς της και των ιδιαίτερα μεγάλων ποσοτήτων που παράγονται (U.S. EPA, 1995a, Βαλαβανίδης & Ευσταθίου, 2014). Στη συνέχεια, μέσω της ηλεκτρόλυσης της αλουμίνας με τη μέθοδο Hall-Héroult παράγεται καθαρό αλουμίνιο ή κράμα αλουμινίου. Η μέθοδος λαμβάνει χώρα σε ηλεκτρολυτικά κελιά, χαλύβδινα δοχεία τα οποία είναι επενδεδυμένα με άνθρακα. Η άνοδος αποτελείται από σκόνη κωκ πετρελαίου με ανθρακόπισσα ή άσφαλτο ως συνδετικό υλικό, ενώ η κάθοδος από σκόνη ανθρακίτη με ανθρακόπισσα ή άσφαλτο και πάλι ως συνδετικό και η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης πραγματοποιείται μέσα σε λουτρό κρυολίθου. Η επένδυση με άνθρακα είναι απαραίτητη λόγω της ιδιαιτέρως διαβρωτικής φύσης του μείγματος του λουτρού. Διαφόρων ειδών απόβλητα προκύπτουν κατά την παραγωγική διαδικασία (U.K. EA, 1996d). Πέρα από την ερυθρά ιλύ που ήδη αναφέρθηκε, ιδιαίτερα σημαντική είναι η διάθεση εξοφλημένων λεκανών ηλεκτρόλυσης (spent pot linings – SPL) που αναφέρονται ως επικίνδυνο απόβλητο και τα οποία περιέχουν κυανιούχο νάτριο. Αυτό παράγεται από την αντίδραση ανάμεσα σε αζωτούχες ενώσεις, που βρίσκονται στον ανθρακίτη που χρησιμοποιείται στην παραγωγή καθόδων, και σε ενώσεις νατρίου και απορροφάται από την επένδυση κατά την ηλεκτρόλυση. Η αντικατάσταση των καθόδων και της πυρίμαχης επένδυσης γίνεται περίπου κάθε 6-7 χρόνια. Επιπλέον, μια σειρά από εκπομπές διαφόρων ειδών ρύπων, είτε αερομεταφερόμενων, είτε υδατοδιαλυτών προκύπτουν τόσο από τα κελιά ηλεκτρόλυσης όσο και από την παραγωγή των ανόδων, οι οποίες μπορεί να είναι είτε προψημένες –σε χωριστή εγκατάσταση στο χώρο του εργοστασίου- είτε να παράγονται επιτόπου εντός των κελιών ηλεκτρόλυσης (Moors, 2006, U.S. EPA, 1995a). Συγκεκριμένα, από το λουτρό κρυολίθου (έχει ως βάση φθορίδιο του αργιλίου και του νατρίου) προκύπτουν εκπομπές φθοριούχων ενώσεων σε αέρια και σωματιδιακή κατάσταση. Επίσης, από τις παραπάνω διεργασίες αλλά και την καύση ορυκτών καυσίμων πραγματοποιούνται εκπομπές πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHs), σκόνης άνθρακα, διοξειδίου του θείου και του άνθρακα και υπερφθορανθράκων (perfluorocarbons – PFCs). Καθώς οι εγκαταστάσεις διαθέτουν συστήματα συλλογής αερίων με υγρό καθαρισμό (wet scrubbers), προκύπτουν υγρά απόβλητα ρυπασμένα με οξέα, φθοριούχες ενώσεις και οργανικό φορτίο (Moors, 2006).

6.2.2. Δευτερογενής παραγωγή αλουμινίου

Κατά τη δευτερογενή παραγωγή αλουμινίου, χρησιμοποιείται τόσο αλουμίνιο από ανακύκλωση προϊόντων (old scrap), όσο και αποκόμματα από τη διαδικασία πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου (new scrap). Το σκραπ αλουμινίου συλλέγεται, διαχωρίζεται μαγνητικά από άλλα σιδηρούχα υλικά, απολιπαίνεται, αφαιρούνται τα επιχρίσματα ή υπολείμματα βαφής ή πλαστικού με θερμική κατεργασία και συμπιέζεται. Ως συλλιπάσματα χρησιμοποιούνται νάτριο και χλωριούχο κάλιο με φθοριούχα. Τα παραπροϊόντα της δευτερογενούς τήξης είναι κυρίως αέριες εκπομπές: αιθάλη από την καύση ελαιούχων απορριμμάτων κοπής, εκπομπές αλάτων που προέρχονται από τα χλωριούχα συλλιπάσματα καθώς και εκπομπές σκόνης αλουμινίου και χλωριούχου μαγνησίου, από προσμίξεις μαγνησίου, οι οποίες υδρολύονται παράγοντας υδροχλωρικό οξύ. (U.K. EA, 1996d, U.S. EPA, 1995a). Επιπλέον, η δευτερογενής εξαγωγή αλουμινίου, συνδέεται με εκπομπές πολυβρωμιωμένων διβενζο-p-διοξινών και διβενζοφουρανίων (PBDD/Fs), σε συγκρίσιμες –ή και μεγαλύτερες– τιμές σε σχέση με την θερμοσυσσωμάτωση σιδηρομεταλλευμάτων ή με διεργασίες χαλυβουργίας. Η ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων αυξάνεται όσο αυξάνεται η αναλογία «παλαιού» προς «νέο» σκραπ, καθώς στο παλαιό σκραπ είναι πιθανότερο να περιέχονται οργανικά υπολείμματα όπως πλαστικά, βαφές και διαλύτες, κατά την ατελή καύση των οποίων παράγονται οι διοξίνες και τα φουράνια (Wang et al., 2016). Εναλλακτικά, στη δευτερογενή παραγωγή αλουμινίου, μπορεί να αξιοποιείται η επιπλέουσα σκωρία (black dross) που παράγεται κατά τη διάρκεια της τήξης (U.S. EPA, 1995a). Η σκωρία αλουμινίου, η οποία αποτελείται κυρίως από κράμα αλουμινίου και οξειδίων του αλουμινίου, ανακυκλώνεται για ανάκτηση μετάλλου και το παραγόμενο προϊόν αποτελείται κατά 70% περίπου από αλουμίνιο. Η σκωρία πρέπει να αποθηκεύεται σε ξηρές συνθήκες για να μην απορροφήσει υγρασία και να μην απελευθερώσει όξινους ατμούς ή υδρογόνο (U.K. EA, 1996d).

6.2.3. Παραγωγή τελικών προϊόντων από αλουμίνιο

Για την παραγωγή των τελικών προϊόντων αλουμινίου, πραγματοποιούνται μια σειρά από διεργασίες που μπορεί να είναι μηχανικές, θερμικές ή χημικές και στη διάρκεια των οποίων συναντώνται ρυπογόνες ουσίες, είτε ως πρώτες ύλες, είτε ως απόβλητα. Στις διεργασίες αυτές συμπεριλαμβάνονται διεργασίες κοπής και μορφοποίησης, διεργασίες καθαρισμού και προετοιμασίας επιφάνειας και, τέλος, επιμετάλλωσης και φινιρίσματος (U.S. EPA, 1995b).

Απόβλητα προκύπτουν από την απόρριψη των εξοφλημένων λουτρών που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες επιμετάλλωσης, από τις δεξαμενές έκπλυσης των προϊόντων και από τα νερά ψύξης που χρησιμοποιούνται τόσο κατά τη χύτευση όσο και σε διάφορες μηχανικές επεξεργασίες. Κατά την θερμή και την ψυχρή έλαση, χρησιμοποιείται σαπουνέλαιο (μείγμα

νερού και λαδιού) ως ψυκτικό μέσο και κηροζίνη ως βοηθητικό μέσο. Κατά την ανόπτηση, δηλαδή την ανάκτηση των μηχανικών ιδιοτήτων του μετάλλου μετά την έλαση, αλλά και κατά τις διεργασίες κοπής και μορφοποίησης, δεν παράγονται υγρά απόβλητα, αλλά προκύπτουν ρινίσματα μετάλλων. Κατά την ανοδίωση, η οποία αποτελεί ηλεκτρολυτική διεργασία η οποία προσδίδει επικάλυψη ανθεκτική σε οξέα, γίνεται χρήση χρωμικού, θειικού και βορικο-θειικού οξέος, καθώς και οξικού νικελίου ή οξικού μείγματος νικελίου-κοβαλτίου για τη στεγανοποίηση της επικάλυψης.

Οι χημικές διεργασίες του αλουμινίου περιλαμβάνουν την απολίπανση, την αποξείδωση, την επιχρωμάτωση, τη φωσφάτωση και την ηλεκτροστατική βαφή. Συγκεκριμένα, κατά την απολίπανση χρησιμοποιείται καυστικό νάτριο και γλυκονικό οξύ, υδροχλωρικό οξύ, θειικό οξύ, φωσφορικό οξύ και φθοριούχα άλατα, κατά την χρωμάτωση χρωμικό οξύ (εξασθενές χρώμιο) και κατά την ηλεκτροστατική βαφή, πούδρα πολυεστερικών χρωμάτων. Κατά τη βαφή προϊόντων γίνεται χρήση μιας σειράς από διαλύτες όπως βενζόλιο, μεθυλαιθυλοκετόνη, μεθυλοϊσοβουτυλοκετόνη, τολουόλιο, ξυλόλια, 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο, τετραχλωροαιθένιο, τετραχλωράνθρακας και διχλωρομεθάνιο. Το ρυπαντικό φορτίο που προκύπτει είναι τόσο οργανικό, όσο και ανόργανο και μπορεί να περιλαμβάνει λάδια, γράσα, λίπη, οργανικούς διαλύτες, οξέα, βάσεις και άλατα, κυανιούχα, χλωριόντα, φωσφορικά, νιτρικά και βαρέα μέταλλα. Τέλος, σημαντικά απόβλητα προκύπτουν με τη μορφή λάσπης από τα συστήματα καταβύθισης των βαρέων μετάλλων (χημική καταβύθιση) των υγρών αποβλήτων, με υψηλή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα (Παπαδόπουλος κ.ά., 2002, U.S. EPA, 1995b).

Τα παραπάνω στοιχεία συνοψίζονται στον **Πίνακα 6.1.**, όπου παρουσιάζονται οι πιθανές πηγές ρύπανσης και οι αντίστοιχοι ρύποι για καθένα από τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας που ακουλουθείται στη βιομηχανία αλουμινίου.

Πίνακας 6.1: Ρύποι ανά στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας αλουμινίου, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Παραγωγική διαδιακασία	Διεργασία	Ρυπογόνες ουσίες		Ρύποι
		Πρώτες ύλες	Απόβλητα - Εκπομπές	
Πρωτογενής παραγωγή	Εξαγωγή αλουμίνας από βωξίτη	ορυκτός βωξίτης, διάλυμα καυστικής σόδας/ καυστικού νατρίου	ερυθρά ιλύς (περιέχει οξείδια/υδροξείδια αλουμινίου, ασβεστίου, σιδήρου, τιτανίου, πυριτίου)	αλουμίνιο, ασβέστιο, σίδηρος, τιτάνιο, πυρίτιο
	Εξευγενισμός αλουμίνας	αλουμίνα, ηλεκτρολυτικά κελιά, άνοδοι-κάθοδοι άνθρακα (σκόνη κωκ πετρελαίου/σκόνη ανθρακίτη με ανθρακόπισσα ή άσφαλτο), κρυόλιθος	εξοφλημένες λεκάνες ηλεκτρόλυσης, σκωρία	κυανιούχο νάτριο, φθοριούχες ενώσεις, PAHs
Δευτερογενής παραγωγή		scrap αλουμινίου, επιπλέουσα σκωρία, συλλιπάσματα (νάτριο, χλωριούχο κάλιο, φθοριούχα)	σκωρία, σκόνη αλουμινίου, υδροχλωρικό οξύ, διοξίνες - φουράνια	μαγνήσιο, χλωρίδια
Παραγωγή τελικών προϊόντων - φινίρισμα	Κοπή - μορφοποίηση		λουτρά έκπλυσης, έλαια κοπής, σαπουνέλαιο, κηροζίνη, ρινίσματα μετάλλων	
	Καθαρισμός - προετοιμασία επιφάνειας (απολίπανση, αποξείδωση)	καυστικό νάτριο, γλυκονικό οξύ, υδροχλωρικό οξύ, θειικό οξύ, φωσφορικό οξύ, φθοριούχα άλατα		νάτριο, θειικά, φωσφορικές ενώσεις, φθορίδια,
	Επιμετάλλωση - φινίρισμα (φωσφάτωση, χρωμάτωση, ηλεκτροστατική βαφή, ανοδίωση)	χρωμικό, θειικό, βορικό-θειικό οξύ, οξικό νικέλιο, οξικό μείγμα νικελίου-κοβαλτίου, πούδρα πολυεστερικών χρωμάτων, διαλύτες	λάδια, γράσο, λίπη, οργανικοί διαλύτες, οξέα, βάσεις, άλατα, κυανιούχα, χλωριόντα, φωσφορικά, νιτρικά, βαρέα μέταλλα	βενζόλιο, μεθυλαιθυλοκετόνη, μεθυλοϊσοβουτυλοκετόνη, τολουόλιο, ξυλόλια, 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο, τριχλωροαιθένιο, τετραχλωράνθρακας, διχλωρομεθάνιο, χρώμιο, θειικά, νικέλιο, κοβάλτιο

6.3. Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες αλουμινίου

Η βιβλιογραφία έχει να επιδείξει μια σειρά από περιπτώσεις ρύπανσης του υπεδάφους η οποία αποδίδεται στη λειτουργία βιομηχανιών παραγωγής αλουμινίου και τελικών προϊόντων από αλουμίνιο. Οι ρύποι που ανιχνεύονται προκύπτουν είτε από επικάθιση σωματιδίων που διαφεύγουν μέσω ατμοσφαιρικών εκπομπών κατά την εξαγωγή του αλουμινίου με τήξη, είτε μέσω διάθεσης παραπροϊόντων και αποβλήτων της παραγωγικής διαδικασίας. Οι περισσότερες περιπτώσεις ρύπανσης συνδέονται με τα βασικά παραπροϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας που είναι η «ερυθρά ιλύς» και οι εξοφλημένες επενδύσεις λεκανών ηλεκτρόλυσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται περιστατικά ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου νερού, τα οποία

εντοπίστηκαν στη Λίστα Προτεραιοτήτων (National Priorities List – NPL) της Αμερικανικής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος και συνδέονται με εγκαταστάσεις παραγωγής αλουμινίου. Με βάση τα στοιχεία που συλλέχθησαν, δεν διακρίνεται κάποια χαρακτηριστική διαφοροποίηση ως προς το ρυπαντικό φορτίο των βιομηχανικών μονάδων στις οποίες πραγματοποιείται βασική παραγωγή του υλικού και προϊόντων αλουμινίου. Άλλωστε, είναι αρκετά σύνηθες στη συγκεκριμένη βιομηχανία, κάθε μονάδα να περιλαμβάνει τόσο εξαγωγή του μετάλλου, πρωτογενή ή δευτερογενή, όσο και μορφοποίηση τελικών προϊόντων.

Οι βασικές πηγές ρύπανσης, οι συγκεντρώσεις των ρύπων ενδιαφέροντος καθώς και τα μέτρα αποκατάστασης συνοψίζονται, μετά την παρουσίαση των τεσσάρων περιστατικών, στον **Πίνακα 6.2**. Για λόγους σύγκρισης, αναγράφονται τα μέγιστα επιτρεπτά όρια συγκεντρώσεων ρύπων για το πόσιμο νερό (Maximum Contaminant Levels – MCLs) της Αμερικανικής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (U.S. EPA, 2012). Ως προς τη ρύπανση που εντοπίστηκε στα εδαφικά υλικά, η σύγκριση επιλέχθηκε να γίνει, ενδεικτικά, με τις τιμές επέμβασης (Intervention Values) της Ολλανδίας (RMIE, 2013).

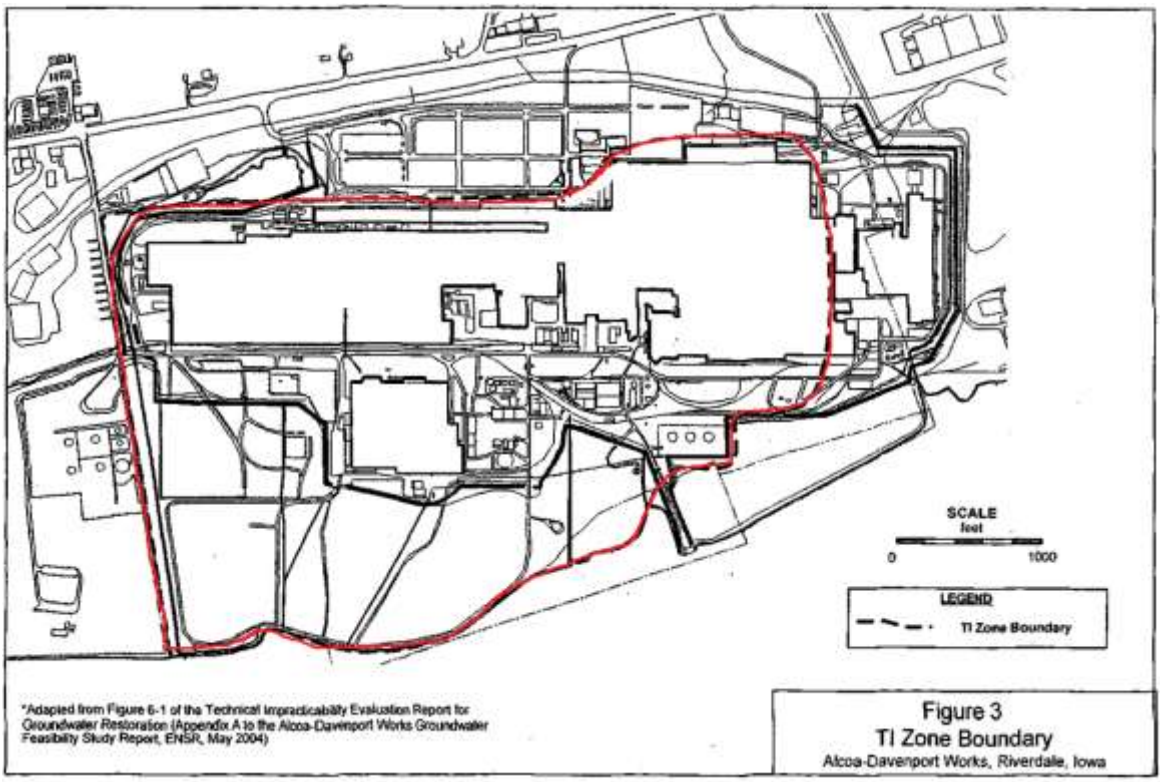
1. **Aluminum Company of America (ALCOA), Riverdale, Scott County, Iowa (U.S. EPA, 2004b):**

Η Aluminum Company of America (Alcoa) –επίσης γνωστή ως Alcoa-Davenport Works- διατηρεί εγκατάσταση παραγωγής χελωνών, λαμαρινών, ελασμάτων και λεπτών φύλλων αλουμινίου, στην περιοχή Riverdale, της επαρχίας Scott, της πολιτείας της Iowa, πολύ κοντά στον ποταμό Mississippi. Στην εγκατάσταση υπάρχουν μονάδες θερμής και ψυχρής έλασης, μονάδες παραγωγής πλινθωμάτων και φινιρίσματος. Ο χώρος –έκτασης 1862 στρεμμάτων– συνορεύει τόσο με βιομηχανικές/εμπορικές ιδιοκτησίες όσο και με κατοικίες, αλλά και με έναν υδροβιότοπο του ποταμού Mississippi (Mississippi River Pool 15 – MRP15). Η τοπική κοινότητα δεν προμηθεύεται πόσιμο νερό από το υπόγειο νερό της περιοχής.

Το έδαφος κάτω από το χώρο αποτελείται από ένα στρώμα μη-στερεοποιημένων ιζημάτων, πάχους που κυμαίνεται μεταξύ 0-8 m και υποκείμενο βραχώδες υπόστρωμα. Η μη-στερεοποιημένη ζώνη αποτελείται από χαλίκι, άμμο, ιλύ και άργιλο, καθώς και υλικά κατεδαφίσεως. Το υποκείμενο στρώμα είναι ρηγματωμένο και φτάνει σε βάθος περίπου μέχρι 15 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ ακολουθούν ασβεστολιθικά-σχιστολιθικά πετρώματα. Το υπόγειο νερό στο μη-στερεοποιημένο στρώμα παρουσιάζει τοπικές εμφανίσεις ενώ ο βασικός υδροφορέας εμφανίζεται σε βάθος περίπου 6 m.

Η εταιρεία, από το 1956 έως το 1979, χρησιμοποιούσε μια ανεπένδυτη λεκάνη απόθεσης απορριμμάτων ελαίων, σε απόσταση περίπου 50 m από τον ποταμό Mississippi, όπου απορρίπτονταν έλαια και γράσο, υγρά αποσκωρίωσης, διαλύτες και υπολείμματα μπογιάς. Τα ελαιώδη απόβλητα ήταν ρυπασμένα με πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs). Οι έρευνες έδειξαν ότι το υπόγειο νερό είχε ρυπανθεί με PCBs (0,0028 mg/L στην περιοχή διάθεσης αποβλήτων)

και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Σε ό,τι αφορά τον βαθύτερο υδροφορέα, δεν επηρεάστηκε από τη ρύπανση με PCBs. Σε πηγάδια κοντά σε δεξαμενές αποθήκευσης διαλυτών απολίπανσης εντοπίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις χλωριωμένων διαλυτών, όπως PCE (5275 mg/L), TCE (0,825 mg/L), 1,2-DCE (1600 mg/L) και βινυλοχλωριδίου (0,033 mg/L), σε τιμές πάνω από τα όρια για το πόσιμο νερό. Στους ρύπους ενδιαφέροντος της εγκατάστασης ανήκουν επίσης πολυχλωριωμένοι υδρογονάνθρακες (PAHs), οι οποίοι πιθανώς περιέχονταν σε υγρά θερμής έλασης, αλλά και μέταλλα, ως κραματικά συστατικά για την παραγωγή προϊόντων αλουμινίου. Τα μέταλλα που επιλέχθηκαν ως ρύποι ενδιαφέροντος για το έδαφος ήταν ο χαλκός (208 mg/kg), ο μόλυβδος (117 mg/kg) και ο ψευδάργυρος (720 mg/kg). Οι έρευνες στο γειτονικό υδροβιότοπο έδειξαν ρύπανση από PCBs στο επιφανειακό νερό, στα ιζήματα αλλά και σε δείγματα ψαριών.



Σχήμα 6.1: Όριο ζώνης όπου είναι τεχνικώς ανέφικτη η επίτευξη αποδεκτών συγκεντρώσεων ρύπων στο υπόγειο νερό, στο χώρο της Aluminum Company of America (U.S. EPA, 2004b).

Οι χλωριωμένοι διαλύτες, όπως το PCE και το TCE, αλλά και οι PAHs, βρίσκονται σε μορφή DNAPL και εξαπλώνονται πιο εύκολα σε βάθος. Αντίθετα, τα –ρυπασμένα με PCBs– λιπαντικά έλαια και τα ορυκτέλαια που συνδέονται με το χώρο και είναι στο μορφή LNAPL και άρα πιο εύκολο να αντιμετωπιστούν. Οι ρύποι σε μορφή DNAPL στο χώρο έχουν εντοπιστεί σε σημαντικά βάθη (πιθανώς 45 – 120 m) και σε διάφορα σημεία του ρηγματωμένου βράχου, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η αποκατάσταση μέσω άντλησης ή επι-τόπου επεξεργασίας. Επομένως, ορίστηκε μια ζώνη όπου είναι τεχνικώς ανέφικτη η επέμβαση στην πηγή ρύπανσης

(Technical Impacticability Zone – TI Zone). Εντός της ζώνης αυτής δεν κρίνεται ότι μπορούν να επιτευχθούν συγκεντρώσεις που να εμπίπτουν στα όρια για το πόσιμο νερό, σε διάστημα μικρότερο των 100 ετών. Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6.1.**, η ζώνη αυτή δεν εκτείνεται εκτός των ορίων του χώρου, αλλά παρόλα αυτά περιλαμβάνει μια έκταση με μέγιστες διαστάσεις περίπου 900 x 1500 m. Το πηγάδι άντλησης που λειτουργούσε στο χώρο χρησιμοποιήθηκε για υδραυλικό έλεγχο της ρύπανσης, ενώ ακολουθούσε επεξεργασία του αντληθέντος νερού (καθαρισμός με αέρα – air stripping). Παράλληλα, στα σημεία όπου κρίθηκε εφικτό, επιλέχθηκε συλλογή και επεξεργασία υλικών σε μορφή NAPL, για περιορισμό των πηγών ρύπανσης. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν εργασίες για την απομάκρυνση μεγάλης ποσότητας ελαίων και λάσπης από τη λεκάνη, ενώ η απομένουσα λάσπη στερεοποιήθηκε με σκόνη τσιμεντοκλιβάνου για να αποφευχθεί περαιτέρω διαρροή PCBs και στη συνέχεια τοποθετήθηκε αργιλώδης επικάλυψη χαμηλής διαπερατότητας. Ένα στεγανοποιητικό διάφραγμα τοποθετήθηκε για τη συλλογή του υπόγειου νερού, το οποίο περιείχε έλαια, ώστε να αποτραπεί η μεταφορά ρύπων στον ποταμό. Για την περιοχή του υδροβιότοπου, επιλέχθηκε παρακολουθούμενη φυσική εξασθένηση.

2. Martin-Marietta Aluminum Co., The Dalles, Oregon (U.S. EPA, 1988):

Η εταιρεία Martin-Marietta Aluminum Co. διατηρούσε εργοστάσιο στην περιοχή The Dalles της πολιτείας του Όρεγκον, όπου πραγματοποιούνταν εργασίες εξαγωγής αλουμινίου με τήξη, για το διάστημα από το 1958 έως το 1987. Αφού ο χώρος εισήχθη στη Λίστα Προτεραιοτήτων το 1984, τμήμα του μεταβιβάστηκε σε νέο ιδιοκτήτη (Northwest Aluminum Company), ο οποίος συνεχίζει εργασίες ηλεκτρολυτικής αναγωγής αλουμίνας, μέχρι σήμερα. Ο χώρος καταλαμβάνει έκταση 1862 στρεμμάτων και βρίσκεται σε περιοχή η οποία προορίζεται για βαριά βιομηχανία. Το υπόγειο νερό χρησιμοποιείται για οικιακή, βιομηχανική και αγροτική χρήση κυρίως από τον υπόγειο ταμιευτήρα Dalles Groundwater Reservoir (DGWR) και τοπικά από αλλουβιανό υδροφορέα. Ο βασικός όγκος επιφανειακού νερού είναι ο ποταμός Columbia, ο οποίος συνορεύει με το χώρο και τροφοδοτεί με νερό την πόλη The Dalles.

Το σύστημα του υπόγειου νερού περιλαμβάνει ένα φρεάτιο υδροφορέα (υδροφορέας S) και τρεις αρτεσιανούς υδροφορείς (A, B και DGWR), ενώ υπάρχουν και περιοχές αναρτημένων υπόγειων υδάτων. Ο φρεάτιος υδροφορέας S συναντάται σε έδαφος χαμηλής διαπερατότητας, η υδραυλική του αγωγιμότητα είναι 0,64 m/ημέρα και η υδραυλική κλίση 0,015 m/m. Ο υδροφορέας A απαντάται σε βάθος μεταξύ 30 και 46 m και έχει πάχος μεταξύ από 1,5 έως 14 m. Ο υδροφορέας B συναντάται σε βάθος περίπου 46-61 m από την επιφάνεια του εδάφους και έχει πάχος 9-15 m. Μεταξύ τους παρεμβάλλεται στρώμα χαμηλής διαπερατότητας, ενώ σε ορισμένες περιοχές οι δύο υδροφορείς συνενώνονται σε ένα κοινό στρώμα. Μεταξύ του B και του υποκείμενου υδροφορέα (ο οποίος ξεκινά σε βάθος 67 m από την επιφάνεια) υπάρχει σχηματισμός άμμου και ιλύος, επίσης χαμηλής διαπερατότητας. Ο αλλουβιανός υδροφορέας εκτείνεται σε μήκος περίπου 120 m και βάθος πάνω από 18 m. Τέλος, τα αναρτημένα ύδατα εντοπίζονται στις περιοχές διάθεσης απορριμμάτων καθόδου, στην περιοχή ανακύκλωσης υλικών και στην περιοχή επεξεργασίας εξοφλημένων λεκανών ηλεκτρόλυσης.

Στη χωματερή που λειτουργούσε στην εγκατάσταση αποτέθηκαν μια σειρά από απόβλητα, όπως χρησιμοποιημένα υλικά καθόδου, υλικά πυρίμαχης επένδυσης, πίσσα, οπτάνθρακας, κρυόλιθος, μεταλλικά απορρίμματα και υλικά που περιέχουν αμίαντο. Τα χρησιμοποιημένα υλικά καθόδου περιέχουν υψηλά επίπεδα άνθρακα, θείου, νατρίου και φθοριούχων ενώσεων, καθώς και κυανίδια. Ο κρυόλιθος αντίστοιχα, περιέχει φθοριούχες ενώσεις, νάτριο και αλουμίνιο. Στην πίσσα και τον οπτάνθρακα περιέχονται υψηλά επίπεδα PAHs και αρσενικό. Στη χωματερή, αλλά και σε άλλες περιοχές του χώρου, εντοπίστηκαν ρύποι στο έδαφος, σε στραγγίδια και στο υπόγειο νερό. Τέτοιες περιοχές είναι η περιοχή διαχείρισης απορριμμάτων καθόδου και μονάδων ηλεκτρόλυσης, οι δεξαμενές επεξεργασίας ιλύος από το σύστημα ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τάφροι συλλογής στραγγιδίων από τη χωματερή. Σε ό,τι αφορά το έδαφος και τα ιζήματα, στη χωματερή εντοπίστηκαν οι μέγιστες συγκεντρώσεις ολικών κυανιδίων (70 mg/kg), ελεύθερων κυανιδίων (54 mg/kg), φθοριδίων (2880 mg/kg) και νατρίου (82200 mg/kg). Στην περιοχή απορριμμάτων καθόδου βρέθηκε η μέγιστη συγκέντρωση PAHs (9041 mg/kg) και κοντά στις δεξαμενές ιλύος από πλυντρίδες αερίων βρέθηκε αρσενικό (77 mg/kg). Οι ρύποι ενδιαφέροντος για το υπόγειο νερό είναι τα ολικά και τα ελεύθερα κυανίδια, οι φθοριούχες ενώσεις, το νάτριο και οι θειικές ενώσεις. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν στα αναρτημένα ύδατα και συγκεκριμένα, ελεύθερα κυανίδια σε συγκέντρωση 3,01 mg/L, φθορίδια 3000 mg/L και νάτριο 10500 mg/L. Στον υδροφορέα S μετρήθηκαν ελεύθερα κυανίδια (0,215 mg/L), φθοριούχες ενώσεις (57 mg/L), νάτριο (658 mg/L) και θειικά (3020 mg/L). Σε μικρότερες συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν οι ρύποι στους βαθύτερους υδροφορείς. Ο υδροφορέας S δε χρησιμοποιείται για προμήθεια πόσιμου νερού αλλά εκβάλλει στον ποταμό Columbia. Να σημειωθεί παρόλα αυτά ότι η παροχή του υδροφορέα, σε σχέση με τον όγκο νερού του ποταμού, δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να προκύπτουν ανησυχητικές συγκεντρώσεις στο επιφανειακό νερό.

Ως κριτήρια για την αποκατάσταση ρυπασμένου εδάφους ορίστηκαν οι συγκεντρώσεις: αρσενικό – 65 mg/kg, PAHs – 175 mg/kg και φθοριούχες ενώσεις - 2200 mg/kg. Αντίστοιχα οι συγκεντρώσεις-στόχοι για το υπόγειο νερό ήταν: φθοριούχες ενώσεις - 9,7 mg/L, θειικά – 3020 mg/L και ελεύθερα κυανίδια – 0,1 mg/L. Με βάση τους ανωτέρω στόχους, εδαφικό υλικό, ιζήματα, ιλύς και απορρίμματα από τις διάφορες περιοχές του χώρου αποφασίστηκε να εκσκαφθούν και να στερεοποιηθούν στη χωματερή, με ακόλουθη τοποθέτηση εδαφικού καλύμματος. Η βασική οδός μεταφοράς ρύπων προς πηγάδια άντλησης νερού που χρησιμοποιούνται για άρδευση είναι η: διαρροή στραγγιδίων από τη χωματερή προς τον αλλουβιανό υδροφορέα και από εκεί στον υδροφορέα B και τελικώς τον DGWR. Έτσι, αρχικά επιλέχθηκε συλλογή και επεξεργασία στραγγιδίων από τη χωματερή, με υδρόλυση για αφαίρεση κυανιδίων και χημική καθίζηση για αφαίρεση φθοριούχων ενώσεων. Ως προς το υπόγειο νερό, επιλέχθηκε συλλογή τοπικά στον αναρτημένο υδροφορέα κατά τη διάρκεια των έργων αποκατάστασης του ρυπασμένου εδάφους. Για το υπόγειο νερό στην περιοχή εκφόρτωσης – όπου πηγή ρύπανσης αποτελούσαν οι εξοφλημένες λεκάνες ηλεκτρόλυσης– επιλέχθηκε πιο εκτεταμένη άντληση από τους υδροφορείς A και B, και έπειτα επεξεργασία στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις του εργοστασίου.

3. **National Southwire Aluminum Co., Hawesville, Hancock County, Kentucky (U.S. EPA, 1993b, 2000):**

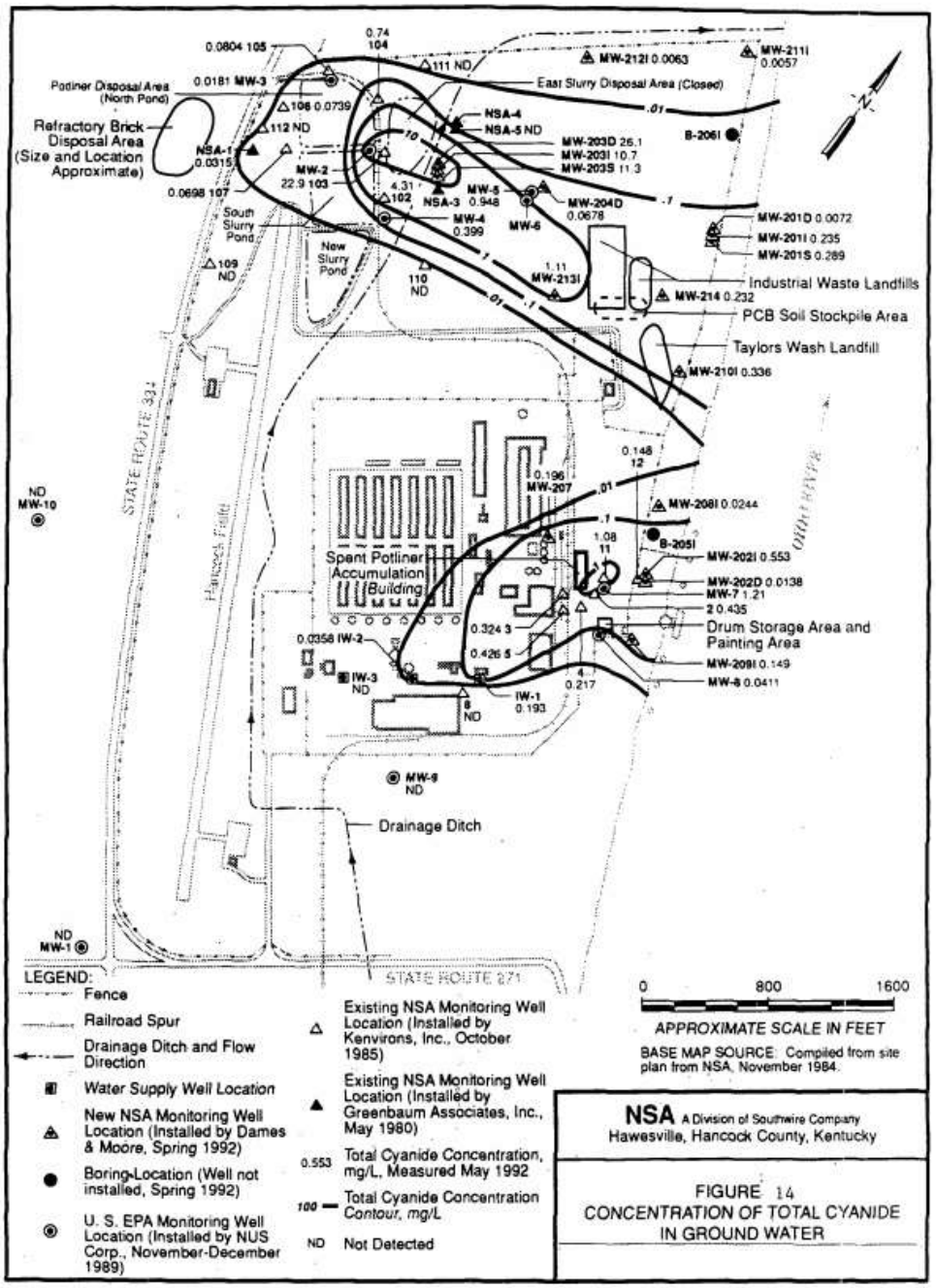
Ο χώρος περιλαμβάνει μια έκταση 4452 στρεμμάτων στην οποία βρίσκεται εγκατάσταση παραγωγής αλουμινίου από αλουμίνα που λειτουργεί υπό τη διεύθυνση της National Southwire Aluminum, από το 1969 έως σήμερα. Το εργοστάσιο βρίσκεται στην αλλουβιακή πλημμυρική πεδιάδα του ποταμού Ohio, στο Hawesville της επαρχίας Hancock, της πολιτείας του Kentucky. Στις εγκαταστάσεις του χώρου περιλαμβάνονται παραγωγικές μονάδες, λεκάνες επιφανειακής απόθεσης αποβλήτων, χωματερές, κτίριο όπου απορρίπτονταν εξοφλημένες λεκάνες ηλεκτρόλυσης και αποστραγγιστική τάφρος. Ο χώρος εισήχθη στη Λίστα Προτεραιοτήτων το 1994.

Το επιφανειακό τμήμα του εδάφους της περιοχής αποτελείται από αλλουβιακές προσχώσεις και συγκεκριμένα από ένα στρώμα αργίλου-ιλύος με φακούς άμμου και χαλικιών που φτάνει σε βάθος περίπου 8 m και ένα υποκείμενο στρώμα άμμου και χαλικιών με τμήματα αργίλου-ιλύος και πάχος περίπου 35 m. Ακολουθούν στρώματα με σχιστόλιθο, ασβεστόλιθο, ψαμμίτη και άνθρακα με πάχος από 107 έως 152 m και τέλος το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής. Δύο είναι οι βασικοί υπόγειοι υδροφορείς της περιοχής, ο πρώτος –και μόνος παραγωγικός– βρίσκεται στο αλλουβιακό στρώμα και ο δεύτερος στα υποκείμενα σχιστο-ασβεστολιθικά στρώματα. Το νερό από τους υδροφορείς καταλήγει κατά κύριο λόγο στον ποταμό Ohio, ενώ δεν φαίνεται να διαπερνά το βραχώδες υπόβαθρο. Η υδραυλική κλίση είναι περίπου 0,001 και η ταχύτητα ροής 0,61 m/ημέρα.

Η διαβροχή των εξοφλημένων λεκανών ηλεκτρόλυσης για αφαίρεση υλικού παρήγαγε λύματα τα οποία απορρίπτονταν σε φρεάτιο αποστράγγισης. Οι εξοφλημένες λεκάνες που απορρίπτονταν σε δεξαμενή περιείχαν έως και 2500 ppm κυανιδίων. Στα απόβλητα των διεργασιών περιλαμβάνεται σκόνη ηλεκτροστατικών διαχωριστών η οποία αποτελείται από οξείδια αλουμινίου, φθορίδια αλουμινίου και νατρίου, κρυόλιθο, μικρές ποσότητες σιδήρου, πυριτίου, βαναδίου, ασβεστίου, μαγγανίου, νικελίου, καλίου, ψευδαργύρου, χρωμίου, γαλλίου και ίχνη χρωμίου, βηρυλλίου, μολύβδου και μαγνησίου. Τα μέταλλα βρίσκονται είτε ως προσμείξεις στα μεταλλεύματα, είτε ως συστατικά των ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, η εγκατάσταση παρήγαγε ως απόβλητα φίλτρα βαφών από τους θαλάμους ψεκασμού με χρώμα. Οι διαρροές υγρών μεταφοράς θερμότητας και άλλων υγρών που περιείχαν πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) προκάλεσαν ρύπανση με PCBs στο έδαφος σε διάφορα σημεία του χώρου, σε βάθη έως περίπου 4 m από την επιφάνεια και συγκέντρωση έως 8940 mg/kg.

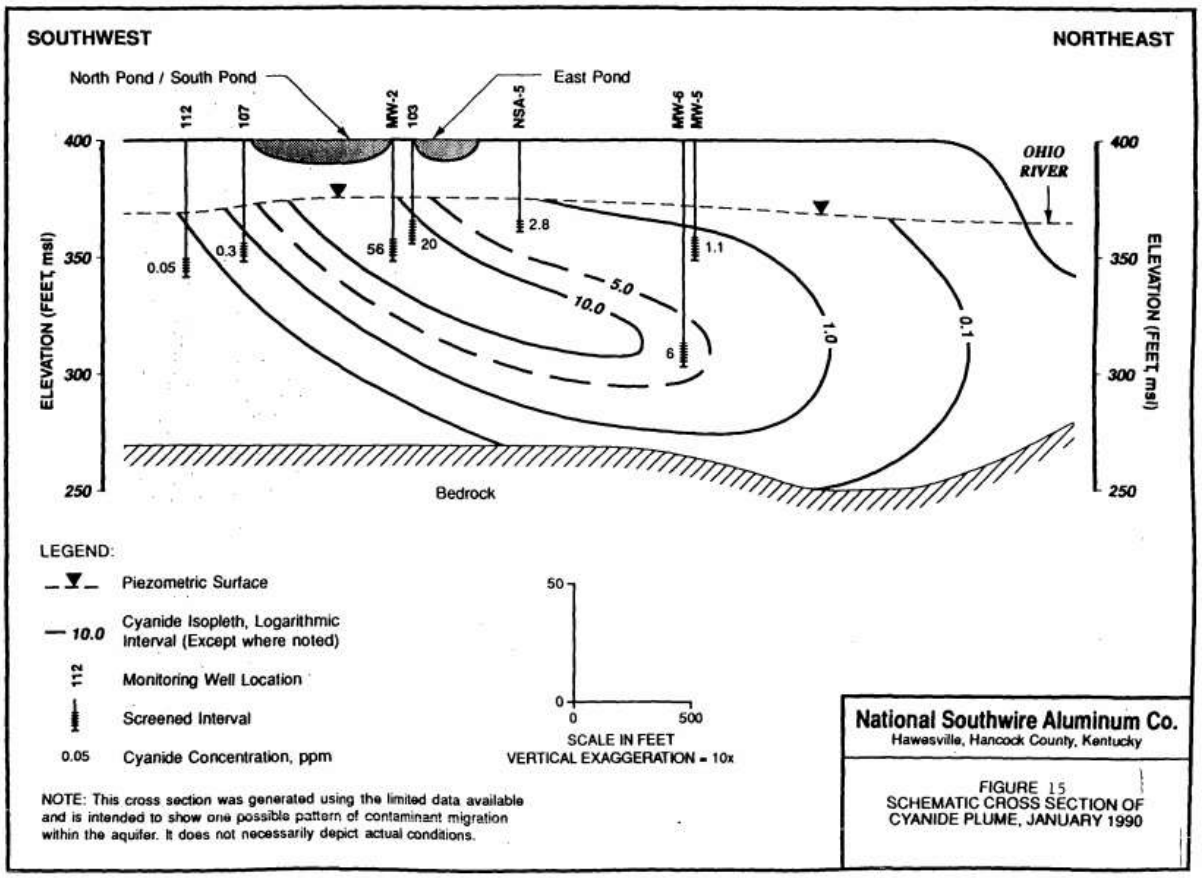
Στο υπόγειο νερό του χώρου υπάρχουν δύο πλούμια ρύπανσης ρυπασμένα με φθορίδια, κυανίδια και μέταλλα. Το μεγαλύτερο εκ των δύο (Βόρειο Πλούμιο) συνδέεται με τις λεκάνες διάθεσης σκόνης και ιλύος από το σύστημα ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης και είναι επίμηκες, στη διεύθυνση της ροής του υπόγειου νερού προς το ποτάμι. Το δεύτερο (Νότιο Πλούμιο) εκτείνεται κάτω και γύρω από την περιοχή διάθεσης εξοφλημένων λεκανών

ηλεκτρόλυσης. Στο **Σχήμα 6.2.** φαίνεται μια κάτοψη του χώρου όπου σημειώνονται τα όρια των δύο πλουμίων ρύπανσης μέσω ισοπληθών καμπυλών της συγκέντρωσης ολικών κυανιδίων. Στο Βόρειο Πλούμιο, η συγκέντρωση στην εσωτερική ισοπληθή είναι 100 mg/L, ενώ στην εξωτερική 0,1 mg/L. Αντίστοιχα, στο Νότιο Πλούμιο στην εσωτερική 1 mg/L και στην εξωτερική 0,01 mg/L, ενώ οι ρύποι έχουν μεταφερθεί σε απόσταση 150 m περίπου από την πηγή.



Σχήμα 6.2: Κάτοψη χώρου National Southwire Aluminum Company με ισοπληθείς συγκεντρώσεων ολικών κυανιδίων στο υπόγειο νερό (U.S. EPA, 1993b).

Στο **Σχήμα 6.3.** απεικονίζεται μια τομή κατά τη διεύθυνση της μεγαλύτερης έκτασης του Βορείου Πλουμίου (ΝΔ-ΒΑ). Βλέπουμε ότι η ρύπανση έχει μεταφερθεί σε απόσταση πάνω από 700 m (περίπου 2400 πόδια) από την πηγή, ενώ έχει φτάσει μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο, 40 m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις ρύπων στο Βόρειο Πλούμιο ήταν: κυανίδια (ολικά 56 mg/L και ελεύθερα 24 mg/L), βάριο (0,58 mg/L), κοβάλτιο (0,26 mg/L), χαλκός (0,051 mg/L), μόλυβδος (0,073 mg/L), μαγνήσιο (69 mg/L), μαγγάνιο (8,4 mg/L), νικέλιο (0,17 mg/L), φθορίδια (1770 mg/L**).** Αντίστοιχα για το Νότιο Πλούμιο, ολικά κυανίδια (4,4 mg/L), βάριο (0,18 mg/L), χρώμιο (0,021 mg/L), κοβάλτιο (0,082 mg/L), χαλκός (0,063 mg/L), μόλυβδος (0,041 mg/L), μαγνήσιο (130 mg/L), μαγγάνιο (2,4 mg/L), νικέλιο (0,095 mg/L) και φθορίδια (0,74 mg/L). Το κοντινότερο πηγάδι πόσιμου νερού βρίσκεται σε απόσταση 2,4 χλμ από το χώρο, αλλά οι ρύποι δεν έχουν μεταφερθεί μέχρι εκεί.



Σχήμα 6.3: ΝΔ-ΒΑ Τομή κατά μήκος του Βόρειου Πλουμίου ρυπασμένου με κυανίδια στο χώρο National Southwire Aluminum Company (U.S. EPA, 1993b).

Για την αποκατάσταση του χώρου, ορίστηκαν μέτρα για το υπόγειο νερό και για ρυπασμένα εδαφικά υλικά και ιζήματα. Σε ό,τι αφορά το υπόγειο νερό, επιλέχθηκε σύστημα άντλησης και επεξεργασίας από τα πλούμια ρύπανσης. Ως μέθοδος επεξεργασίας ορίστηκε η χημική σύμπηξη/καταβύθιση με προσθήκη χλωριούχου σιδήρου ή θειούχου σιδήρου, πρωταρχικά για

την αφαίρεση κυανιδίων και δευτερευόντως μετάλλων. Οι εργασίες για το ρυπασμένο έδαφος εστιάζονται στη ρύπανση από PCBs. Τα πλέον ρυπασμένα εδαφικά υλικά και ιζήματα αφαιρέθηκαν και μεταφέρθηκαν σε εγκατάσταση εκτός του χώρου ενώ στα λιγότερο ρυπασμένα τοποθετήθηκε επικάλυψη για περιορισμό της ρύπανσης. Τα όρια των συγκεντρώσεων PCBs που καθόρισαν εάν θα γινόταν εκσκαφή και αφαίρεση ή επικάλυψη διέφεραν ανάλογα με το αν η περιοχή ορίζεται ως υψηλής ή χαμηλής χρήσης και ανά περίπτωση ήταν 10 mg/kg, 25 mg/kg ή 100 mg/kg.

4. Alsco Anaconda, Gnadenhutten, Tuscarawas County, Ohio (U.S. EPA, 1989, 1992b):

Ο χώρος βρίσκεται δίπλα στο εργοστάσιο παραγωγής προϊόντων αλουμινίου της Alsco Anaconda, στην περιοχή Gnadenhutten, της επαρχίας Tuscarawas, της πολιτείας του Ohio και έχει έκταση 19 στρέμματα. Αποτέλεσε χώρο διάθεσης λυμάτων καθώς και ιλύος από την επεξεργασία λυμάτων από τις διεργασίες παραγωγής αλουμινίου, για το διάστημα από το 1965 έως το 1978. Βρίσκεται εντός της πλημμυρικής πεδιάδας του ποταμού Tuscarawas. Ο χώρος μπήκε στη Λίστα Προτεραιοτήτων το 1986.

Το υπέδαφος της περιοχής αποτελείται από μη-στερεοποιημένες αποθέσεις άμμου και ιλύος, με προσχώσεις άμμου, ιλύος και χαλικιών. Το ιζηματογενές βραχώδες υπόβαθρο, το οποίο αποτελείται από σχιστόλιθο, ψαμμίτη με τμήματα ασβεστολίθου, ξεκινά σε βάθος περίπου 50 m από την επιφάνεια του εδάφους. Στις αλλουβιακές προσχώσεις της πεδιάδας σχηματίζεται εκτεταμένο σύστημα υδροφορέων που προμηθεύουν με νερό τις τοπικές κοινότητες. Σε ακτίνα 2,4 χλμ από το χώρο βρίσκονται πολλά πηγάδια ιδιωτικής, κοινοτικής και βιομηχανικής χρήσης ενώ το δημοτικό πηγάδι της περιοχής Gnadenhutten βρίσκεται σε απόσταση 1220 m από το χώρο.

Τα λύματα και η ιλύς που παραγόταν κατά την επεξεργασία τους, αρχικά απορρίπτονταν στο ποτάμι. Από το 1965 έως το 1978 εναποτίθεντο σε ανεπένδυτη λεκάνη κατακάθισης και σκάμμα απόθεσης ιλύος, ενώ λόγω υπερχείλισης διοχετεύθηκαν και στη γειτονική δασική περιοχή, πλέον γνωστή ως «ελώδης περιοχή». Η ιλύς, η οποία είναι καταχωρημένη ως επικίνδυνο απόβλητο (F019), περιέχει χρώμιο και κυανίδια. Ο χώρος εξετάζεται σε δύο λειτουργικές μονάδες, η πρώτη εκ των οποίων περιλαμβάνει τα υλικά που αποτελούν την πηγή ρύπανσης (ρυπασμένη ιλύς και έδαφος) και η δεύτερη το υπόγειο και επιφανειακό νερό. Η ιλύς αποτελούνταν κυρίως από υδροξείδια αλουμινίου, ανθρακικό ασβέστιο, θειικό ασβέστιο και σε μικρότερες ποσότητες, πέρα από τα κυανίδια και το χρώμιο που ήδη αναφέρθηκαν, αρσενικό, κάδμιο, φθορίδια, υδράργυρο και νιτρικά. Επίσης στο έδαφος εντοπίστηκαν πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs). Η μέγιστη συγκέντρωση PCBs στην ιλύ ήταν 3000 mg/kg, ενώ στο έδαφος ήταν μικρότερη από 25 mg/kg. Τα PCBs και το χρώμιο (180 mg/kg) ήταν οι βασικοί ρύποι που μετρήθηκαν στα ιζήματα της λεκάνης κατακάθισης και της «ελώδους περιοχής».

Το πλούμιο της ρύπανσης εκτείνεται κυρίως κάτω από τις λεκάνες κατακάθισης και το λάκκο απόθεσης ιλύος και σε βάθος μέχρι τα 4,5-6 m από την επιφάνεια του υδροφορέα. Ο μόνος ρύπος που βρέθηκε σε υψηλό επίπεδο σε μεγαλύτερο βάθος ήταν το φθαλικό δισαιθυλεξύλιο. Η ροή του υπόγειου νερού είναι προς τον ποταμό, ενώ δεν εντοπίστηκε ροή διαμέσου του εδάφους κάτω από αυτόν. Οι ρύποι ενδιαφέροντος για το υπόγειο νερό, όπως ορίζονται στην απόφαση αποκατάστασης (U.S. EPA, 1992), είναι οι (με έντονους χαρακτήρες, οι ρύποι των οποίων οι συγκεντρώσεις υπερβαίνουν τα όρια για το πόσιμο νερό): 1,2-διχλωροβενζόλιο (0,19 mg/L), 1,4-διχλωροβενζόλιο (0,008 mg/L), **αντιμόνιο** (0,019 mg/L), αρσενικό (0,028 mg/L), βάριο (0,905 mg/L), **βηρύλλιο** (0,008 mg/L), χλωροβενζόλιο (0,009 mg/L), χρώμιο (VI), **ολικό χρώμιο** (0,478 mg/L), κοβάλτιο (0,043 mg/L), χαλκός (0,258 mg/L), **ολικά κυανίδια** (2,43 mg/L), **φθορίδια** (6,1 mg/L), **μόλυβδος** (0,0806 mg/L), **μαγγάνιο** (12,4 mg/L), υδράργυρος (0,0012 mg/L), νικέλιο (0,075 mg/L), νιτρικά (9,6 mg/L), άργυρος (0,011 mg/L), **θάλλιο** (0,002 mg/L), βανάδιο (0,061 mg/L), ξυλόλια (0,003 mg/L), ψευδάργυρος (0,358 mg/L) και **φθαλικό δισαιθυλεξύλιο** (0,021 mg/L).

Ως προς τα μέτρα αποκατάστασης, αρχικά αποφασίστηκε εκσκαφή της ιλύος και του υποκειμένου ρυπασμένου εδάφους, με συγκέντρωση πάνω από 500 mg/kg PCBs, μεταφορά εκτός του χώρου για αποτέφρωση και διάθεση. Για τα υλικά με συγκέντρωση PCBs μικρότερη των 500 mg/kg –και μέχρις ότου να καλύπτονται οι απαιτήσεις σφράγισης του χώρου– ορίστηκε εκσκαφή και επεξεργασία εκτός της εγκατάστασης και ακολούθως επανεπίχωση και φύτευση. Ως προς το υπόγειο νερό, επιλέχθηκε φυσική εξασθένηση με συστηματική παρακολούθηση του επιπέδου της ρύπανσης, δεδομένου ότι η πηγή ρύπανσης (το ρυπασμένο χώμα και η ιλύς) θα είχαν πλέον αφαιρεθεί από το χώρο.

Πίνακας 6.2: Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες εξαγωγής αλουμινίου και παραγωγής προϊόντων αλουμινίου.

Περιστατικό	Προϊόντα αλουμινίου	Διεργασίες/ Εγκαταστά-σεις	Πηγή ρύπανσης	Ρυπασμένο μέσο	Ρύποι	Συγκέ-ντρωση στο υπόγειο νερό (mg/l)	Συγκέ-ντρωση σε ξηρό έδαφος (mg /kg ξηρού εδάφους)	Ορίο στο πόσιμο νερό (mg/l)[1,2,3]	Ολλανδικά όρια επέμβασης για το έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)[6]	Μέτρα αποκατάστασης
Aluminum Company of America, Riverdale, Iowa (USEPA, 2004b)	χελώνες αλουμινίου, λαμαρίνες, ελάσματα και φύλλα αλουμινίου	εργοστάσιο χύτευσης, μύλοι θερμής και ψυχρής έλασης, μύλος παραγωγής λαμαρινών και φύλλων αλουμινίου, εγκατάσταση παραγωγής χελωνών, γραμμές τελικής επεξεργασίας	λεκάνη απόθεσης απορριμμάτων ελαίων, γράσου, υγρών αποσκωρίωσης, διαλυτών απολίπανσης, υπολειμμάτων χρωμάτων, δεξαμενές αποθήκευσης	υπόγειο νερό, επιφανεια-κό νερό επιφανεια-κό έδαφος, ιζήματα	1,2 - διχλωροαιθένιο	1600	0,046	0,07	1	-Αφαίρεση απορριμμάτων ελαίων και ιλύος με PCB, κατασκευή συλλεκτήριας τάφρου, στερεοποίηση εναπομείνουσας ιλύος με σκόνη τσιμεντοκλιβάνου -Εκσκαφή εδαφών ρυπασμένων με PCE και PCB, τοποθέτηση αργιλικού εδαφικού καλύμματος -Για το υπόγειο νερό: σύστημα περιορισμού, αφαίρεσης, επεξεργασίας για περιορισμό της ρύπανσης (καθαρισμός με αέρα – air stripping). Αποκατάσταση περιοχής πηγής ρύπανσης, συλλογή και διάθεση υπόγειων NAPL, όπου είναι τεχνικώς εφικτό, συστηματική παρακολούθηση -Στην περιοχή του ποταμού, φυσική εξασθένηση με συστηματική παρακολούθηση του επιπέδου της ρύπανσης
					διχλωρομεθάνιο	0,140	-	0,005	3,9	
					τετραχλωροαιθένιο	5275	0,12	0,005	8,8	
					τριχλωροαιθένιο	0,825	-	0,005	2,5	
					βινυλοχλωρίδιο	0,033	-	0,002	0,1	
					PCBs	0,003	320	0,0005	1	
					PAHs	-	0,0065	0,0002	40	
			κραματικά στοιχεία		χρώμιο	-	-	0,1	180(III)/ 78(IV)	
					χαλκός	-	208	1,3	190	
					μόλυβδος	-	117	0,015	530	
					ψευδάργυρος	-	720	5[3]	720	
Martin-Marietta Aluminum Co., The Dalles, Oregon (USEPA, 1988)	αλουμίνιο με ηλεκτρολυ-τική αναγωγή οξειδίου του αργιλίου (αλουμίνας)	περιοχές διάθεσης απορριμμάτων καθόδου, χωματερές, δεξαμενές ιλύος συστήματος πλυντρίδας αερίων	διάθεση απορριμμάτων καθόδου, υλικών πυρίμαχης επένδυσης, υπολειμμάτων οπτάνθρακα, κρυολίθου, εξαντλημένων λεκανών ηλεκτρόλυσης	υπόγειο νερό, έδαφος, ιζήματα, στραγγίδια χωματερής, ιλύς δεξαμενών	αρσενικό	-	-	0,01	76	- Εδαφικό υλικό και απόβλητα σε χωματερή, επανεπίχωση περιοχών - Συλλογή και επεξεργασία στραγγιδίων από την χωματερή. Υδρόλυση για αφαίρεση κυανιδίων, χημική καθίζηση για αφαίρεση φθοριούχων - Συλλογή και επεξεργασία ρυπασμένου υπόγειου νερού και συστηματική παρακολούθηση ποιότητας - Αποστράγγιση, εκσκαφή και συνένωση/ στερεοποίηση ποσοτήτων ιζημάτων και ιλύος από δεξαμενές πλυντρίδων αέρα, εδαφικό κάλυμμα
					κυανίδια (ελεύθερα)	3,01	0,27 - 54	-	20	
					κυανίδια (ολικά)	-	0,32 - 70	0,2	50	
					φθορίδια	3000	204 - 2880	4	-	
					PHAs	-	276 - 2406	0,0002	40	
					νάτριο	10500	3400-2200	20[4]	-	
					θειικά	117 - 3020	-	500[4]	-	

VOCs: Volatile Organic Compounds - Πτητικές Οργανικές Ενώσεις, SVOCs: Semi-Volatile Organic Compounds - Ημιπτητικές Οργανικές Ενώσεις, PAHs: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons - Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες, PCBs: Polychlorinated biphenyls - Πολυχλωριωμένα διφαινύλια

Πίνακας 6.2. (συνέχεια): Περιστατικά ρύπανσης σχετιζόμενα με βιομηχανίες εξαγωγής αλουμινίου και παραγωγής προϊόντων αλουμινίου

Περιστατικό	Προϊόντα αλουμινίου	Διεργασίες / Εγκαταστάσεις	Πηγή ρύπανσης	Ρυπασμένο μέσο	Ρύποι	Συγκέντρωση στο υπόγειο νερό (mg/l)	Συγκέντρωση σε ξηρό έδαφος (mg /kg ξηρού εδάφους)	Όριο στο πόσιμο νερό (mg/l)[1,2,3]	Ολλανδικά όρια επέμβασης για το έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)[6]	Μέτρα αποκατάστασης
National Southwire Aluminum Co., Hawesville, Hancock County, Kentacky (USEPA, 1993b, 2000)	πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου από αλουμίνα	εγκαταστάσεις παραγωγής αλουμινίου, λεκάνες διάθεσης αποβλήτων, χωματερές, κτίριο συγκέντρωσης εξοφλημένων λεκανών ηλεκτρόλυσης	στραγγίδια από διαβροχή εξοφλημένων λεκανών ηλεκτρόλυσης, εκχύσεις ρευστών μεταφοράς θερμότητας και άλλων με PBCs, διάθεση πολτού με φθοριούχο νάτριο από το σύστημα ελέγχου αέριας ρύπανσης και σκόνη ηλεκτροστατικών διαχωριστών	υπόγειο νερό, έδαφος, ιζήματα, επιφανειακό νερό	αρσενικό	-	20	0,01	76	- Σύστημα άντλησης και επεξεργασίας υπόγειου νερού από τα πλούμια ρύπανσης, επεξεργασία εντός του χώρου με διεργασία χημικής συμπήξεως/καταβύθισης για αφαίρεση κυανιδίων, φθοριδίων και μετάλλων και απόρριψη σε ποταμό - Αποστράγγιση λάσπης και διάθεση σε εγκεκριμένη εγκατάσταση
					βάριο	0,58	-	2	920	
					κάδμιο	-	16,1	0,005	13	
					χρώμιο (τρισθενές)	-	48	-	180	
					χρώμιο (εξασθενές)	0,021	-	0,1[5]	78	
					χαλκός	0,063	126	1,3	190	
					κυανίδια (ελεύθερα)	24	-	-	20	
					κυανίδια (ολικά)	56	6,4	0,2	50	
					φθορίδια	1770	64000	4	-	
					σίδηρος	-	52100	0,3[3]	-	
					μαγγάνιο	8,4	1300	0,05[3]	-	
					μόλυβδος	0,110	177	0,015	530	
					υδράργυρος	-	0,27	0,002	36	
					νικέλιο	0,170	20	0,1[2]	100	
					PCBs	-	8000	0,0005	1	
					ψευδάργυρος	-	282	5[3]	720	
Alsco Anaconda, Gnadenhutten, Tuscarawas County, Ohio (USEPA, 1989, 1992b)	παραγωγή προϊόντων αλουμινίου	δεν δίνονται στοιχεία	διάθεση επικίνδυνων αποβλήτων διεργασιών αλουμινίου και ιλύος επεξεργασίας λυμάτων, σε λεκάνη καθιζήσεως	υπόγειο νερό, έδαφος, λάσπη, ιζήματα	αρσενικό	0,028	57	0,01	76	- Εκσκαφή ιλύος και υποκειμένου ρυπασμένου εδάφους, με συγκέντρωση PCBs πάνω από 50mg/kg, μεταφορά και επεξεργασία εκτός του χώρου, επανεπίχωση και φύτευση περιοχής - Για το υπόγειο νερό: φυσική εξασθένηση με συστηματική παρακολούθηση ποιότητας νερού
					αντιμόνιο	0,0187	-	0,006	22	
					βηρύλλιο	0,008	-	0,004	-	
					χρώμιο (ολικό)	0,478	17000	0,1	180(III)/78(IV)	
					κυανίδια (ολικά)	2,43	5000	0,2	50	
					φθορίδια	6,1	-	4	-	
					μόλυβδος	0,0806	-	0,015	530	
					φθαλικό δισαιθυλεξύλιο	0,021	2,9	0,006	60	
					PCBs	-	3000	0,0005	1	

VOCs: Volatile Organic Compounds - Πτητικές Οργανικές Ενώσεις, SVOCs: Semi-Volatile Organic Compounds - Ημιπτητικές Οργανικές Ενώσεις, PAHs: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons - Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες, PCBs: Polychlorinated biphenyls - Πολυχλωριωμένα διφαινύλια

[1] MCL=Maximum Contaminant Levels, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[2] HAL=Health Advisory Level (Lifetime) , Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[3] SCML=Secondary Maximum Contaminant Levels, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[4] Health Based Value, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[5] MCL για το ολικό χρώμιο, δεν δίνονται για III & IV, Source: EPA Office of Water, "2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", EPA Document 822-S-12-001, Spring 2012 Edition

[6] Intervention Values-Soil, Source: Rijkswaterstaat Ministry of Infrastructure and the Environment, (2013), Soil Remediation Circular 2013, http://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and/

6.4. Συμπεράσματα κεφαλαίου

Οι ρύποι που συναντώνται σε εγκαταστάσεις παραγωγής αλουμινίου και προϊόντων αλουμινίου παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs), αλκαλικές ενώσεις, οξέα, ανόργανες ενώσεις και μια σειρά από οργανικούς ή άλλους διαλύτες, καθώς επίσης και πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs). Οι βιομηχανίες που πραγματοποιούν πρωτογενή παραγωγή αλουμινίου από αλουμίνα παρουσιάζουν πολύ συχνά ρύπανση με κυανίδια (ελεύθερα και ολικά), καθώς και φθοριούχες ενώσεις. Αυτό επιβεβαιώνεται και στα τρία περιστατικά στα οποία πραγματοποιούνταν πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου (Περιστατικά 2, 3 και 4) αλλά και στα στοιχεία που συλλέχθησαν από τη βιβλιογραφία (**Πίνακας 6.1.**). Επιπλέον, πολύ συχνά ανιχνεύονται βαρέα μέταλλα. Ο *μόλυβδος*, το *αρσενικό* και το *χρώμιο* βρέθηκαν στα τρία από τα τέσσερα περιστατικά που εξετάστηκαν, ενώ ο *χαλκός* και ο *ψευδάργυρος* στα δύο από τα τέσσερα. Σύμφωνα με τις αποφάσεις αποκατάτασης των ρυπασμένων χώρων, τα μέταλλα βρίσκονται στους χώρους είτε ως προσμείξεις στις πρώτες ύλες, είτε ως κραματικά στοιχεία, ενώ, συγκεκριμένα το αρσενικό αναφέρεται ως συστατικό της πίσσας και του οπτάνθρακα που χρησιμοποιούνται ως υλικά καθόδου. Με τα υλικά καθόδου, αλλά και την καύση ορυκτών καυσίμων και την εξαγωγή μετάλλων με τήξη συνδέεται και η ρύπανση με *PAHs*, οι οποίοι εντοπίστηκαν σε δύο από τα περιστατικά. Σε τρία από τα περιστατικά εντοπίστηκε επίσης ρύπανση με *PCBs*, τα οποία συναντώνται σε έλαια κοπής και μεταφοράς θερμότητας. Τέλος, οργανικοί διαλύτες, οι οποίοι αναφέρονται στη βιβλιογραφία σε σχέση με τις διεργασίες φινιρίσματος, εντοπίστηκαν, ως ρύποι προτεραιότητας, στο πρώτο περιστατικό. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρουμε το *τριχλωροαιθυλένιο*, το *τετραχλωροαιθυλένιο* και το *1,2-διχλωροαιθένιο* ως εξέχοντα παραδείγματα. Η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης εγκατάστασης από τις υπόλοιπες εστιάζεται στο γεγονός ότι η κύρια δραστηριότητά της δεν είναι η παραγωγή αλουμινίου αλλά οι διεργασίες φινιρίσματος.

Ως προς την έκταση της ρύπανσης, τα περιστατικά έδειξαν μεταφορά ρύπων σε αποστάσεις της τάξεως των 700 m. Επιπλέον, οι πτητικές οργανικές ενώσεις συχνά συναντώνται σε μορφή NAPL, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ζώνες όπου είναι «τεχνικώς ανέφικτη» η αποκατάσταση, καθώς οι ρύποι λειτουργούν σαν παραμένουσες –και ενίοτε μεταφερόμενες– πηγές ρύπανσης. Οι ζώνες αυτές μπορεί να εκτείνονται σε περιοχές δεκάδων, ή και μερικών εκατοντάδων στρεμμάτων και σε σημαντικά βάθη (π.χ. 120 m στο χώρο της **Aluminum Company of America**, 40 m στο χώρο της **National Southwire Aluminum Company**).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο βασικός στόχος που τέθηκε στη συγκεκριμένη εργασία ήταν αρχικά να προσδιοριστεί το υποσύνολο των ρύπων που συνδέονται με καθεμιά από τις τρεις βιομηχανίες που εξετάστηκαν, δηλαδή του τσιμέντου, του χάλυβα και του αλουμινίου. Επιπλέον, μελετήθηκαν οι ιδιαίτερες συνθήκες κάτω από τις οποίες αναμένεται να διαρρεύσουν οι ρύποι στην εκάστοτε κατηγορία βιομηχανίας, αλλά και η έκταση που αναμένεται να λάβει η ρύπανση. Τα αποτελέσματα έχουν ήδη αναφερθεί στα κεφάλαια 4, 5 και 6 για τις αντίστοιχες βιομηχανίες και συνοψίζονται εδώ για λόγους σύγκρισης, εκτός των άλλων.

Η βιομηχανία τσιμέντου συνδέεται με μικρότερη επιβάρυνση του υπεδάφους σε σχέση με τις μεταλλουργικές βιομηχανίες που εξετάστηκαν (χάλυβα και αλουμινίου). Αυτό αποδίδεται σε δύο λόγους. Από τη μια, το ρυπαντικό της φορτίο αποτελείται κατά βάση από ανόργανους ρύπους που ανήκουν στην κατηγορία των μετάλλων (κυρίως χρώμιο, μόλυβδος, κάδμιο και αρσενικό). Αυτή η κατηγορία ρύπων παρουσιάζει σχετικά μικρή κινητικότητα. Ειδικά δε στην περίπτωση των τσιμεντοβιομηχανιών, οι ιδιαίτερες συνθήκες αλκαλικού pH που δημιουργούνται στο έδαφος, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.4., μειώνουν ακόμα περισσότερο την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων και αυξάνουν τη ρόφησή τους στους εδαφικούς κόκκους. Από την άλλη, όπως είδαμε, βασική οδός μεταφοράς ρύπων από τη συγκεκριμένη κατηγορία βιομηχανίας στο έδαφος είναι ο αέρας. Τα αερομεταφερόμενα σωματίδια, μπορεί μεν να φτάνουν σε μεγάλες αποστάσεις (της τάξεως μερικών χιλιομέτρων) από την εγκατάσταση, αλλά καταλήγουν στο υπέδαφος σε μικρές συγκεντρώσεις, ώστε να μην δημιουργούν σοβαρή διακινδύνευση για τον άνθρωπο, τουλάχιστον όσον αφορά το υπόγειο νερό, στο οποίο εστίασε ιδιαίτερα η παρούσα εργασία.

Αντίθετα, οι βιομηχανίες χάλυβα και αλουμινίου, κρίνονται ως περισσότερο επιβαρυντικές για το έδαφος και το υπόγειο νερό. Οι δύο αυτές κατηγορίες βιομηχανίων, παρόλο που έχουν διαφορετικά τελικά προϊόντα, παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς την παραγωγική διαδικασία και επομένως και ως προς το ρυπαντικό τους φορτίο. Παρακάτω, θα αναφερθούμε τόσο στα στοιχεία ομοιότητας όσο και στα στοιχεία διαφοροποίησης μεταξύ των δύο.

Αρχικά, το κοινό σημείο μεταξύ των δύο κατηγοριών βιομηχανιών, είναι ότι τα διάφορα μεταλλικά προϊόντα υφίστανται μια σειρά από κατεργασίες προκειμένου να αποκτήσουν την τελική τους μορφή και τις επιθυμητές ιδιότητες. Κατά τις διεργασίες επιμετάλλωσης και φινιρίσματος, γίνεται χρήση ελαίων κοπής, διαφόρων διαλυτών αλλά και μετάλλων που χρησιμοποιούνται ως επικάλυψη. Έτσι, πέρα από διάφορα μέταλλα, προκύπτουν ως ρύποι

πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) και οργανικοί διαλύτες όπως TCE και PCE. Επιπλέον, συχνά εντοπίζονται πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), ως συστατικό των ελαίων που χρησιμοποιούνται στην κοπή των προϊόντων. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να δοθεί έμφαση στο γεγονός ότι σε αρκετά περιστατικά παρατηρήθηκε η ύπαρξη οργανικών διαλυτών σε μη-υδατική φάση (LNAPL ή DNAPL). Τα υλικά αυτά λειτουργούν ως παραμένουσα πηγή ρύπανσης και παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία κατά τη διαδικασία αποκατάστασης. Μια ακόμα κοινή πηγή ρύπων στις δύο βιομηχανίες είναι η χρήση ορυκτών καυσίμων σε κλιβάνους για την τήξη των πρώτων υλών. Στα απαέρια εμπεριέχονται PAHs αλλά και μεταλλικές ενώσεις –ως προσμείξεις των πρώτων υλών– τα οποία συγκρατούνται από φίλτρα που διαθέτουν οι εγκαταστάσεις και κατά την έκπλυση των οποίων προκύπτουν ρυπασμένα απόβλητα.

Οι διαφορές που παρουσιάζουν οι δύο βιομηχανίες εντοπίζονται κυρίως στις πρωτογενείς και δευτερογενείς διεργασίες που πραγματοποιούνται και από τις οποίες προκύπτουν τα βασικά μέταλλα σε μορφή χελωνών ή ημιτελών προϊόντων.

Σε ό,τι αφορά τη βιομηχανία του χάλυβα, υπάρχει μια πολύ μεγάλη ποικιλία ρύπων, ειδικά όταν αναφερόμαστε σε ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής που περιλαμβάνει πολλά διαδοχικά στάδια. Έτσι, από τις διεργασίες που πραγματοποιούνται προκύπτουν μέταλλα (με συχνότερη την εμφάνιση μολύβδου, καδμίου, χρωμίου, αρσενικού, μαγγανίου και σιδήρου) και ανόργανες ενώσεις όπως φθορίδια, κυανίδια και θειούχες ενώσεις. Εάν στην παραγωγική διαδικασία συμπεριλαμβάνεται και η παραγωγή οπτάνθρακα, στα παραπάνω προστίθενται και πίσσα, φαινόλες και PAHs.

Η βιομηχανία του αλουμινίου, αν και επίσης συνδέεται με ένα σημαντικό πλήθος ρύπων, παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια ως προς τις διεργασίες που πραγματοποιούνται και επομένως αντίστοιχη ομοιογένεια και ως προς τους ρύπους που εντοπίζονται. Εν προκειμένω, συναντάμε ολικά και ελεύθερα κυανίδια, φθορίδια και μέταλλα που βρίσκονται στις εγκαταστάσεις είτε ως προσμείξεις στις πρώτες ύλες, είτε ως κραματικά στοιχεία.

Η μελέτη των περιστατικών για τις δύο κατηγορίες μεταλλουργικών βιομηχανιών έδειξε ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η έκταση που έλαβε η ρύπανση ήταν σημαντική, παρόλο που συχνά δεν ξεπερνούσε κατά πολύ τα όρια της ιδιοκτησίας, ούτε επηρέαζε πηγάδια προμήθειας πόσιμου νερού. Αυτό το συμπέρασμα, από μόνο του δεν αποτελεί τεκμήριο εφησυχασμού και σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαίο να εξετάζονται οι πηγές προμήθειας νερού και οι ευαίσθητοι αποδέκτες κοντά σε μια εγκατάσταση. Πιο συγκεκριμένα, οι ρύποι εντοπίστηκαν σε αποστάσεις της τάξεως των 600 m, και συχνά σε μεγάλα βάθη (100-150 m).

Συμπεράσματα ως προς τη μεθοδολογία και πιθανές προεκτάσεις:

Οι έρευνες που διενεργούνται στο έδαφος και το υπόγειο νερό συνήθως απαιτούν χρόνο και τεχνογνωσία, ενώ είναι αρκετά δαπανηρές. Επομένως, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο για κάποιον

μελετητή να μπορεί εκ των προτέρων να εκτιμήσει την πιθανή μορφή της ρύπανσης, πριν διενεργηθεί κάποια έρευνα στο πεδίο. Τα βασικότερα στοιχεία που χρειάζεται να έχει στη διάθεσή του είναι: α) τα είδη των ρύπων που περιμένει να συναντήσει, β) οι πιθανές πηγές από τις οποίες μπορεί να υπάρξει μεταφορά ρύπων στο υπέδαφος και γ) η έκταση που ενδέχεται να πάρει η ρύπανση. Η γνώση του είδους των ρύπων που αναμένει κανείς να ανιχνεύσει ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία των εργαστηριακών αναλύσεων και να επιβεβαιώσει, τουλάχιστον σε πρώτη φάση, την ύπαρξη ρύπανσης. Αξιοποιώντας τα άλλα δύο στοιχεία, μπορεί να σχεδιαστεί αποτελεσματικότερα και οικονομικότερα το δίκτυο των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τα παραπάνω είναι να μπορεί ο μελετητής ενός χώρου να συνδέσει επιτυχώς μια συγκεκριμένη εγκατάσταση με τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται ή έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν. Συγκεκριμένα, στοιχεία σχετικά με το είδος των διεργασιών που πραγματοποιούνται, το είδος των κλιβάνων και άλλων εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται καθώς και του τρόπου αποθήκευσης πρώτων υλών και διάθεσης αποβλήτων, μπορούν να βοηθήσουν τον μελετητή να διαμορφώσει μια καλή εικόνα του πιθανού ρυπαντικού φορτίου. Τέτοια στοιχεία μπορεί να αντλήσει κανείς από την περιβαλλοντική μελέτη της κάθε εγκατάστασης. Η αναζήτηση της περιβαλλοντικής μελέτης δεν είναι πάντα εύκολη, ειδικά εάν αναφερόμαστε σε εγκαταστάσεις που πραγματοποιούν ποικιλία δραστηριοτήτων και μπορεί να πραγματοποιηθεί αξιοποιώντας μεθοδολογικά εργαλεία, τα οποία όμως δεν αποτέλεσαν αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Τέλος, μια επαρκής εικόνα του «γεωπεριβαλλοντικού αποτυπώματος» των δομικών υλικών απαιτεί μια ανάλυση μεγαλύτερης ποικιλίας υλικών. Σε αυτή την κατεύθυνση, θεωρούμε ως σημαντική την ενδελεχή εξέταση δραστηριοτήτων όπως η παραγωγή ασφαλτικών υλικών, κεραμικών υλικών, δομικής ξυλείας και κονιαμάτων όπως ο ασβέστης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

Alexander, D. & Fairbridge, R., (1999), *Encyclopedia of environmental science*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp.43-44

Al-Khashman, O. A. & Shawabkeh, R. A., (2005), *Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan*, Environmental Pollution 140 pp. 387-394

California Integrated Waste Management Board (CIWMB), (1996), *Waste Tires, Waste Tire Facilites And Waste Tire Projects On The Environment.*

Department of Environment (DoE), Government of Western Australia, (2004), *Potentially Contaminating Activities, Industries and Landuses*, Ανακτήθηκε στις 15-5-2016 από https://www.der.wa.gov.au/images/documents/your-environment/contaminated-sites/guidelines/potcont_v3_080205.pdf

European Environment Agency (EEA), (2007), *Progress in management of contaminated sites (CSI 015) - policy question: Which sectors contribute most to soil contamination?*, Assessment published August 2007, Ανακτήθηκε στις 18-5-2016 από http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites/progress-in-management-of-contaminated-1

European Commission, *Dangerous substances documentation*, Ανακτήθηκε στις 31-1-2016 από http://ec.europa.eu/environment/water/water-dangersub/lib_dang_substances.htm

European Commission, *Framework waste legislation*, Ανακτήθηκε 19-1-2-16 από http://ec.europa.eu/environment/waste/legislation/a.htm

European Commission, *Groundwater in the Water Framework Directive*, Ανακτήθηκε στις 19-1-2016 από http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/groundwater/framework.htm

European Commission, *Prevention and control of industrial emissions*, Ανακτήθηκε 19-1-2016 από http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/index.htm

European Commission, *Soil*, Ανακτήθηκε στις 25-5-2016 από http://ec.europa.eu/environment/soil/index_en.htm

Gagnon, I., Zagury, G..J., Deschênes, L. (2004) *Natural Attenuation Potential of Cyanide in Groundwater Near a SPL Landfill*. Proceedings, The 8th International Symposium on Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production SWEMP 2004, Pasamehmetoglu, A.G., Ozgenoglu, A., and Yesilay A.Y. (Eds), Kozan Ofset, Ankara, Turkey, pp. 451-456. Atilim University.

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), (2012), *Global Soil Week factsheet: Soil Contamination: A Severe Risk for the Environment and Human Health*, Ανακτήθηκε στις 11-1-2016 από http://globalsoilweek.org/publications/fact-sheets/fact-sheet-soil-contamination

Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land (ICRCL), (1987), *59/83 Guidance on the assessment and redevelopment of contaminated land, Trigger Concentrations, Threshold values*, Guidance Note 59/83, 2nd ed., July 1987, Ανακτήθηκε στις 10/9/2015 από http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/icrcl-l.htm

Isikli, B., Demir, T. A., Akar, T., Berber, A., Urer, S.M., Kalyoncu, C. & Canbek, M., (2005), *Cadmium exposure from the cement dust emissions: a field study in a rural residence*, Chemosphere 63 pp. 1546-1552

Isikli, B., Demir, T.A., Urer, S.M., Berber, A., Akar, T., and Kalyoncu, C., (2001), *Effects of chromium exposure from a cement factory*, Environmental Research 91 pp.113-118

Joint Research Centre, European Soil Data Centre (ESDAC), *Progress in the management of contaminated sites in Europe*, Ανακτήθηκε στις 31-1-2016 από http://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/progress-management-contaminated-sites-europe-0#tabs-0-description=1

Karstensen, K. H., (2008), *Formation, Release And Control Of Dioxins In Cement Kilns.*, Chemosphere 70.4: pp. 543-560

Moors, E., (2006), *Technology strategies for sustainable metals production systems: a case study of primary aluminium production in The Netherlands and Norway*. Journal Of Cleaner Production, 14(12-13), 1121-1138. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.005

Panagos, P., Van Liedekerke, M., Yigini, Y., Montanarella, L., (2013), *Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network*, Journal of Environmental and Public Health 2013, pp.1-11.

Remus, R., Aguado Monsonet, M.A., Roudier, S., Delgado Sancho, L., (2013), *Best Availiable Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production*, Joint Research Centre of the European Commission

Rijkswaterstaat Ministry of Infrastructure and the Environment (RMIE), (2013), *Soil Remediation Circular 2013*, version of July 2013, Ανακτήθηκε στις 31-1-2016 από http://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and/soil-remediation/

Rodrigues, F.A., (2012), *Production of Persistent Organic Pollutants from Cement Plants,* Environmental Contamination, Dr. Srivastava, J., (Ed.), ISBN: 978-953-51-0120-8, InTech, pp. 93-108

Salzman, S., Allinson, G., Stagnitti, F., Coates, M., & Hill, R. (2001), *Performance of constructed evaporation ponds for disposal of smelter waste water: A case study at Portland Alumimum, Victoria, Australia,* Water Research, 35(9), 2121-2128. http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354(00)00486-3

Schuhmacher, M., Domingo, J.L. & Garreta, J., (2003), *Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood* , Environmental Research 95 pp.198-206

Sherene, T., (2010), *Mobility and transport of heavy metals in polluted soil environment*, In Biological Forum—An International Journal (Vol. 2, No. 2, pp. 112-121).

Stockholm Convention, (2007), *Expert group on BAT/BET – Cement Kiln firing hazardous Waste*, UNEP, Ανακτήθηκε στις 20/7/2015 από http://www.pops.int/documents/batbep_advance/intersessional_work/Book%206%20Cement%20Kilns.doc

Turner, B., Binning, P., & Sloan, S. (2008), *A calcite permeable reactive barrier for the remediation of Fluoride from spent potliner (SPL) contaminated groundwater*, Journal Of Contaminant Hydrology, 95(3-4), 110-120. http://dx.doi.org/10.1016/j.jconhyd.2007.08.002

U.K. Environment Agency (U.K. EA), (1996a), *Metal manufacturing, refining and finishing works: iron and steelwork*, Land contamination: Department of Environment (DOE) industry profiles, Ανακτήθηκε στις 22/7/2015 από https://www.gov.uk/government/publications/department-of-environment-industry-profiles

U.K. Environment Agency (U.K. EA), (1996b), *Metal manufacturing, refining and finishing works: electroplating and other metal finishing works*, Land contamination: Department of Environment (DOE) industry profiles, Ανακτήθηκε στις 22/7/2015 από https://www.gov.uk/government/publications/department-of-environment-industry-profiles

U.K. Environment Agency, (1996c), *Ceramics, cement and asphalt manufacturing works*, Land contamination: Department of Environment (DOE) industry profiles, Ανακτήθηκε στις 22/7/2015 από https://www.gov.uk/government/publications/department-of-environment-industry-profiles

U.K. Environment Agency, (1996d), *Metal manufacturing, refining and finishing works, non-ferrous metal works (excluding lead works)*, Land contamination: Department of Environment (DOE) industry profiles, Ανακτήθηκε στις 22/7/2015 από https://www.gov.uk/government/publications/department-of-environment-industry-profiles

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1988), *Superfund Record of Decision: Martin-Marietta Aluminum Co., The Dalles, Oregon*, September 1988, EPA/ROD/R10-88/017, Ανακτήθηκε στις 13/5/2016 από https://yosemite.epa.gov/r10/cleanup.nsf/sites/martinmarietta#tech

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1989), *Superfund Record of Decision: Alsco Anaconda Site, Gnadenhutten, Ohio*, September 1989, EPA/ROD/R05-89/102, Ανακτήθηκε στις 15/5/2106 από https://semspub.epa.gov/work/05/163835.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1990a), *Superfund Record of Decision: Northwestern States Portland Cement Company, Mason City, Iowa*, Ανακτήθηκε στις 23/7/2015 από http://www.epa.gov/superfund/sites/npl/nar819.htm

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1990b), *Superfund Record of Decision: Portland Cement Superfund Site, Salt Lake City, Iowa*, Ανακτήθηκε στις 23/7/2015 από http://www2.epa.gov/region8/portland-cement

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1991), *Superfund Record of Decision: Lehigh Portland Cement Co., Mason City, Iowa*, Ανακτήθηκε στις 23/7/2015 από http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/sites/npl/nar1153.htm

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1992a), *Superfund Record of Decision: Florida Steel Corporation, Indiantown, Martin County, Florida*, June 1992, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://semspub.epa.gov/work/04/10015187.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1992b), *Superfund Record of Decision: Alsco Anaconda Site, Gnadenhutten, Ohio*, September 1992, Ανακτήθηκε στις 15/5/2016 από http://semspub.epa.gov/src/document/05/87332

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1993a), *Report to Congress: Cement Kiln Dust Waste, Chapter 5: Documented and Potential Damages from Management of CKD*, Ανακτήθηκε στις 24/8/2015 από http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/industrial/special/ckd/cement2.htm

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1993b), *Superfund Record of Decision: National Southwire Aluminum Co., Hawesville, Kentacky*, February 1993, EPA/ROD/R04-93/132, Ανακτήθηκε στις 13/5/2016 από https://semspub.epa.gov/work/04/10621731.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1994), *Superfund Record of Decision: Florida Steel Corporation, Indiantown, Martin County, Florida*, March 1994, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://semspub.epa.gov/work/04/10019489.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1996), *Superfund Record of Decision: Continental Steel Corp., Kokomo, Indiana*, August 1996, EPA/ROD/R05-96/310, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://semspub.epa.gov/work/05/177998.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1998a), *Response to National Remedy Review Board Recommendations on the Continental Steel Superfund Site, Kokomo, Indiana*, May 1998, Ανακτήθηκε στις 12/5/2016 από https://semspub.epa.gov/work/05/633334.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (1998b), *Superfund Record of Decision: Continental Steel Corp., Kokomo, Indiana*, September 1998, EPA 541-R98-091, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://semspub.epa.gov/work/05/75504.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2000), *Final Superfund Record of Decision: National Southwire Aluminum Co., Hawesville, Kentucky*, July 2000, EPA/ROD/R04-00/079, Ανακτήθηκε στις 13/5/2016 από https://semspub.epa.gov/work/04/61136.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2004a), *Superfund Record of Decision, Jackson Steel Site, Village of Mineola, Nassau County, New York*, September 2004, EPA Site ID: NYD0001344456, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://semspub.epa.gov/work/02/88409.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2004b), *Superfund Record of Decision: Aluminum Company of America - Davenport, Riverdale, Iowa*, September 2004, EPA/ROD/R07-04/651, Ανακτήθηκε στις 13/5/2016 από https://semspub.epa.gov/work/07/2074543.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2007), *Explanation of Significant Differences, Jackson Steel Site, Village of Mineola, Nassau County, New York*, August 2007, EPA Site ID: NYD0001344456, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://semspub.epa.gov/work/02/98798.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2008), *Report to Congress: Study on Increasing the Usage of Recovered Mineral Components in Federally Funded Projects Involving Procurement of Cement or Concrete, Appendix B: Background of recovered mineral components*, EPA530-R-08-007,

Ανακτήθηκε στις 12/9/2015 από http://www.epa.gov/wastes/conserve/tools/cpg/products/cement2.htm

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2012a), 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, EPA 822-S-12-001, Spring 2012 Edition, Ανακτήθηκε στις 12/9/2015 από http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/dwstandards2012.pdf

U.S.Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2012b), *Statement of Basis, Lehigh Valley Industrial Park, Inc., Groundwater at Bethlehem Commerce Center (formerly: Bethlehem Steel Corp. - Bethlehem Structural Products), Bethlehem, Pensylvania*, EPA ID: 990824161, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://www3.epa.gov/reg3wcmd/ca/pa/webpages/pad990824161.html

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2013), *Explanation of Significant Differences, Florida Steel Corporation Superfund Site*, June 2013, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://semspub.epa.gov/work/04/10942811.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2015), *Statement of Basis, Mittal Steel USA, Incorporated Bethlehem (Formerly: Bethlehem Steel Corp. - Bethlehem Structural Products), Bethlehem, Pennsylvania*, EPA ID: 990824161, Ανακτήθηκε στις 10/4/2016 από https://www3.epa.gov/reg3wcmd/ca/pa/webpages/pad990824161.html

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Office Of Compliance Sector Notebook Project, (1995a), *Profile of the Nonferrous Metals Industry*, Washington D.C., September 1995, EPA ID: 310-R-95010

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Office Of Compliance Sector Notebook Project, (1995b), *Profile of the Fabricated Metal Products Industry*, Washington D.C., September 1995, EPA ID: 310-R-95-007

van Oss, H. (2002), *Slag - Iron and Steel*, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 70.1 - 70.6.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βαλαβανίδης, Θ., Ευσταθίου, Κ., (2014), *Η χημική ένωση του μήνα: Οξείδιο του αργιλίου (αλουμίνα)*, Ανακτήθηκε 6-5-2016 από http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_Al2O3.htm

Βουδούρης, Κ., (2006), *Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΑΠΘ

Γρύλλια, Α., (2002), *Ο κλάδος παραγωγής και μεταποίησης μετάλλων στα πλαίσια της Οδηγίας 96/61/ΕΚ για τον Ολοκληρωμένο Έλεγχο και Πρόληψη της Ρύπανσης*, Ημερίδα ΤΕΕ: Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης στη βιομηχανία (IPPC), 23 Οκτωβρίου 2002, Αθήνα

Δρακούλης, Ρ., (2008), *Πραγματικότητα και Προοπτικές της Ελληνικής Βιομηχανίας Δομικών Υλικών*, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008

ΕΛ.ΣΤΑΤ., (2014), *Σίδηρος & Χάλυβας (Πρώην ΕΚΑΧ)*, Ανακτήθηκε στις 10-2-2016 από http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SIN15/

Καββαδάς, Μ. & Πανταζίδου, Μ., (2007), *Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής*, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2007

Κάρτσωνας, Ν., (2005), *Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των παραπροϊόντων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων*, ΤΕΕ, Αθήνα, Απρίλιος 2005

Μοροπούλου, Α., Κωνσταντή, Α., (2008), *Το Όραμα για την Ανάπτυξη της Βιομηχανίας Δομικών Υλικών – Στρατηγική και Εξέλιξη της Έρευνας στην Ευρώπη και στην Ελλάδα*, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008

Πανταζίδου, Μ., Σταματάκη, Ε. & Καββαδάς, Μ., (2006), *Μεταφορά στο Υπέδαφος Συστατικών Χημικών Ενεμάτων*, 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, 31 Μαΐου – 2 Ιουνίου.

Παπαδόπουλος, Α., Φάττα, Δ., Μουστάκας, Κ., Χαραλάμπους, Κ., Λοϊζίδου, Μ., (2002), *Πιλοτική Μονάδα Αεριοποίησης - Υαλοποίησης με την Τεχνική του Πλάσματος για την Επεξεργασία Επικίνδυνων Αποβλήτων*, 1ο Διεθνές Συνέδριο ΕΕΔΣΑ: Διαχείριση στερεών αποβλήτων για βιώσιμη ανάπτυξη στην 21ο αιώνα, Φεβρουάριος 2002, Ανακτήθηκε 15-5-2016 από https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjsqMj3jd3MAhVCPxQKHfRlDGYQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.aueb.gr%2Fusers%2Fkoundouri%2Fresees%2Fuploads%2Floizidou.doc&usg=AFQjCNFRZuXe3-4bWGgY4TBMRKPwjUeLEg&sig2=gPREP3nryhy1N0O_XLOiSw&bvm=bv.122129774,d.bGs

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ), *Οδηγοί Δομικών Υλικών*, Ανακτήθηκαν στις 9/5/2016 από http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES

Τριανταφύλλου, Α. Θ., (2013), *Δομικά Υλικά*, αυτοέκδοση, Πάτρα

Τσακαλάκης, Κ., (2010), *Σημειώσεις Μαθήματος Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος*, ΕΜΠ, Αθήνα, 2010, Ανακτήθηκε στις 23/7/2015 από http://www.metal.ntua.gr/index.pl/7d2d39d8_gr

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, (2013), *Έκθεση για την Εφαρμογή της Οδηγίας 2004/35/ΕΚ στην Ελλάδα*, Αθήνα, Οκτώβριος 2013

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

82/176/EEC: Council Directive of 22 March 1982 on limit values and quality objectives for mercury discharges by the chlor-alkali electrolysis industry. Official Journal L 81, 27/3/1982, p. 29-34

83/513/EEC: Council Directive of 26 September 1983 on limit values and quality objectives for cadmium discharges. Official Journal L 291, 24/10/1983, p. 1-8

84/156/EEC: Council Directive of 8 March 1984 on limit values and quality objectives for mercury discharges by sectors other than the chlor-alkali electrolysis industry. Official Journal L 74, 17/3/84, p. 49-54

89/106/EEC: Council Directive of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products. Official Journal L 40, 11/2/89, p. 12-26

91/689/EEC: Council Directive of 12 December 1991 on hazardous waste. Official Journal L 377, 31/12/91, p. 20-27

98/83/EC: Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal L 330, 5/12/98, p. 32-54

2000/532/EC: Commission Decision of 3 May 2000 replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on waste and Council Decision 94/904/EC establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste. Official Journal L 226, 6/9/2000, p. 3-24

2000/60/EC: Directive of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy/ Official Journal L 327, 22/12/2000, p. 1-72

2004/35/CE: Directive of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on environmental liability with regard to the prevention and remedying of environmental damage. Official Journal L 143, 30/04/2004, p. 56-75

2006/11/EC: Directive of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community. Official Journal L 64, 4/3/2006, p. 52-59

2006/118/EC: Directive of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. Official Journal L 372, 27/12/2006, p. 19-31

2008/1/EC: Directive of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control. Official Journal L 24, 29/1/2008, p. 8-29

2008/98/EC: Directive of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal L 312, 22/11/2008, p. 3-30

2010/75/EU: Directive of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Official Journal L 334, 17/12/2010, P. 17-119

2012/134/EU: Commission Implementing Decision of 28 February 2012 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on Industrial emissions for the manufacture of glass. Official Journal L 70, 8/3/2012, p. 1-62

2012/135/EU: Commission Implementing Decision of 28 February 2012 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for iron and steel production. Official Journal L 70, 8/3/2012, p. 63-98

2013/163/EU: Commission Implementing Decision of 26 March 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for the production of cement, lime and magnesium oxide. Official Journal L 100, 9/4/2013, p. 1-45

2013/732/EU: Commission Implementing Decision of 9 December 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for the production of chlor-alkali. Official Journal L 332, 11/12/2013, p. 34-48

2013/84/EU: Commission Implementing Decision of 11 February 2013 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for the tanning of hides and skins. Official Journal L 45, 16/2/2013, p. 13-29

2014/687/EU: Commission Implementing Decision of 26 September 2014 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions for the production of pulp, paper and board. Official Journal L 284, 30/9/2014, p. 76-126

2014/738/EU: Commission Implementing Decision of 9 October 2014 establishing the best available techniques (BAT) conclusions under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions, for the refining of mineral oil and gas. Official Journal L 307, 28/10/2014, p. 38-82

2014/955/EU: Commission Decision of 18 December 2014 amending Decision 2000/532/EC on the list of waste pursuant to Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal L 370, 30/12/2014, p. 44-86

2015/2119/EU: Commission Implementing Decision of 20 November 2015 establishing the best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for the production of wood-based panels. Official Journal L 306, 24/11/2015, p. 31-51

Ελληνική Νομοθεσία

Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892 Β, 11/7/2001). Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.

Υπουργική Απόφαση Η.Π. 15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022 Β, 5/8/2002). Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες σύμφωνα με το αρθ. 3 του ν. 1650/86 όπως αντικαταστάθηκε με το αρθ. 1 του ν. 3010/02 «εναρμόνιση του ν. 1650/86 με τις οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ κ.α (91/Α)».

Προεδρικό Διάταγμα 148/2009 (ΦΕΚ 190 Α, 20/9/2009). Περιβαλλοντική ευθύνη για την πρόληψη και την αποκατάσταση των ζημιών στο περιβάλλον – Εναρμόνιση με την οδηγία 2004/35/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Απριλίου 2004, όπως ισχύει.

Υπουργική Απόφαση 39626/2208/Ε130/2009 (ΦΕΚ 2075 Β, 25/9/2009). Καθορισμός μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από τη ρύπανση και την υποβάθμιση, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2006/118/ΕΚ «σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 2006.

Υπουργική Απόφαση 1958/2012 (ΦΕΚ 21Β, 13/1/2012). Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1 παράγραφος 4 του Ν. 4014/21.9.2011 (ΦΕΚ 209/Α/2011).

Νόμος 4042/2012 (ΦΕΚ 24 Α, 13/2/2012). Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

Υπουργική Απόφαση 36060/1155/Ε 103 (ΦΕΚ 1450 Β, 14/06/2013). Καθορισμός πλαισίου κανόνων, μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από βιομηχανικές δραστηριότητες, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2010/75/ΕΕ «περί βιομηχανικών εκπομπών (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης)» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 24ης Νοεμβρίου 2010.