

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής

Αντικείμενο της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής είναι η εφαρμογή των τεχνολογιών της Γεωτεχνικής Μηχανικής σε θέματα προστασίας του γεω-περιβάλλοντος από τη ρύπανση (pollution) που μπορεί να οφείλεται είτε σε φυσικές είτε σε ανθρώπινες επιρροές. Ο όρος “γεω-περιβάλλον” περιλαμβάνει τους εδαφικούς σχηματισμούς (έδαφος και υπέδαφος) και τα υπόγεια νερά που συναντώνται εντός των υδροφορέων. Κατά συνέπεια, στο αντικείμενο της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής δεν περιλαμβάνονται θέματα που αφορούν τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των επιφανειακών υδάτων, τα οποία εξετάζονται από άλλους κλάδους των περιβαλλοντικών επιστημών. Η προστασία του γεω-περιβάλλοντος περιλαμβάνει την προστασία εδαφών και υδροφορέων από τη ρύπανση αλλά και γενικότερα την προστασία των υπογείων υδάτων από την υποβάθμιση της ποιότητάς τους. Έτσι, π.χ., στο αντικείμενο της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής περιλαμβάνεται και η προστασία των υδροφορέων από υπερεκμετάλλευση ή υφαλμύρυνση. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, η προστασία του γεω-περιβάλλοντος από τη ρύπανση ή την υποβάθμιση περιλαμβάνει:

1. Τις μεθόδους μέτρησης της ρύπανσης και τις τεχνολογίες περιορισμού της επέκτασης της ρύπανσης εδαφών και υδροφορέων (π.χ. μέσω τεχνολογιών εγκιβωτισμού).
2. Τις μεθόδους απορρύπανσης εδαφών και υδροφορέων, και γενικότερα την περιβαλλοντική επανένταξη και χρησιμοποίηση περιοχών όπου το έδαφος ή/και τα υπόγεια νερά έχουν ρυπανθεί.
3. Τις μεθόδους μέτρησης και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή των συνεπειών από την υπερεκμετάλλευση και την υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων υδροφορέων.
4. Την περιβαλλοντική ένταξη από γεωτεχνικής απόψεως των μεγάλων τεχνικών έργων, με σκοπό την αποφυγή (κατά το δυνατόν) των δυσμενών συνεπειών τους στο περιβάλλον.

Η έννοια της “ρύπανσης” που επανειλημμένως αναφέρθηκε παραπάνω δεν είναι επακριβώς και σαφώς καθορισμένη. Συγκεκριμένα, ο όρος “ρύπανση του περιβάλλοντος” συχνά αναφέρεται στη “διάθεση εντός του περιβάλλοντος, με οποιοδήποτε τρόπο, ουσιών οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στον άνθρωπο ή σε άλλους ζώντες οργανισμούς που εξαρτώνται από το περιβάλλον¹” (The Environmental Protection Act of the United Kingdom, 1990). Στον ανωτέρω ορισμό δεν καθορίζονται σαφώς οι ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στον άνθρωπο, δεδομένου ότι σχεδόν όλες οι ουσίες μπορούν δυνητικά να καταστούν επικίνδυνες. Για παράδειγμα, το κοινό μαγειρικό αλάτι (χλωριούχο νάτριο)

¹ “...the release (into any environmental medium) from any process, of substances which are capable of causing harm to man or any other living organisms supported by the environment”

μπορεί να προκαλέσει ακόμη και το θάνατο, αν καταναλωθεί σε μεγάλες ποσότητες. Επιπλέον, η έννοια της “βλάβης” που περιλαμβάνεται στον παραπάνω ορισμό δεν είναι σαφώς καθορισμένη και αναφέρεται σε υποκειμενικά κριτήρια.

Ένας γενικότερος ορισμός της έννοιας της *ρύπανσης του περιβάλλοντος* αφορά την, με οποιονδήποτε τρόπο, διάθεση εντός του περιβάλλοντος ουσιών, μικροοργανισμών (φυσικών ή τροποποιημένων) ή ενέργειας (π.χ. θόρυβος, θερμότητα, ακτινοβολία) σε ρυθμούς και ποσότητες ανώτερες από την αφομοιωτική ικανότητα (*assimilation capacity*) του φυσικού περιβάλλοντος (της ατμόσφαιρας, του εδάφους, των επιφανειακών και υπογείων υδάτων και των φυτικών και ζωικών οργανισμών) με συνέπεια την *μετρήσιμη* τροποποίηση των φυσικών οικοσυστημάτων. Ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει και την ηχητική και θερμική ρύπανση. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η υποκειμενική έννοια της “βλάβης” έχει αντικατασταθεί με τον όρο “*μετρήσιμη* τροποποίηση των φυσικών οικοσυστημάτων”, που είναι περισσότερο αντικειμενικός.

Στα πλαίσια των ορισμών που αναφέρονται σε θέματα περιβαλλοντικής γεωτεχνικής θα πρέπει να διευκρινισθεί και ο όρος “*μόλυνση*” (*infection*) που συχνά συγχέεται εσφαλμένα με τη “*ρύπανση*” (*pollution*): μόλυνση είναι μια ειδική περίπτωση ρύπανσης που οφείλεται αποκλειστικά σε παθογόνους μικροοργανισμούς (μικρόβια και βακτηρίδια), ενώ ο όρος ρύπανση είναι γενικότερος και περιλαμβάνει και οποιαδήποτε άλλη ουσία καθώς και την ενέργεια. Τέλος θα πρέπει να διευκρινισθεί η διαφορά μεταξύ “*ρύπου*” και “*ρυπαντή*”. *Ρύπος* είναι η ουσία, ενέργεια ή μικροοργανισμός στον οποίο οφείλεται η ρύπανση, ενώ *ρυπαντής* είναι το αίτιο που μπορεί να προκαλέσει τη διάθεση ρύπων στο περιβάλλον. Έτσι για παράδειγμα, τα αυτοκίνητα και οι βιομηχανίες είναι ρυπαντές ενώ το διοξείδιο του άνθρακα (που εκπέμπεται από τα αυτοκίνητα και τις βιομηχανίες) είναι ρύπος.

Τα κύρια αίτια που μπορούν να προκαλέσουν τη ρύπανση του γεωπεριβάλλοντος υπάγονται στις εξής κατηγορίες:

1. Φυσικές διεργασίες, όπως:
 - (α) Η διάλυση αλάτων κατά τη διήθηση των υπογείων υδάτων διαμέσου των πετρωμάτων, με συνέπεια την αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων, θειικών, νιτρικών, ιόντων σιδήρου, ασβεστίου κλπ.
 - (β) Η εξατμισοδιαπνοή από αβαθείς υδροφορείς, η οποία μπορεί επίσης να προκαλέσει την αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων.
2. Ανθρώπινες ενέργειες που σχετίζονται με τη διάθεση αποβλήτων², όπως:
 - (α) Βιομηχανικά υγρά απόβλητα που αποθηκεύονται σε επιφανειακούς ταμιευτήρες.
 - (β) Αστικά και βιομηχανικά στερεά απόβλητα και ιλύες που διατίθενται στο έδαφος (π.χ. σε ειδικούς χώρους απόθεσης).
 - (γ) Αστικά λύματα που διατίθενται στο έδαφος είτε απευθείας είτε μετά από κάποια επεξεργασία.
 - (δ) Στερεά και υγρά παραπροϊόντα της εκμετάλλευσης ορυκτών πόρων, όπως άγονα ανθρακορυχείων, τέφρα θερμοηλεκτρικών σταθμών, προϊόντα διάτρησης πετρελαιοπηγών ή βαθειών φρεάτων, υποπροϊόντα της διαδικασίας εμπλουτισμού μεταλλευμάτων κλπ.
 - (ε) Απόβλητα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.

² σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 75/442/EEC και 91/156/EEC, ο όρος “απόβλητα” περιλαμβάνει όλες τις ουσίες και τα αντικείμενα τα οποία απορρίπτονται ή προβλέπεται να απορριφθούν ή απαιτείται να απορριφθούν

3. Λοιπές ανθρώπινες ενέργειες, όπως:
- (α) Γεωργικές εκμεταλλεύσεις (π.χ. χρήση φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων).
 - (β) Ατυχήματα κατά τη μεταφορά ή αποθήκευση ρύπων, με αποτέλεσμα τη διαφυγή τους στο έδαφος και τα υπόγεια νερά (π.χ. εκτροχιασμός τρένου μεταφοράς τοξικών ουσιών).
 - (γ) Αστοχία τεχνικών έργων, με αποτέλεσμα τη διαφυγή ρύπων στο έδαφος και τα υπόγεια νερά (π.χ. αστοχία φράγματος ταμίευσης υδαρών αποβλήτων μεταλλευτικής δραστηριότητας).
 - (δ) Ανεξέλεγκτη απόρριψη αποβλήτων λόγω άγνοιας ή έλλειψης ευαισθησίας για τις πιθανές περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.
 - (ε) Τυχαίες διαφυγές ρύπων από τους χώρους αποθήκευσης, όπως π.χ. οι διαφυγές καυσίμων από δεξαμενές αποθήκευσης με αποτέλεσμα τη ρύπανση του εδάφους.

Για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από τα ανωτέρω αίτια, η Περιβαλλοντική Γεωτεχνική χρησιμοποιεί τις εξής μεθόδους:

1. Εντοπισμός των πιθανών φυσικών αιτίων και ανθρωπίνων ενεργειών που μπορεί να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τούτο συνήθως γίνεται πριν από την κατασκευή των έργων αλλά συχνά γίνεται και σε υπάρχοντα έργα.
2. Προγραμματισμός και εκτέλεση δοκιμών και μετρήσεων για την εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης (εδαφών και υδροφορέων) και της χρονικής εξέλιξής της. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ανωτέρω (π.χ. αλλαγές στις στάθμες νερού, συγκεντρώσεις ρύπων κλπ).
3. Ανάλυση της συμπεριφοράς των έργων με προσομοιώματα (πειραματικά ή αναλυτικά), π.χ. ανάλυση της κίνησης του νερού στο έδαφος σε συνδυασμό με την εξάπλωση ρύπων, ανάλυση της συμπεριφοράς υδροφορέων υπό εκμετάλλευση.
4. Προγραμματισμός, μελέτη και κατασκευή τεχνικών έργων (ή άλλων επεμβάσεων) για την πρόληψη ή την αναστροφή δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως:
 - (α) σχεδιασμός χώρων αποθήκευσης τοξικών και γενικότερα ρυπαντικών ουσιών (πετρελαιοειδή, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα)
 - (β) σχεδιασμός συστημάτων παρακολούθησης της συμπεριφοράς των έργων
 - (γ) απορρύπανση εδαφών και υδροφορέων
 - (δ) συμπύκνωση απορριμμάτων για επαναχρησιμοποίηση της γης
 - (ε) κατασκευή διαφραγμάτων για τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης
 - (στ) μετρήσεις της συγκέντρωσης ρύπων γύρω από χώρους αποθήκευσης.
5. Εκτίμηση του κινδύνου δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από φυσικά φαινόμενα και ανθρώπινες επεμβάσεις (Environmental risk assessment), π.χ. εφαρμογή στατιστικών μεθόδων για τον προσδιορισμό του κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία ή της πιθανότητας αστοχίας κάποιου έργου ή της περιόδου επαναφοράς ενός φαινομένου με δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης.

1.2 Εξέλιξη της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής

Η γένεση της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής μπορεί να αναζητηθεί στις ΗΠΑ περί τις αρχές της δεκαετίας του 1970, με αφορμή την ανάπτυξη της τεχνολογίας κατασκευής πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την τότε ισχύουσα νομοθεσία, για την κατασκευή ενός πυρηνικού σταθμού απαιτείτο η σύνταξη μιας “μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων” (environmental impact statement). Επειδή οι γεωτεχνικοί μηχανικοί ασχολούντο

κυρίως με τα θέματα επιλογής της θέσης των σταθμών (από πλευράς γεωτεχνικών συνθηκών θεμελίωσης, σεισμικότητας κλπ), θεωρήθηκε φυσικό να τους ανατεθεί η σύνταξη και της ανωτέρω “μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων”. Έτσι, τα διάφορα γεωτεχνικά γραφεία άρχισαν να συνεργάζονται και με άλλους εξειδικευμένους επιστήμονες (βιολόγους, γεωλόγους, μετεωρολόγους κλπ) για τα θέματα που ξέφευγαν από τα στενά αντικείμενα της Γεωτεχνικής, με συνέπεια να δημιουργηθούν γραφεία εξειδικευμένα σε θέματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πυρηνικών σταθμών.

Περί τα μέσα της δεκαετίας του 1970 άρχισε να απασχολεί έντονα τους επιστήμονες και το θέμα της τελικής διάθεσης (αποθήκευσης) των ραδιενεργών καταλοίπων των πυρηνικών σταθμών, τα οποία ως γνωστόν συχνά παραμένουν επικίνδυνα για χιλιάδες χρόνια. Οι γεωτεχνικοί μηχανικοί έπαιξαν και στον τομέα αυτό ένα σημαντικό ρόλο με τη διερεύνηση των κατάλληλων τρόπων για την ασφαλή αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων σε υπόγειους θαλάμους σε μεγάλο βάθος, μελετώντας την πιθανή επιρροή των υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων που αναπτύσσονται κατά τη βαθμιαία διάσπαση των ραδιενεργών ουσιών αλλά και την πιθανότητα διαφυγών ραδιενεργών ουσιών προς τα υπόγεια νερά.

Εκτός από τα ανωτέρω θέματα, αν θελήσει κανείς να αναζητήσει το κυριότερο γεγονός που συντέλεσε στην επιβολή γεω-περιβαλλοντικών απαιτήσεων νομοθετικής φύσεως στα έργα Πολιτικού Μηχανικού (και συνεπώς συνετέλεσε στην ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας προστασίας του γεω-περιβάλλοντος), θα αναφερθεί στο θέμα του Love Canal στις ΗΠΑ. Το Love Canal ήταν μια προσπάθεια του William Love (κυβερνήτη της πολιτείας της Νέας Υόρκης) να συνδέσει με μια διώρυγα ναυσιπλοΐας το ανάντη και το κατόντη τμήμα του ποταμού Νιαγάρα στη θέση των γνωστών καταρρακτών, το 1896. Λόγω τεχνικών και οικονομικών δυσχερειών, το έργο τελικώς εγκαταλείφθηκε αφήνοντας μια ημιτελή διώρυγα μήκους 3000 μέτρων περίπου, η οποία το 1942 αγοράστηκε από μια τοπική χημική βιομηχανία για να χρησιμοποιηθεί ως χώρος απόθεσης των αποβλήτων της. Στο διάστημα 1947-1952 απορρίφθηκαν και τάφηκαν στη θέση αυτή περί τους 22000 τόννους στερεών και υγρών αποβλήτων. Τελικά, το 1953 ο χώρος σκεπάστηκε και πωλήθηκε στην πόλη του Νιαγάρα (αντί της τιμής του ενός δολαρίου!!!). Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συμβόλαιο της μεταβίβασης, η πωλήτρια εταιρεία είχε περιλάβει ως όρο ότι στη θέση αυτή δεν θα έπρεπε να κατασκευασθούν κτίρια³ (προφανώς για να καλυφθεί από πιθανές διεκδικήσεις σε περίπτωση δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων). Παρά ταύτα, μέχρι το 1977 στη συγκεκριμένη θέση είχαν κατασκευασθεί αρκετές εκατοντάδες σπίτια και ένα σχολείο, και είχαν αρχίσει έντονα συμπτώματα ανεξήγητων ασθενειών στον πληθυσμό της περιοχής. Το ζήτημα απετέλεσε κύριο θέμα στις ΗΠΑ κατά το 1978 με αποτέλεσμα την εκκένωση της περιοχής, ενώ η σχετική γεωτεχνική έρευνα που εκτελέστηκε απεκάλυψε την παρουσία 248 ρύπων σε υψηλές συγκεντρώσεις, όπως βενζόλιο, τετραχλωράνθρακα, χλωριούχο βινύλιο, διχλωροαιθάνιο, εξαχλωροβενζόλιο, τριχλωροφαινόλες, τολουόλιο κλπ. Αξίζει να τονιστεί εδώ ότι η αποκατάσταση της περιοχής του Love Canal διήρκεσε πάνω από 20 χρόνια και ολοκληρώθηκε μόλις το 2004. Ο χρονικός ορίζοντας των έργων αποκατάστασης ρυπασμένων χώρων είναι συχνά της τάξης των λίγων δεκαετιών, με την τριακονταετία να είναι ο αρχικώς εκλαμβανόμενος ως συμβατικός χρόνος διάρκειας για πολλά από αυτά τα έργα.

³ “ ... the site should not be disturbed by building works”

Με κύριο έναυσμα το ανωτέρω γεγονός, αλλά και αρκετές παρόμοιες περιπτώσεις ρύπανσης του εδάφους που αποκαλύφθηκαν στη συνέχεια, αναλήφθηκαν στις ΗΠΑ νομοθετικές πρωτοβουλίες για τον έλεγχο της απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων και τον καθαρισμό των περιοχών που είχαν ήδη ρυπανθεί. Οι πρωτοβουλίες αυτές κατέληξαν στα εξής:

1. Επιβλήθηκαν αυστηροί περιορισμοί στις μεθόδους αποθήκευσης αποβλήτων με την απαίτηση κατασκευής διπλής επένδυσης στον πυθμένα χώρων διάθεσης, ειδικών συστημάτων συλλογής των στραγγισμάτων και ανίχνευσης πιθανών διαφυγών κλπ. Οι περιορισμοί αυτοί ενσωματώθηκαν στην πράξη RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) που είχε ήδη θεσπισθεί από το 1976. Η θέσπιση αυστηρών προδιαγραφών για την κατασκευή των χώρων απόθεσης αποβλήτων είχε σαν συνέπεια την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας και των μεθόδων σχεδιασμού, κατασκευής και παρακολούθησης της συμπεριφοράς τέτοιων έργων. Ίσως για πρώτη φορά στην ιστορία η ανάπτυξη της τεχνολογίας ακολούθησε τη θέσπιση των σχετικών κανονισμών, ενώ γενικώς συμβαίνει το αντίστροφο: πρώτα αναπτύσσεται κάποια τεχνολογία και στη συνέχεια επιβάλλεται η υποχρεωτική εφαρμογή της μέσω των κανονιστικών διατάξεων.
2. Το 1980, θεσπίστηκε από το Κογκρέσσο η νομοθετική πράξη CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) με την οποία δημιουργήθηκε ένα Ειδικό Ταμείο (το κοινώς ονομαζόμενο Superfund) για τη χρηματοδότηση έργων καθαρισμού και απορρύπανσης περιοχών στις οποίες οι υπεύθυνοι της ρύπανσης είτε ήταν άγνωστοι είτε βρισκόταν σε αδυναμία να αναλάβουν το κόστος των απαιτούμενων έργων αποκατάστασης της ρύπανσης (όπως π.χ. στην περιοχή του Love Canal). Τα τελευταία 20 χρόνια το Ταμείο αυτό χρηματοδότησε χιλιάδες έργα απορρύπανσης στις ΗΠΑ, ενώ στα πλαίσια των σχετικών δραστηριοτήτων αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι ανάλυσης των φαινομένων της ρύπανσης και νέες τεχνολογίες απορρύπανσης εδαφών και υπογείων υδροφορέων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μόνον το 1990 το Ταμείο Superfund χρηματοδότησε έργα δυο δισεκατομμυρίων δολαρίων για την περιβαλλοντική αποκατάσταση 1200 περιοχών που είχαν ρυπανθεί. Τα τελευταία χρόνια η νομοθετική ρύθμιση CERCLA προσαρμόστηκε στις νέες απαιτήσεις και ενισχύθηκε με την πράξη SARA (Superfund Amendments and Reauthorization Act).

Η Ευρωπαϊκή πρακτική ακολούθησε αντίστοιχη ανάπτυξη με την Αμερικανική, όσον αφορά την επιβολή νομοθετικών περιορισμών στα επί μέρους θέματα προστασίας του γεω-περιβάλλοντος από τη ρύπανση, με τη θέσπιση κατά την τελευταία εικοσαετία πληθώρας Οδηγιών (Council Directives) που ισχύουν στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για την ώρα όμως, δεν υπάρχουν ακόμα διατάξεις που να ρυθμίζουν συνολικά τα ζητήματα χαρακτηρισμού και αποκατάστασης περιοχών που έχουν πιθανά ρυπανθεί.

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να αναπτύσσεται περιβαλλοντική ευαισθησία σε θέματα προστασίας από τη ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδροφορέων, η οποία εκφράζεται με τον ορθολογικό σχεδιασμό των νέων χώρων απόθεσης αστικών απορριμμάτων (χωματερών) αλλά και την απορρύπανση περιοχών που έχουν ρυπανθεί. Ενδεικτικά αναφέρεται το θέμα της ρύπανσης του εδάφους από την ταφή δοχείων με φαινόλες στην περιοχή του εργοστασίου της ΕΑΒ στο Σχηματάρι (που αποκαλύφθηκε το 1984) και το θέμα της ρύπανσης της λίμνης Κουμουνδούρου με ελαφρά πετρελαιοειδή, λόγω διαφυγών

υδρογονανθράκων από τα παρακείμενα διυλιστήρια της περιοχής Ασπροπύργου, μέσω του υπογείου υδροφορέα (που αποκαλύφθηκε το 1993).

1.3 Το θεσμικό πλαίσιο

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο εδάφιο, η ραγδαία ανάπτυξη της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής οφείλεται κυρίως στη θέσπιση αυστηρών περιοριστικών κανόνων στους τρόπους αποθήκευσης και διάθεσης των αποβλήτων στο έδαφος και τα υπόγεια νερά. Η θέσπιση των κανόνων αυτών απαιτήσε έρευνες που είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεθόδων ανάλυσης των σχετικών φαινομένων, καθώς και μιας σειράς τεχνολογιών προστασίας από τη ρύπανση, περιορισμού επέκτασης της ρύπανσης αλλά και απορρύπανσης εδαφών και υδροφορέων. Στα επόμενα παρουσιάζεται συνοπτικά το ισχύον θεσμικό πλαίσιο για θέματα Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής σε διάφορες χώρες.

1.3.1 Στις ΗΠΑ

Τα θέματα διαχείρισης στερεών αποβλήτων⁴ (solid waste management) διέπονται από τη νομοθετική πράξη RCRA (Resource Conservation and Recovery Act), US Code 42, Chapter 82, που θεσπίσθηκε αρχικώς το 1976 και έκτοτε έχει συμπληρωθεί επανειλημμένως. Ο όρος “διαχείριση” περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες για την αποθήκευση, διαχωρισμό, συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και τελική διάθεση των αποβλήτων. Συνοπτικά το εδάφιο C (subtitle C) της πράξης RCRA αναφέρεται στα λεγόμενα “επικίνδυνα” ή “τοξικά” απόβλητα (τα οποία ορίζονται στο Κεφάλαιο 2 του παρόντος βιβλίου), ενώ το εδάφιο D (subtitle D) της πράξης RCRA αφορά τα υπόλοιπα (μη-επικίνδυνα) απόβλητα. Για κάθε μια από τις δυο κατηγορίες καθορίζονται οι απαιτήσεις μελέτης, κατασκευής και παρακολούθησης της συμπεριφοράς των χώρων απόθεσης. Οι διατάξεις που εφαρμόζουν την πράξη RCRA δημοσιεύονται στο εδάφιο 40 των Ομοσπονδιακών Κανονισμών (Title 40, Code of Federal Regulations - CFR).

Τα θέματα ρύπανσης και αποκατάστασης του γεω-περιβάλλοντος ρυθμίζονται, όπως προαναφέρθηκε, από την πράξη CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) και τις τροποποιήσεις της, όπως αυτές καθορίζονται από την πράξη SARA (Superfund Amendments and Reauthorization Act). Και οι δύο πράξεις περιέχονται στο US Code 42, Chapter 103. Οι διατάξεις που εφαρμόζουν την πράξη CERCLA δημοσιεύονται επίσης στο εδάφιο 40 των Ομοσπονδιακών κανονισμών, το οποίο αφορά την προστασία του περιβάλλοντος.

Εκτός των ανωτέρω, διατάξεις και οδηγίες που σχετίζονται με θέματα προστασίας του γεω-περιβάλλοντος θεσπίζονται και από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (United States Environmental Protection Agency - USEPA).

Το σύνολο των νόμων των ΗΠΑ (US Code) βρίσκεται δημοσιευμένο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www4.law.cornell.edu/uscode/>, ενώ οι κανονισμοί δημοσιεύονται στο CFR online στην ακόλουθη διεύθυνση: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>.

1.3.2 Στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θεσπισθεί Οδηγίες (Directives) που θέτουν το θεσμικό πλαίσιο για τη διάθεση των αποβλήτων, τη ρύπανση των εδαφών κλπ. Στην Ελλάδα η εφαρμογή των Οδηγιών αυτών είναι υποχρεωτική.

Το σύνολο της κοινοτικής νομοθεσίας είναι δημοσιευμένο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.europa.eu.int/eur-lex/el/index.html> (στα ελληνικά) και <http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/index.html> (στα αγγλικά).

Οι κυριότερες Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (κατά θέμα και χρονολογική σειρά) είναι:

Οδηγίες που αφορούν τη ρύπανση υπογείων υδάτων

80/68/EEC: Council Directive of 17 December 1979 on the protection of groundwater against pollution caused by certain dangerous substances.

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. Αυτή η Οδηγία έχει σαν σκοπό την ενοποίηση ενός μεγάλου αριθμού βασικών κοινοτικών οδηγιών σχετικών με τη διαχείριση και προστασία των υδάτινων πόρων, συμπεριλαμβανόμενης και της 1980/68/EEC για τα υπόγεια νερά, τις οποίες και θα αντικαταστήσει σταδιακά (το αργότερο ως το 2013). Στο μέλλον θα συμπληρωθεί με πρόσθετες Οδηγίες που θα αφορούν συγκεκριμένες ουσίες ή ομάδες ουσιών.

COM/2003/550 final, COD 2003/0210: Proposal of 19 September 2003 for a Directive of the European Parliament and of the Council for the protection of groundwater against pollution. Πρόταση Οδηγίας η οποία δεν έχει ακόμα οριστικοποιηθεί.

Οδηγίες που αφορούν τη διάθεση και τη διαχείριση των αποβλήτων

75/442/EEC: Council Directive of 15 July 1975 on waste. Η Οδηγία αυτή είναι από τις κυριότερες οδηγίες και περιλαμβάνει το γενικό πλαίσιο για τη διάθεση αποβλήτων. Απαιτεί άδειες από όλες τις εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται, αποθηκεύουν ή αποθέτουν στερεά απόβλητα. Τροποποιείται από την Οδηγία 91/156/EE amending Directive 75/442/EEC on waste, η οποία συμπληρώνει λεπτομέρειες, όπως π.χ. στοιχεία που πρέπει να περιλαμβάνει ένα πλάνο διαχείρισης αποβλήτων, ή μια άδεια διάθεσης αποβλήτων. Συνοδεύεται από την απόφαση της Επιτροπής 96/350/EC για την προσαρμογή των παραρτημάτων II A και II B της Οδηγίας 75/442/EEC του Συμβουλίου για τα απόβλητα, η οποία καθορίζει τις κατηγορίες των μεθόδων διάθεσης και ανάκτησης αποβλήτων (96/350/EC Commission Decision adapting Annexes IIA and IIB to Council Directive 75/442/EEC on waste).

91/689/EEC: Council Directive of 3 December 1991 on hazardous waste. Αυτή η Οδηγία αναφέρεται με πολύ γενικούς όρους στη διαχείριση τοξικών αποβλήτων. Έχει όμως ενδιαφέρον γιατί περιλαμβάνει λίστες που απαριθμούν συγκεκριμένα επικίνδυνα απόβλητα, καθώς και τα χαρακτηριστικά των επικινδύνων αποβλήτων.

96/61/EC: Council Directive of 24 September 1996 concerning Integrated Pollution Prevention and Control. Η κεντρική Οδηγία για μια ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των εκπομπών ρύπων από βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες. Γνωστή και ως IPPC.

99/31/EC: Council Directive of 26 April 1999 on the landfill of waste. Αυτή η Οδηγία για την κατασκευή, λειτουργία και τελική αποκατάσταση χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ) επιβάλλει και περιοδικές δειγματοληψίες από γεωτρήσεις και χημικές αναλύσεις για τον έλεγχο της ποιότητας των υπογείων νερών.

Οδηγίες που αφορούν τη διάθεση ειδικών κατηγοριών αποβλήτων

75/439/EEC: Council Directive of 16 June 1975 on the disposal of waste oils.

78/176/EEC: Council Directive of 20 February 1978 on waste from the titanium dioxide industry.

82/883/EEC: Council Directive of 3 December 1982 on procedures for the surveillance and monitoring of environments concerned by waste from the titanium dioxide industry.

83/29/EEC: Council Directive of 24 January 1983 amending Directive 78/176/EEC.

86/278/EEC: Council Directive of 12 June 1978 on the protection of the environment and particularly the soil, when sewage sludge is used in agriculture.

87/217/EEC: Council Directive of 19 March 1987 on the prevention and reduction of environmental pollution by asbestos.

89/428/EEC: Council Directive of 21 June 1989 on procedures for harmonizing the programmes for the reduction and eventual elimination of pollution caused by waste from the titanium dioxide industry.

96/59/EC: Council Directive of 16 September 1996 on the disposal of polychlorinated biphenyls and polychlorinated terphenyls (PCB/PCT).

Οδηγίες που αφορούν τα ραδιενεργά κατάλοιπα

75/406/Euratom: Council Decision of 26 June 1975 adopting a programme on the management and storage of radioactive waste.

82/74/Euratom: Commission recommendation of 3 February 1982 on the storage and reprocessing of irradiated nuclear fuels.

89/664/Euratom: Council Decision of 15 December 1989 adopting a specific research and technical development programme for the European Energy Community in the field of management and storage of radioactive waste (1990 to 1994).

Σε πολλές Ευρωπαϊκές Χώρες, πέραν των Οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης που περιλαμβάνουν το γενικό θεσμικό πλαίσιο, έχουν θεσπισθεί και κανονιστικές διατάξεις που εξειδικεύουν τις ανωτέρω Οδηγίες. Ακολουθεί ενδεικτικός κατάλογος τέτοιων κανόνων στην Ελλάδα και σε ορισμένες από τις Ευρωπαϊκές χώρες:

Ελλάδα

1986 Νόμος 1650/1986 (ΦΕΚ 160Α): Για την προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με αυτόν το Νόμο, η "προστασία" ορίζεται σαν μια ευρύτερη έννοια που περιλαμβάνει πρόληψη και αποκατάσταση, διατήρηση και βελτίωση.

1988 Κοινή Υπουργική Απόφαση 26857/553/1988 (ΦΕΚ 196B): Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία των υπόγειων νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών. Πρόκειται ουσιαστικά για τη μετάφραση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για τα υπόγεια νερά 80/68/EEC, η οποία θα αντικατασταθεί από τη 2000/60/EC, σταδιακά μέχρι το 2013 και μετέπειτα εξ ολοκλήρου. Περιλαμβάνει δύο λίστες με ουσίες (1) υψηλής και (2) μετρίου επικινδυνότητας για τα υπόγεια νερά. Μια ενδιαφέρουσα διαφορά είναι ότι, ενώ η Κοινοτική Οδηγία δίνει ένα μέγιστο περιθώριο προσαρμογής τεσσάρων χρόνων, η Ελληνική Απόφαση δεν απαιτεί αλλαγές στις άδειες διάθεσης αποβλήτων που έχουν εκδοθεί πριν την έναρξη ισχύος της Απόφασης.

1997 Κοινή Υπουργική Απόφαση 19396/1546/1997 (ΦΕΚ 604B): Καλύπτει τη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων, εφαρμόζοντας την 91/689/EC. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το Άρθρο 12, που ορίζει ότι σε περιπτώσεις που ο ιδιοκτήτης ενός εγκαταλειμμένου ρυπασμένου χώρου δεν μπορεί να βρεθεί, το κράτος αναλαμβάνει την εξυγίανση αυτού του χώρου.

1997 Κοινή Υπουργική Απόφαση 114218/1997 (ΦΕΚ 1016B): Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Ο κοινός τόπος μεταξύ του αντικείμενου αυτής της Απόφασης και των θεμάτων προστασίας του υπεδάφους είναι οι

διατάξεις που ρυθμίζουν θέματα σχεδιασμού και λειτουργίας χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στα υπόγεια νερά και το υπέδαφος.

2002 Κοινή Υπουργική Απόφαση 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572B): Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων. Προσαρμόζει την 99/31/EC (την οποία σε μεγάλο βαθμό μεταφράζει) στην ελληνική νομοθεσία. Η 114218/1997 εξακολουθεί να ισχύει με μικρές αλλαγές.

2002 Νόμος 3010/2002 (ΦΕΚ 91 Α): Μεταφέρει την Οδηγία 96/61/EK για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των εκπομπών ρύπων στην ελληνική νομοθεσία.

2003 Κοινή Υπουργική Απόφαση 11014/703/Φ104/2003 ΦΕΚ 332B: Προσδιορίζει τη διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και έγκρισης περιβαλλοντικών όρων σύμφωνα με την 96/61/EK.

2003 Νόμος 3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α): Εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία με την 2000/60/EK, η οποία δίνει το γενικό πλαίσιο για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Βρετανία

1986 Directive on Landfilling Wastes, Waste Management Paper No 26, Dept. of the Environment.

1988 Health and Safety Commission "Control of Substances Hazardous to Health" (COSHH Regulations).

1994 Environmental Protection Act, Part II "Waste on Land" (May 1994).

2000 Environmental Protection Act, Part IIA, "On Contaminated Land" (March 2000).

Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος της Βρετανίας προσφέρει εκτενείς δημοσιεύσεις για τη ρύπανση και προστασία του υπεδάφους (Contaminated Land) στο διαδίκτυο: <http://www.environment-agency.gov.uk/>.

Ολλανδία

1993 General Administrative Order concerning Landfilling of Solid Wastes.

1993 Directive for the Construction of Basal Lining Systems for Landfills and Storage Sites.

1998 Soil Protection Act, Ministry of Spatial Planning, Housing and Environment.

Τα παραπάνω, μαζί και με άλλες οδηγίες για την προστασία του εδάφους είναι διαθέσιμα, στα αγγλικά, στη διεύθυνση: <http://www.vrom.nl/international/>.

Ελβετία

1990 Federal Ordinance for the Treatment of Waste (OTW).

1998 Federal Ordinance on Soil Pollution.

1998 Federal Ordinance relating to remediation of polluted sites.

Γερμανία

1991 Geotechnics of Landfills and Contaminated Land (GLC) - Technical Recommendations, German Geotechnical Society.

1998 Federal Soil Protection Act of 17 March 1998 (Federal Law Gazette I p. 502).

Πηγές και αποδεκτά όρια ρύπανσης

2.1 Γενικά

Η ρύπανση των εδαφών και του υπόγειου νερού οφείλεται στην ανεξέλεγκτη διάθεση αποβλήτων που περιέχουν ρυπαντικές ουσίες. Σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 75/442/EEC και 91/156/EEC ο όρος “απόβλητα” περιλαμβάνει όλες τις ουσίες και τα αντικείμενα τα οποία απορρίπτονται ή προβλέπεται να απορριφθούν ή απαιτείται να απορριφθούν¹. Αντίστοιχος είναι και ο ορισμός των αποβλήτων στις ΗΠΑ σύμφωνα με την πράξη RCRA (Resource Conservation and Recovery Act), όπου γίνεται και περαιτέρω διαχωρισμός των αποβλήτων σε:

1. Υδαρή παραπροϊόντα μεταλλευτικών δραστηριοτήτων (mining waste).
2. Ειδικά πυρηνικά απόβλητα υψηλής ραδιενέργειας.
3. Απόβλητα μή-συγκεντρωμένης διάθεσης (non-point source discharge or diffused discharge), που περιλαμβάνουν τα κάθε είδους φάρμακα και λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις.
4. Αστικά λύματα (domestic sewage).
5. Στερεά απόβλητα (solid waste), που περιλαμβάνουν όλα τα στερεά και υγρά απόβλητα που δεν περιλαμβάνονται στις παραπάνω κατηγορίες.

Ο ορισμός των “στερεών αποβλήτων” είναι πολύ γενικός και ουσιαστικά περιλαμβάνει την πλειονότητα των αποβλήτων που μπορούν να ρυπάνουν το έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς (γεω-περιβάλλον). Τα στερεά απόβλητα διαχωρίζονται περαιτέρω σε δυο κατηγορίες:

1. Τα *επικίνδυνα* (hazardous) ή *τοξικά* απόβλητα, των οποίων οι αποδεκτοί τρόποι διάθεσης περιγράφονται στο εδάφιο C (subtitle C) της RCRA.
2. Τα λοιπά στερεά απόβλητα (δηλαδή τα μή-επικίνδυνα), των οποίων οι αποδεκτοί τρόποι διάθεσης περιγράφονται στο εδάφιο D (subtitle D) της RCRA.

Σύμφωνα με το εδάφιο C της RCRA, ένα στερεό απόβλητο χαρακτηρίζεται ως επικίνδυνο εάν πληροί ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα κριτήρια:

1. Περιλαμβάνεται στον κατάλογο των επικινδύνων αποβλήτων της RCRA και υπερβαίνει τα αποδεκτά όρια τοξικότητας κατά τη δοκιμή EP (Extraction Procedure toxicity test, κατά την οποία από το αλεσμένο στερεό δείγμα εκχυλίζεται ο ρύπος με τη βοήθεια οξέος και στη συνέχεια φιλτράρεται και αναλύεται το εκχύλισμα) που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

¹ waste shall mean any substance or object which the holder discards or intends or is required to discard

ΟΡΙΑ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΗΓΙΑ (εδάφιο C της RCRA)

| Τοξική ουσία | Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση στο εκχύλισμα εδαφικού δείγματος (mg/l) |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Αρσενικό | 5 |
| Βάριο | 100 |
| Κάδμιο | 1 |
| Χρώμιο | 5 |
| Μόλυβδος | 5 |
| Υδράργυρος | 0.2 |
| Σελήνιο | 1 |
| Άργυρος | 5 |
| Ενδρίνη (Endrin) | 0.02 |
| Λινδάνιο (Lindane) | 0.4 |
| Μεθοξυχλώριο (Methoxychlor) | 10 |
| Τοξαφαίνιο (Toxaphene) | 0.5 |
| 2,4 D | 10 |
| 2,4,5 T - Silvex | 1 |

Η παρουσία των ανωτέρω επικίνδυνων ουσιών στο υπόγειο νερό θεωρείται ότι προκαλεί ρύπανση, εάν η συγκέντρωσή τους υπερβαίνει το 1% των τιμών του παραπάνω πίνακα.

Τα επικίνδυνα απόβλητα που περιλαμβάνονται στον κατάλογο αυτό είναι οργανικά και ανόργανα και ανήκουν στους εξής τύπους:

- (α) κοινοί διαλύτες και προϊόντα επεξεργασίας μετάλλων
 - (β) προϊόντα κατεργασίας ξύλου και οργανικά προϊόντα της χημικής βιομηχανίας
 - (γ) διάφορα παραπροϊόντα της χημικής βιομηχανίας, προϊόντα έκπλυσης και υπολείμματα χημικών ουσιών
 - (δ) 197 προϊόντα που χαρακτηρίζονται ως εξόχως επικίνδυνα και 466 προϊόντα που χαρακτηρίζονται ως τοξικά. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται προϊόντα όπως το ναφθαλένιο, το βενζόλιο, το τριχλωροαιθυλένιο, ο τετραχλωράνθρακας, οι φαινόλες, οι ακετόνες αλλά και τα βαρέα μέταλλα (Hg, Pb) και άλλες επικίνδυνες ουσίες, όπως το αρσενικό, τα κυανιούχα, ο χαλκός, το χρώμιο, κλπ.
2. Το απόβλητο είναι μείγμα ουσιών εκ των οποίων τουλάχιστον μια χαρακτηρίζεται ως επικίνδυνο απόβλητο.
 3. Το απόβλητο προέρχεται από την επεξεργασία, αποθήκευση ή απόρριψη επικινδύνων αποβλήτων και περιέχει επικίνδυνες ουσίες σε συγκέντρωση ανώτερη από κάποια αποδεκτά όρια, τα οποία καθορίζονται με τη δοκιμή TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, πρόκειται για μια άλλη πρότυπη δοκιμή όπου μετά από έκπλυση του απόβλητου με οξέα μετριέται η συγκέντρωση του ρύπου στο εκχύλισμα, είναι βελτίωση της δοκιμής EP).
 4. Το απόβλητο χαρακτηρίζεται ως εύφλεκτο. Σε περίπτωση υγρών, μια ουσία χαρακτηρίζεται ως εύφλεκτη εάν το σημείο αναφλέξεως είναι μικρότερο των 60°C. Μια στερεά ουσία χαρακτηρίζεται ως εύφλεκτη εάν μπορεί να αναφλεγεί, υπό συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, με τριβή, απορρόφηση υγρασίας ή ανάφλεξη.
 5. Το απόβλητο χαρακτηρίζεται ως διαβρωτικό, δηλαδή έχει $pH < 2$ ή $pH > 12.5$ ή διαβρώνει το χάλυβα με ρυθμό μεγαλύτερο των 6.35 mm ανά έτος σε θερμοκρασία 55°C.
 6. Το απόβλητο είναι ασταθές, δηλαδή μπορεί να δώσει εκρηκτικά μείγματα ή να δημιουργήσει τοξικά αέρια σε ποσότητες επικίνδυνες για το περιβάλλον.

Σημειώνεται ότι ορισμένα απόβλητα που συχνά χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα εξαιρούνται των ειδικών απαιτήσεων διάθεσης του εδαφίου C της RCRA και υπάγονται στις απαιτήσεις του εδαφίου D (για τα μή-επικίνδυνα απόβλητα). Τέτοια απόβλητα είναι:

1. Τα οικιακά επικίνδυνα απόβλητα (Household Hazardous Waste - HHW), που περιλαμβάνουν ορυκτέλαια αυτοκινήτων, οργανικούς διαλύτες, χρώματα, απορρυπαντικά, γεωργικά φάρμακα, οξέα συσσωρευτών κλπ, που συχνά συναντώνται σε μικρές ποσότητες στα οικιακά απορρίμματα.
2. Απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.
3. Ιπτάμενη τέφρα και τέφρα κλιβάνων.
4. Παραπροϊόντα ανθρακορυχείων, όπως άγονα υλικά και προϊόντα εκπλύσεως, που επιστρέφουν για απόθεση στο χώρο του ορυχείου.
5. Προϊόντα κατεδαφίσεων δομικών έργων.
6. Ιλύες που προκύπτουν από την επεξεργασία λυμάτων.
7. Παραπροϊόντα εργοστασίων παραγωγής τσιμέντου.

Στις ΗΠΑ μόνον το 10-15% των στερεών αποβλήτων χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα και διατίθενται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εδαφίου C. Τα υπόλοιπα (μή-επικίνδυνα) απόβλητα διατίθεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εδαφίου D είτε στο έδαφος (σε ποσοστό 90%) είτε σε υγρούς αποδέκτες (σε ποσοστό 10%).

2.2 Κατηγορίες Στερεών Αποβλήτων

Σύμφωνα με την πηγή προέλευσής τους, τα στερεά απόβλητα διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

2.2.1 Αστικά απορρίμματα

Τα αστικά απορρίμματα (municipal waste) είναι ετερογενή μείγματα αποβλήτων οικιακών ή εμπορικών δραστηριοτήτων. Η σύνθεσή τους ποικίλει αναλόγως του τύπου των δραστηριοτήτων της συγκεκριμένης κοινωνίας και γενικώς αποτελούνται από τρόφιμα, φυτικές ύλες, χαρτί, πλαστικά, ελαστικά, υφάσματα, ξύλο, γυαλί κλπ. Συχνά, τα αστικά απορρίμματα περιέχουν και μεγαλύτερα αντικείμενα, όπως κορμούς δένδρων, μεταλλικές συσκευές, υλικά κατεδαφίσεων κλπ. Επίσης, συνήθως τα αστικά απορρίμματα περιέχουν και μικρές ποσότητες επικίνδυνων ουσιών όπως ορυκτέλαια, χρώματα, διαλύτες, γεωργικά φάρμακα, απορρυπαντικά κλπ, τα οποία όμως δεν προκαλούν τον χαρακτηρισμό της συνολικής μάζας των αστικών αποβλήτων ως επικίνδυνων (βλέπε προηγούμενο εδάφιο). Ο ακόλουθος Πίνακας παρουσιάζει τη μέση σύνθεση των αστικών απορριμμάτων σε διάφορες πόλεις και χώρες του κόσμου:

ΜΕΣΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

| Υλικό | Πόλη ή χώρα προέλευσης | | | | | |
|--------------------------|------------------------|--------|---------|-----|----------|----------|
| | Νέα Υόρκη | Πεκίνο | Μπαγκόκ | ΗΠΑ | Βρετανία | Γερμανία |
| Μέταλλα | 5 | 1 | 1 | 10 | 8 | 5 |
| Χαρτί | 22 | 5 | 25 | 37 | 30 | 31 |
| Πλαστικά | - | 1 | - | 7 | - | - |
| Ξύλο, δέρμα | 3 | 1 | 7 | 6 | 1 | 4 |
| Υφάσματα | - | - | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Τρόφιμα και φυτικά υλικά | 20 | 45 | 44 | 26 | 16 | 16 |
| Γυαλί | 6 | 1 | 1 | 10 | 8 | 13 |
| Λοιπά ανόργανα υλικά | 43 | 46 | 19 | 2 | 35 | 29 |

Από τον πίνακα αυτό προκύπτει η σημαντική διαφορά στη σύσταση των αστικών απορριμμάτων. Στις αναπτυσσόμενες χώρες τα απορρίμματα περιέχουν μικρότερες ποσότητες ανακυκλώσιμων υλικών (π.χ. χαρτί, μέταλλα, γυαλί), επειδή είναι περισσότερο οικονομική η επαναχρησιμοποίησή τους. Το ίδιο συμβαίνει και στις πολύ αναπτυγμένες χώρες για διαφορετικούς όμως λόγους (επειδή είναι περισσότερο αναπτυγμένη η περιβαλλοντική συνείδηση και διατίθενται προγράμματα ανακύκλωσης).

Σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ (1995) στην Ελλάδα τα αστικά (οικιακά) απορρίμματα ανέρχονται σε 3.1 εκατομμύρια τόννους ετησίως και καταλαμβάνουν όγκο 17.5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Εξ αυτών το 50% περίπου παράγεται στο λεκανοπέδιο της Αττικής. Η μέση σύνθεση των αστικών απορριμμάτων στην Ελλάδα περιγράφεται στον ακόλουθο πίνακα:

| ΜΕΣΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (1995) | |
|------------------------------------------------------|-------------|
| Υλικό | Ποσοστό (%) |
| Χαρτί | 20.0 |
| Μέταλλα | 4.5 |
| Γυαλί | 4.5 |
| Πλαστικό | 8.5 |
| Ύφασμα, ξύλο, δέρμα | 5.0 |
| Αδρανή | 3.0 |
| Ζυμώσιμα | 49.0 |
| Λοιπά | 5.5 |

Ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάζει το υψηλό ποσοστό των πλαστικών υλικών, που είναι το μεγαλύτερο μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

2.2.2 Απόβλητα ορυχείων

Τα απόβλητα αυτά παράγονται κατά την εξόρυξη ορυκτών πόρων σε μεταλλεία, ανθρακορυχεία (π.χ. λιγνιτορυχεία), κεραμοουργεία κλπ. Κατά την εξόρυξη μεταλλευμάτων, το ορυκτό θρυμματίζεται ή κονιορτοποιείται και συνήθως ακολουθεί έκπλυση με νερό. Στις περιπτώσεις αυτές τα απόβλητα αποτελούνται από ένα υδαρές μίγμα που περιέχει χονδροκόκκα τεμάχια (μεγέθους άμμου) αλλά και λεπτόκοκκα κολλοειδή. Πριν από την απόρριψη των αποβλήτων, γίνεται διαχωρισμός (συνήθως με καθίζηση) του χονδροκόκκου κλάσματος (tailings) από το υδαρές λεπτόκοκκο κλάσμα (slimes). Τα υδαρή απόβλητα των ορυχείων αποτίθενται συνήθως σε ταμιευτήρες που δημιουργούνται με περιμετρικά αναχώματα που κατασκευάζονται από τα χονδροκόκκα υλικά (tailing dams). Επίσης, συχνά τα χονδροκόκκα υλικά χρησιμοποιούνται για την επαναπλήρωση των ορυχείων (όχι όμως και τα υδαρή λεπτόκοκκα που μπορεί να προκαλέσουν την κατάκλυση του ορυχείου με νερά). Τέλος, τα υλικά του χονδροκόκκου κλάσματος, εάν δεν χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά υλικά (π.χ. σε επιχώματα οδοποιίας). Η μεγαλύτερη δυσχέρεια έγκειται στη διάθεση των υδαρών λεπτοκόκκων υλικών, τα οποία συνήθως είναι με τη μορφή αιωρήματος και έχουν πολύ μικρή διατμητική αντοχή. Κατά συνέπεια οι αποθέσεις τους είναι ασταθείς και παρουσιάζουν μεγάλες καθιζήσεις, οι οποίες εξελίσσονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Στην Ελλάδα η κύρια πηγή αποβλήτων ορυχείων είναι τα άγονα και η τέφρα των λιγνιτορυχείων (Πτολεμαΐδος και Μεγαλοπόλεως). Τα υλικά αυτά είτε αποτίθενται σε ειδικούς χώρους απόθεσης είτε χρησιμοποιούνται για την επαναπλήρωση των

ορυχείων. Αν και η περιεκτικότητα σε νερό των υλικών αυτών δεν είναι πολύ μεγάλη², οι αποθέσεις τους παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα αστάθειας, λόγω της υψηλής πλαστικότητας των αργίλων και της πλήρους αναμόχλευσης που υφίστανται.

2.2.3 Βιομηχανικά απόβλητα

Στα βιομηχανικά απόβλητα υπάγονται τα απόβλητα των χημικών βιομηχανιών όπως των βιομηχανιών φαρμακευτικών προϊόντων, τροφίμων, πλαστικών, χρωμάτων, διυλιστηρίων πετρελαιοειδών, βιομηχανιών χάρτου και χαρτόμαζας και βιομηχανιών ξυλείας. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται και τα απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Η μέση σύνθεση των πάσης φύσεως βιομηχανικών αποβλήτων στις ΗΠΑ κατά την πενταετία 1985-1990 φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα (Daniel, 1993).

ΣΥΝΘΕΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΗΠΑ

| Είδος αποβλήτων | Αναλογία (%) |
|--------------------------------|--------------|
| Χημικά και συγγενή προϊόντα | 47.9 |
| Μέταλλα | 18.0 |
| Πετρελαιοειδή και άνθρακας | 11.8 |
| Μεταλλικά αντικείμενα | 9.6 |
| Πλαστικά και ελαστικά προϊόντα | 5.5 |
| Λοιπά | 7.2 |

Κατά την τελευταία δεκαετία, στις ΗΠΑ τα βιομηχανικά απόβλητα υπάγονται στην κατηγορία των επικίνδυνων αποβλήτων σε ποσοστό 15% περίπου, αλλά το ποσοστό αυτό αυξάνει συνεχώς, καθώς η διαρκώς αυξανόμενη περιβαλλοντική ευαισθησία συντελεί στην υπαγωγή ολοένα και περισσότερων ρύπων στην κατηγορία των επικίνδυνων ουσιών και στην ταυτόχρονη μείωση των μέγιστων αποδεκτών ορίων του ρυπαντικού φορτίου για το χαρακτηρισμό των διαφόρων ουσιών ως επικίνδυνων. Μέχρι το 1978, στις ΗΠΑ, τα βιομηχανικά απόβλητα, ανεξαρτήτως της φύσεώς τους, δηλαδή τόσο τα στερεά όσο και τα υγρά απόβλητα, σε ποσοστό περίπου 80%, διετίθεντο σε κοινούς χώρους απόθεσης χωρίς ειδικά μέτρα προστασίας (δηλαδή χωρίς κάποιο είδος διαχωριστικής μεμβράνης για την αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους). Από το 1981, όμως, έχει απαγορευθεί η ταφή κάθε είδους αποβλήτων σε υγρή κατάσταση, ακόμη και αφού τοποθετηθούν σε στεγανά δοχεία. Επιπλέον, έχει απαγορευθεί η διάθεση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στους χώρους ταφής που προορίζονται για στερεά απόβλητα, ακόμη και στην περίπτωση που οι χώροι αυτοί διαθέτουν ειδικά συστήματα προστασίας³ και συλλογής του στραγγίσματος.

2.2.4 Επικίνδυνα απόβλητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα ποσοστό των βιομηχανικών αποβλήτων (περί το 15%) αλλά και ορισμένες άλλες κατηγορίες αποβλήτων (όπως τα νοσοκομειακά απόβλητα) χαρακτηρίζονται ως *επικίνδυνα* (hazardous) και η διάθεσή τους γίνεται με πολύ αυστηρούς περιορισμούς. Στο εδάφιο 2.1 περιγράφηκαν εν συντομία τα κριτήρια που εφαρμόζονται στις ΗΠΑ για τον χαρακτηρισμό των στερεών αποβλήτων ως επικίνδυνων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ο χαρακτηρισμός των στερεών αποβλήτων ως επικίνδυνων γίνεται με βάση την Οδηγία

² επειδή δεν γίνεται έκπλυση κατά τη διαδικασία της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων

³ δηλαδή διπλές στεγανωτικές μεμβράνες κλπ.

91/689/EEC. Αναφορά στην Οδηγία αυτή δίνεται στο εδάφιο 1 του παρόντος Κεφαλαίου.

Γενικώς, τα επικίνδυνα απόβλητα κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες:

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).
Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα απόβλητα της βιομηχανίας γεωργικών φαρμάκων, της φαρμακευτικής βιομηχανίας, τα υδατοδιαλυτά χρώματα και διαλύτες κλπ.
3. Οργανικά μή-υδατοδιαλυτά απόβλητα (Non-Aqueous Phase Liquids - NAPLs).
Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα ελαιοχρώματα, οι διάφοροι ελαιώδεις διαλύτες, τα λιπαντικά κλπ. Τα απόβλητα της κατηγορίας αυτής διακρίνονται στα ελαφρά (Light NAPLs), τα οποία είναι ελαφρότερα από το νερό, όπως η βενζίνη, η κηροζίνη, το πετρέλαιο Diesel κλπ, και τα βαρέα (Dense NAPLs), όπως το τριχλωροαιθυλένιο, ο πιο συχνά ανιχνευόμενος οργανικός ρύπος στο υπόγειο νερό στις ΗΠΑ, που χρησιμοποιείται ευρύτατα ως διαλύτης. Τα ελαφρά οργανικά μή-υδατοδιαλυτά απόβλητα, επειδή επιπλέουν στο νερό, συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και εξαπλώνονται κυρίως οριζόντια. Αντίθετα, τα βαρέα απόβλητα βυθίζονται και ρυπαίνουν τους υπόγειους υδροφορείς εις βάθος. Είναι προφανές ότι οι τεχνικές απορρύπανσης του εδάφους και των υπογείων υδροφορέων είναι διαφορετικές για τα βαρέα και τα ελαφρά μή-υδατοδιαλυτά απόβλητα.
4. Επικίνδυνα απόβλητα με τη μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύων και στερεών.
Στην κατηγορία αυτή υπάγονται παχύρρευστα απόβλητα διυλιστηρίων πετρελαιοειδών, απόβλητα καθαρισμού των δεξαμενών πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών κλπ.

Η κυριότερη πηγή επικίνδυνων αποβλήτων είναι τα βιομηχανικά απόβλητα. Από το σύνολο των βιομηχανικών επικίνδυνων αποβλήτων, το 35% περίπου κατατάσσεται στην Κατηγορία 1 (ανόργανα απόβλητα), το 55% περίπου κατατάσσεται στις Κατηγορίες 2 και 3 (οργανικά υγρά) και το υπόλοιπο 10% κατατάσσεται στην Κατηγορία 4 (παχύρρευστα και στερεά απόβλητα). Ο επόμενος πίνακας δίνει τα είδη των επικίνδυνων ουσιών που συνήθως περιλαμβάνονται στα απόβλητα διάφορων τύπων βιομηχανιών.

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

| Τύπος Βιομηχανίας | O* | As | Cd | CH** | Cu | Cr | CN | Pb | Hg | Se | Zn |
|---------------------------|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| Χημικές Βιομηχανίες | x | | | x | x | x | | | x | | |
| Βυρσοδεψεία | x | | | | | x | | | | | |
| Μεταλλουργίες | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x |
| Χρωματοουργεία | | | x | | x | x | x | x | x | x | x |
| Φαρμακευτικές Βιομηχανίες | x | x | | | | | | | x | | |
| Βιομηχανίες Χάρτου | x | | | | | | | | x | | |
| Τυπογραφεία | x | x | | | x | x | | | | x | |

* Διάφορες οργανικές ουσίες

** Χλωριούχοι υδρογονάνθρακες

Σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ (1995), στην Ελλάδα παράγονται ετησίως οι εξής ποσότητες τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων:

ΕΤΗΣΙΩΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ (τόννοι/έτος)
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (1995)

| Περιοχή | Συνολική ποσότητα | Ανακυκλώσιμη ποσότητα | Υπόλοιπο (προς διάθεση) |
|---------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| Νομός Αττικής | 111460 | 56000 | 55460 |
| Λοιπή Νότια Ελλάδα | 107265 | 30160 | 77100 |
| Νομός Θεσσαλονίκης | 140210 | 1100 | 139110 |
| Λοιπή Βόρεια Ελλάδα | 89600 | 33415 | 56195 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 448535 | 120675 | 327860 |

Τα επικίνδυνα απόβλητα στην Ελλάδα είναι κυρίως σκωρίες εμπλουτισμού μεταλλευμάτων (σιδηρονικελίου, σιδηροπυρίτη, αλουμίνας κλπ), λάσπες από διυλιστήρια πετρελαιοειδών, λάσπες βαφείων-επιμεταλλωτηρίων-βυρσοδεψείων και άλλων βιομηχανικών μονάδων, σκόνη από σακκόφιλτρα χαλυβουργίας, λάσπες από βιομηχανία λιπασμάτων, μπαταριών κλπ. Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, ένα σημαντικό ποσοστό των παραγόμενων επικινδύνων αποβλήτων ανακυκλώνεται, όμως παραμένουν και σημαντικές ποσότητες για διάθεση σε αποδέκτες.

Όσον αφορά τα νοσοκομειακά απόβλητα, αυτά διακρίνονται σε κοινά αστικά και σε μολυσματικά. Στην Ελλάδα οι παραγόμενες ποσότητες μολυσματικών νοσοκομειακών αποβλήτων ανέρχονται σε 40 περίπου τόννους την ημέρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, στην Ελλάδα δεν γίνεται διαχωρισμός των κοινών από τα μολυσματικά απόβλητα και η διάθεσή τους γίνεται σε πλαστικές σακούλες και με συνήθη απορριμματοφόρα οχήματα στις κοινές χωματερές αστικών αποβλήτων χωρίς ιδιαίτερες προφυλάξεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ (1995) μόνον το 37% των νοσηλευτικών ιδρυμάτων στην Ελλάδα διαθέτει αποτεφρωτική μονάδα για την αποτέφρωση των μολυσματικών αποβλήτων όπως απαιτούν οι διεθνείς προδιαγραφές. Η κατασκευή της πρώτης ειδικής μονάδας επεξεργασίας μολυσματικών αποβλήτων στην Ελλάδα άρχισε στην περιοχή της Αττικής (Νέα Λιόσια) το 1998.

2.3 Αποδεκτά όρια ρύπανσης

Για την εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης των εδαφών και των υπογείων υδάτων από επικίνδυνα απόβλητα έχουν θεσπισθεί μέγιστα αποδεκτά όρια για τους διάφορους ρύπους. Οι πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουν τα όρια αυτά σε διάφορες χώρες. Είναι προφανές ότι τα μέγιστα αποδεκτά όρια της ρύπανσης για κάθε συγκεκριμένο ρύπο εξαρτώνται και από τη χρήση του χώρου στον οποίο έχει εντοπισθεί η ρύπανση. Έτσι, για παράδειγμα, τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης από μόλυβδο πρέπει να είναι διαφορετικά στην αυλή ενός σχολείου απ' ότι σε έναν υπαίθριο χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων. Τέλος, τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εξαρτώνται και από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη μέτρησή τους. Κατά συνέπεια, οι διαφορές που παρατηρούνται στους ακόλουθους πίνακες οι οποίοι περιλαμβάνουν τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης στις διάφορες χώρες, δεν οφείλονται πάντοτε σε διαφοροποιήσεις ως προς την περιβαλλοντική ευαισθησία μεταξύ των διαφόρων χωρών αλλά συχνά οφείλονται κατά κύριο λόγο στην εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων μέτρησης του ρυπαντικού φορτίου.

2.3.1 Αποδεκτά όρια ρύπανσης στις ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ δεν έχουν καθοριστεί αποδεκτά όρια για το έδαφος. Όπως προαναφέρθηκε, ο έλεγχος επικινδυνότητας των στερεών αποβλήτων ορυχείων αλλά

και του ρυπασμένου εδάφους γίνεται μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης των ακόλουθων ρύπων με τις δοκιμές τύπου TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) και τύπου EP (Extraction Procedure). Τα αποτελέσματα των δοκιμών συγκρίνονται με τις τιμές του ακόλουθου πίνακα – αν το δείγμα τις ξεπερνάει τότε χαρακτηρίζεται ως επικίνδυνο με βάση τις εκτιμώμενες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (ζώα-φυτά):

ΟΡΙΑ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΙΣ ΗΠΑ (Daniel, 1993)

| Κατά τη δοκιμή TCLP | | Κατά τη δοκιμή EP | |
|-----------------------|---------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------|
| Ουσία | Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση στο εκχύλισμα (mg/l) | Ουσία | Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση στο εκχύλισμα (mg/l) |
| Βενζόλιο | 0.5 | Αρσενικό | 5 |
| Τετραχλωράνθραξ | 0.5 | Βάριο | 100 |
| Χλωριδάνιο | 0.03 | Κάδμιο | 1 |
| Χλωροβενζόλιο | 100 | Χρώμιο | 5 |
| Χλωροφόρμιο | 6 | Μόλυβδος | 5 |
| Κρεζόλιο | 200 | Υδράργυρος | 0.2 |
| 1,4-Διχλωροβενζόλιο | 7.5 | Σελήνιο | 1 |
| 1,2-Διχλωροαιθάνιο | 0.5 | Άργυρος | 5 |
| 1,1-Διχλωροαιθυλένιο | 0.7 | Ενδρίνη | 0.02 |
| 2,4-Δινιτροτολουόλιο | 0.13 | Λινδάνιο | 0.4 |
| Επταχλώριο | 0.008 | Μεθοξυχλώριο | 10 |
| Εξαχλωροβουταδιένιο | 0.5 | Τοξαφαίνιο | 0.5 |
| Εξαχλωροβενζόλιο | 0.13 | 2,4 D | 10 |
| Εξαχλωροαιθάνιο | 3.0 | 2,4,5 T-Silvex | 1 |
| Μεθυλ-αιθυλ-κετόνη | 200 | | |
| Νιτροβενζόλιο | 2 | | |
| Πενταχλωροφαινόλη | 100 | | |
| Πυριδίνη | 5 | | |
| Τετραχλωροαιθυλένιο | 0.7 | | |
| Τριχλωροαιθυλένιο | 0.5 | | |
| 2,4,5-Τριχλωροφαινόλη | 400 | | |
| 2,4,6-Τριχλωροφαινόλη | 2 | | |
| Χλωριούχο βινύλιο | 0.2 | | |

Λόγω των διαφορών μεταξύ των εφαρμοζόμενων μεθόδων, αλλά και των στόχων της δημόσιας πολιτικής στον τομέα της υγείας, τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης στις ΗΠΑ μπορεί διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα όρια που ισχύουν σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης του υπόγειου νερού εξαρτώνται από την προβλεπόμενη χρήση του. Στην περίπτωση πόσιμου νερού οι μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις των διαφόρων ρύπων περιλαμβάνονται στον ακόλουθο πίνακα:

ΟΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (USEPA, 2002)

| Ουσία | Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση (mg/l) Maximum Contaminant Level (MCL) |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Ανόργανες ουσίες | |
| Νιτρικά (NO ₃ ⁻) | 10 |
| Μαγνήσιο (Mg) Βηρύλλιο (Be) | 0.004 |
| Χαλκός (Cu) | 1.3* |
| Αρσενικό (As) | 0.01 |
| Βάριο (Ba) | 2 |
| Κάδμιο (Cd) | 0.005 |
| Χρώμιο (Cr) - ολικό | 0.1 |
| Σελήνιο (Se) | 0.01 |
| Αντιμόνιο (Sb) | 0.006 |
| Μόλυβδος (Pb) | 0.015* |
| Φθόριο (F) | 4.0 |
| Οργανικές ουσίες | |
| Βενζόλιο (Benzene) | 0.005 |
| Endrine | 0.002 |
| Lindane | 0.0002 |
| Διοξίνη (2,2,7,8-TCDD) | 0.00000003 |
| Toxaphene | 0.003 |
| PCBs | 0.0005 |
| cis-1,2 Διχλωροαιθέριο | 0.07 |
| trans-1,2 Διχλωροαιθέριο | 0.1 |
| Τριχλωροαιθέριο | 0.005 |
| Χλωριούχο βινύλιο (βινυλοχλωρίδιο) | 0.002 |
| Ραδιενεργές ουσίες (συγκεντρώσεις σε pCi/l) | |
| Ράδιο 226 και Ράδιο 228 | 5 |
| Σωματίδια Α | 14 |
| Βακτηρίδια | |
| Ολικά Κολλοβακτηριοειδή | 5 ανά 100 ml |

* Όριο δράσης (action level)

2.3.2 Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα αποδεκτά όρια ρύπανσης

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θεσπισθεί πολυάριθμες Οδηγίες που αφορούν τα όρια ρύπανσης εδαφών και υπογείων υδάτων. Η Οδηγία 98/83/ΕΚ σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης καθορίζει τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές για μια σειρά από μικροβιολογικές και χημικές παραμέτρους. Η σύγκριση με την παλαιότερη Κοινοτική Οδηγία (80/778/ΕΟΚ) είναι ενδεικτική των αυξανόμενων περιβαλλοντικών απαιτήσεων σε συνάρτηση και με την πληρέστερη κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων των χημικών ουσιών στην ανθρώπινη υγεία. Για παράδειγμα οι μέγιστες τιμές για το μόλυβδο και το αρσενικό μειώθηκαν από 50 μg/l σε 10 μg/l. Επί πλέον στην Οδηγία του 1998 περιλαμβάνονται για πρώτη φορά βιομηχανικοί ρύποι όπως π.χ. οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Τέλος, ένας ενδεικτικός κατάλογος για τα όρια εκροών αποβλήτων από βιομηχανίες παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΤΗΣ Ε.Ε. ΓΙΑ ΤΑ ΟΡΙΑ ΕΚΡΟΩΝ ΑΠΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ

| Οδηγία | Θέμα |
|------------|-------------------------------------------|
| 82/176/ΕΕΚ | Υδράργυρος |
| 83/513/ΕΕΚ | Κάδμιο |
| 84/156/ΕΕΚ | Υδράργυρος |
| 84/491/ΕΕΚ | Εξαχλωροκυκλοεξάνιο |
| 86/280/ΕΕΚ | DDT, τετραχλωράνθρακας, πενταχλωροφαινόλη |

Ο χαρακτηρισμός των επικίνδυνων ρυπαντικών ουσιών δίνεται από την 76/464/EEC, η οποία τις χωρίζει σε δυο κατηγορίες:

1. Στις πλέον τοξικές (Κατηγορία 1 - Black List)
2. Στις λιγότερο τοξικές (Κατηγορία 2 - Grey List)

Ο σκοπός των ανωτέρω Οδηγιών είναι να απαλειφθεί η ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων από τις ουσίες της Κατηγορίας 1 (Black List) και να περιορισθεί η ρύπανση από τις ουσίες της Κατηγορίας 2 (Grey List). Οι ουσίες που περιλαμβάνονται στις δυο Κατηγορίες είναι:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε.

Τοξικές ρυπαντικές 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 ανιχνευθούν στο υπόγειο νερό
5. Ανόργανες ενώσεις του φωσφόρου και καθαρός φώσφορος
6. Μη-ανθεκτικά ορυκτέλαια και υδρογονάνθρακες πετρελαιοειδών
7. Κυανιούχα και φθοριούχες ενώσεις
8. Ουσίες που έχουν δυσμενείς επιδράσεις στην ισορροπία του οξυγόνου όπως αμμωνία, νιτρικά, κλπ.

Οι Οδηγίες της Ε.Ε. προτείνουν ότι ο έλεγχος της ρύπανσης εδαφών και υπογείων υδάτων από τις ανωτέρω ουσίες στις χώρες-μέλη μπορεί να γίνει με δυο τρόπους:

1. Με την επιβολή Στόχων Ποιότητας του Περιβάλλοντος (Environmental Quality Objectives - EQOs). Στην περίπτωση, π.χ., χρήσης του υπόγειου νερού για ύδρευση, ένας τέτοιος στόχος είναι η καταλληλότητά του για ασφαλή κατανάλωση, ενώ αν το υπόγειο νερό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, οι στόχοι θα είναι η αποφυγή βλάβης στα φυτά, η απουσία βλαπτικών επιδράσεων στους καρπούς των φυτών (εάν πρόκειται να καταναλωθούν από τον άνθρωπο) και η αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους.
2. Με την επιβολή Ορίων Καθορισμού Ποιότητας του Περιβάλλοντος (Environmental Quality Standard values - EQSs) που συχνά ονομάζονται και όρια εκπομπής (Emission Standards). Τα όρια αυτά, τα οποία αναφέρονται στις μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις των διάφορων ρυπαντικών ουσιών, δεν καθορίζονται από την Κοινότητα αλλά πρέπει να καθορισθούν από τα κράτη-μέλη, αναλόγως της επιδιωκόμενης χρήσης του εδάφους ή του υπόγειου νερού. Έτσι, π.χ. τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης του εδάφους στις σχολικές αυλές θα πρέπει να είναι πολύ μικρότερα απ' ό,τι στους ελεύθερους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων ή στο χώρο που πρόκειται να κατασκευασθεί ένα διυλιστήριο πετρελαιοειδών. Τα

όρια ρύπανσης που ισχύουν σε ορισμένες χώρες της Ε.Ε. παρουσιάζονται στα επόμενα εδάφια.

2.3.3 Αποδεκτά όρια ρύπανσης στη Βρετανία (ICRCL⁴, 1987)

Για τον έλεγχο του βαθμού ρύπανσης του εδάφους ελέγχονται οι συγκεντρώσεις των ακόλουθων ρύπων και συγκρίνονται με τα όρια επιφυλακής και τα όρια λήψης μέτρων του ακόλουθου πίνακα:

ΟΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΒΡΕΤΑΝΙΑ (ICRCL, 1987)

| Ουσία | Όριο επιφυλακής (mg/kg ξηρού εδάφους) | Όριο λήψης μέτρων (mg/kg ξηρού εδάφους) |
|---------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Αρσενικό | 10 - 40 | - |
| Κάδμιο | 3 - 15 | - |
| Χρώμιο (ολικό) | 600 - 1000 | - |
| Μόλυβδος | 500 - 2000 | - |
| Υδράργυρος | 1 - 20 | - |
| Σελήνιο | 3 - 6 | - |
| Πολυ-αρωματικοί υδρογονάνθρακες | 50 - 1000 | 500 - 10000 |
| Φαινόλες | 5 | 200 - 1000 |
| Κυανιούχα (ελεύθερα) | 25 - 100 | 500 |
| Κυανιούχα (σύνθετα) | 250 | 1000 - 5000 |
| Θειικά | 2000 | 10000 - 50000000000 |
| Σουλφίδια | 250 | 1000 |
| Θείο | 5000 | 20000 |
| pH (όξινο) | 5 | 3 |
| pH (αλκαλικό) | 9 | 12 |

Τα εύρη των τιμών του ανωτέρω πίνακα αναφέρονται στις διάφορες χρήσεις του εδάφους (π.χ. αυλές σπιτιών, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, κλπ). Αυτά τα όρια ρύπανσης προβλέπεται στο μέλλον να αντικατασταθούν από τιμές που θα υπολογιστούν με βάση ένα αριθμητικό μοντέλο που εκτιμά την έκθεση στους ρύπους (Contaminated Land Exposure Assessment – CLEA). Οι καινούριες τιμές θα αντιπροσωπεύουν “τιμές επέμβασης” που θα υποδεικνύουν ότι απαιτείται επί πλέον μελέτη και/ή αποκατάσταση.

2.3.4 Αποδεκτά όρια ρύπανσης στην Ολλανδία

Η Ολλανδία, πρωτοπόρος στην Ευρώπη, ήδη από 1976 έχει εντάξει την προστασία του εδάφους στην εθνική περιβαλλοντική πολιτική της. Το 1994 άρχισε να αναθεωρεί τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδαφών και υπογείων υδάτων. Ο ακόλουθος πίνακας δίνει τις πιο πρόσφατες τιμές (2000). Για κάθε έναν από τους ρύπους δίνονται δυο τιμές: η νέα τιμή που θεσπίστηκε την περίοδο 1994-2000 και η παλαιά τιμή που ίσχυε μέχρι το 1994. Η υπέρβαση των τιμών αυτών (intervention values – τιμές επέμβασης) αποτελεί ένδειξη σοβαρής ρύπανσης του εδάφους και των υπογείων υδάτων και απαιτεί τη λήψη μέτρων απορρύπανσης.

⁴ Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land

ΜΕΓΙΣΤΑ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΟΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΟΛΛΑΝΔΙΑ (2000)

| Ουσία | Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους) | | Συγκέντρωση στο νερό (µg/l) | |
|------------------------------------|-------------------------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | Νέα | Παλαιά | Νέα | Παλαιά |
| Μέταλλα | | | | |
| Χρώμιο | 380 | 800 | 30 | 200 |
| Κοβάλτιο | 240 | 300 | 100 | 200 |
| Νικέλιο | 210 | 500 | 75 | 200 |
| Χαλκός | 190 | 500 | 75 | 200 |
| Ψευδάργυρος | 720 | 3000 | 800 | 800 |
| Αρσενικό | 55 | 50 | 60 | 100 |
| Μολυβδένιο | 200 | 200 | 300 | 100 |
| Κάδμιο | 12 | 20 | 6 | 10 |
| Βάριο | 625 | 2000 | 625 | 500 |
| Υδράργυρος | 10 | 10 | 0.3 | 2 |
| Μόλυβδος | 530 | 600 | 75 | 200 |
| Ανόργανες ενώσεις | | | | |
| Κυανιούχα (ελεύθερα) | 20 | 100 | 1500 | 100 |
| Κυανιούχα (σύνθετα pH<5) | 650 | 500 | 1500 | 200 |
| Κυανιούχα (σύνθετα pH ≥ 5) | 50 | 500 | 1500 | 200 |
| Θειοκυανικά (ολικά) | 20 | | 1500 | |
| Βρωμιούχα | 20 ^a | 300 | 0.3 ^a | 2000 |
| Χλωριούχα | | | 100 ^a | 700 |
| Φθοριούχα | 500 ^a | 2000 | 0.5 ^a | 4000 |
| Χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες | | | | |
| Διχλωρομεθάνιο | 10 | 50 | 1000 | 50 |
| Τριχλωρομεθάνιο | 10 | 5 | 400 | 50 |
| Τετραχλωρομεθάνιο | 1 | 50 | 10 | 50 |
| 1,2-Διχλωροαιθάνιο | 4 | 50 | 400 | 50 |
| Τριχλωροαιθάνιο | 60 | 50 | 500 | 50 |
| Τετραχλωροαιθάνιο | 4 | 50 | 40 | 50 |
| Χλωριούχο βινύλιο | 0.1 | | 5 | 35 |
| Χλωροβενζόλια (μεμονωμένα) | | 10 | | 2 |
| Χλωροβενζόλια (σύνολο) | 30 | 20 | | 5 |
| Μονοχλωροβενζόλιο | | 10 | 180 | 2 |
| Διχλωροβενζόλιο | | 10 | 50 | 2 |
| Τριχλωροβενζόλιο | | 10 | 10 | 2 |
| Τετραχλωροβενζόλιο | | 10 | 2.5 | 2 |
| Πενταχλωροβενζόλιο | | 10 | 1 | 2 |
| Εξαχλωροβενζόλιο | | 10 | 0.5 | 2 |
| Χλωροφαινόλες (σύνολο) | | 10 | | 2 |
| Μονοχλωροφαινόλες (σύνολο) | | 5 | 100 | 1.5 |
| Διχλωροφαινόλες | | | 30 | 1.5 |
| Τριχλωροφαινόλες | | | 10 | 1.5 |
| Τετραχλωροφαινόλες | | | 10 | 1.5 |
| Πενταχλωροφαινόλη | 5 | | 3 | 1.5 |
| Χλωροναφθαλένιο | | | 6 | |
| Πολυχλωριωμένα διφενύλια (7 PCB) | 1 | 10 | 0.01 | 1 |

^a επιθυμητή τιμή (target value), μικρότερη βέβαια της τιμής επέμβασης (intervention value)

ΜΕΓΙΣΤΑ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΟΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΟΛΛΑΝΔΙΑ (2000)

| Ουσία | Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους) | | Συγκέντρωση στο νερό (µg/l) | |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | Νέα | Παλαιά | Νέα | Παλαιά |
| Αρωματικές ενώσεις | | | | |
| Βενζόλιο | 1 | 5 | 30 | 5 |
| Αιθυλοβενζόλιο | 50 | 50 | 150 | 60 |
| Φαινόλη | 40 | 10 | 2000 | 50 |
| Κρεσόλες | 5 | | 200 | |
| Τολουόλιο | 130 | 30 | 1000 | 50 |
| Ξυλένιο | 25 | 50 | 70 | 60 |
| Στυρένιο | 100 | 50 | 300 | 60 |
| Καθετόλη | 20 | | 1250 | |
| Ρεσορσινόλη | 10 | | 600 | |
| Υδροκαινόνη | 10 | | 800 | |
| Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) | | | | |
| PAH (σύνολο 10 ουσίες) | 40 | 200 | | 40 |
| Ναφθαλένιο | | 50 | 70 | 30 |
| Ανθρακένιο | | 100 | 5 | 10 |
| Φαινανθρένιο | | 100 | 5 | 10 |
| Φθωρανθένιο | | 100 | 1 | 5 |
| Βενζο(α)ανθρακένιο | | 50 | 0.5 | 2 |
| Χρυσένιο | | 50 | 0.2 | 2 |
| Βενζο(α)πυρένιο | | 10 | 0.05 | 1 |
| Βενζο(χ)περυλένιο | | 100 | 0.05 | 5 |
| Βενζο(κ)φθωρανθένιο | | 50 | 0.05 | 2 |
| Ινδενο(1,2,3-γδ)πυρένιο | | 50 | 0.05 | 2 |
| Εντομοκτόνα | | | | |
| DDT+DDD+DDE (σύνολο) | 4 | 5 | 0.01 | 1 |
| Drins (Aldrin, Endrin, Hydrin) | 4 | 5 | 0.1 | 1 |
| HCH-ενώσεις (σύνολο 4) | 2 | 5 | 1 | 1 |
| Carbaryl | 5 | | 50 | |
| Carbofuran | 2 | | 100 | |
| Maneb | 35 | | 0.1 | |
| Atrazine | 6 | | 150 | |
| Διάφορες ουσίες | | | | |
| Κυκλοεξάνιο | 45 | 60 | 15000 | 50 |
| Φθαλάτια (σύνολο) | 60 | 500 | 5 | 50 |
| Ορυκτέλαια | 5000 | 5000 | 600 | 600 |
| Πυριδίνιο | 0.5 | 20 | 30 | 30 |
| Τετρα-υδροφουράνιο | 2 | 40 | 300 | 60 |
| Τετρα-υδροθειοφένιο | 90 | 50 | 5000 | 60 |

2.4 Βιβλιογραφικές αναφορές

Daniel, D.E. (1993) Introduction, In: Geotechnical Practice for Waste Disposal, D.E. Daniel (Ed.), Chapman & Hall.

Ministry of Spatial Planning, Housing and Environment (2000) The Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation, The Hague, The Netherlands.

ΥΠΕΧΩΔΕ - Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (1995) Η Ελλάδα, Οικολογικό και Πολιτιστικό Απόθεμα: Δεδομένα, Δράσεις, Προγράμματα για την Προστασία του Περιβάλλοντος.

U.S. Environmental Protection Agency - USEPA (2002) National Primary Drinking Water Regulations, EPA 816-F-02-013 και 40 CFR 141.