

Υδρογεωλογικά προβλήματα χώρων διάθεσης απορριμμάτων στον Ελλαδικό χώρο

Ν. Ξενάκης και Α. Αλεξούλη - Λειβαδίτη***

** Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Πατησίων*

*** Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Τμήμα Μηχανικών Μεταλ. Μεταλλουργιών, Ε.Μ.Π., Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Αθήνα*

Περίληψη

Η διαχείριση των απορριμμάτων και κυρίως η διάθεσή τους προκαλεί σοβαρά προβλήματα για το περιβάλλον, ιδιαίτερα όταν οι χώροι που χρησιμοποιούνται δεν καλύπτουν όλες τις προβλεπόμενες προδιαγραφές. Στην εργασία αυτή διερευνώνται τα προβλήματα που δημιουργούνται στα υπόγεια νερά και προτείνονται μέτρα πρόληψης ή ελαχιστοποίησης των δυσμενών επιπτώσεων.

Abstract

The management of solid wastes and especially their disposal, cause serious problems to the environment, if they do not satisfy certain requirements. This paper deals with the investigation of the problems of ground water. Finally, certain proposals and special measures are suggested to avoid or minimize the action of the pollution.

Εισαγωγή

Η διάθεση των απορριμμάτων αποτελεί κύριο μέλημα όλων των πόλεων με τεράστιο κόστος για τον προγραμματισμό και την επίλυσή του. Η διαχείριση των απορριμμάτων και ιδιαίτερα η διάθεσή τους είναι τόσο δύσκολο και πολύπλοκο πρόβλημα, εξ' οίτίας των πολλαπλών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις είναι άμεσες στη μόλυνση και ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών και του εδάφους. Επίσης αλλοιώνουν την αισθητική του χώρου, προκαλούν δυσσομία, αυταναφλέξεις κ.λπ. Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τα υδρογεωλογικά προβλήματα των χώρων διάθεσης.

Η διάθεση των απορριμμάτων στην Ελλάδα γίνεται με διάφορους τρόπους όπως:

1) Απόρριψη σε ανοικτούς χώρους. Είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος κυρίως σε οικισμούς με λίγους κατοίκους. Η μέθοδος αυτή διαφοροποιείται από χώρο σε χώρο. Σε μερικούς γίνεται περιοδική επικάλυψη και συμπίεση των απορριμμάτων, σε άλλους γίνεται απλή συσσώρευση και σε άλλους καύση για να μειωθεί ο όγκος τους. Στους χώρους αυτούς δεν έχει γίνει έλεγχος καταλληλότητας και δεν λαμβάνονται ουσιώδη μέτρα για την πρόληψη των οχλήσεων και τους κινδύνους που διατρέχει η δημόσια υγεία. Ο τρόπος αυτός διάθεσης έχει απαγορευτεί.

2) Υγειονομική ταφή. Συνίσταται στην εναλλασσόμενη απόθεση και συμπίεση με επικάλυψη στρωμάτων απορριμμάτων με στρώμα εδάφους. Είναι ασφαλής, αν τηρούνται όλες οι προϋποθέσεις που ορίζονται, απλή και οικονομική.

3) Καύση ή βιοσταθεροποίηση, έχουν λειτουργήσει πολύ περιορισμένα και πειραματικά. Απαιτείται υψηλή τεχνολογία, και είναι πολύ δαπανηρές.

Σε όλες τις περιπτώσεις σε κάποια φάση τα απορρίμματα έρχονται σε επαφή με το έδαφος.

Ρύπανση υπόγειων νερών

Τα στερεά απορρίμματα, κατά τη διάρκεια του χρόνου εναπόθεσης υπόκεινται σε αλλαγές που τροποποιούν την αρχική τους δομή. Η βιολογική αποσύνθεση των απορριμμάτων παράγει τα στραγγίσματα. Η αποσύνθεση παρουσία του ατμοσφαιρικού οξυγόνου παράγει σταθερά προϊόντα όπως CO_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} και H_2O , ενώ οι αναερόβιες διαδικασίες παράγουν CO_2 , NH_3 , NH_4^+ , H_2 , αλκοόλες και οργανικά οξέα. Η ποσότητα των στραγγισμάτων και το ρυπαντικό φορτίο, εξαρτώνται από την υγρασία που περιέχεται στα απορρίμματα και την ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διεισδύουν.

Τα νερά που έρχονται σε επαφή με τα απορρίμματα μπορούν να μεταφέρουν στο υπέδαφος και φυσικά και στον υδροφόρο ορίζοντα ρυπογόνα στοιχεία. Αυτό εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών, που αποτελούν το δόπεδο των χώρων και κυρίως την υδροπερατότητά τους. Για χώρους, στους οποίους η διάθεση των απορριμμάτων θα διαρκέσει πολλά χρόνια, οι γεωλογικοί σχηματισμοί θα πρέπει να έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. **Χαμηλή περατότητα.** Αυτή απαιτείται γιατί πρέπει να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή απομόνωσή των απορριμμάτων από τον υδροφόρο ορίζοντα.

2. Ικανότητα δέσμευσης χημικών στοιχείων. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής πρέπει να έχουν μεγάλη ικανότητα δέσμευσης χημικών στοιχείων. Η δέσμευση αυτή εγγυάται την ύπαρξη ενός χημικού τείχους, το οποίο εμποδίζει την ανταλλαγή των ιόντων εκτός του χώρου διάθεσης.

3. Πλαστική συμπεριφορά. Αυτή παίζει σημαντικό ρόλο, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις καταπόνησης του χώρου διάθεσης, που μπορεί να προέρχεται, είτε από σεισμοτεκτονικά γεγονότα, είτε από ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Τα προαναφερθέντα αποτελούν κοινά χαρακτηριστικά πολλών αργιλικών σχηματισμών. Οι διάφοροι λιθολογικοί σχηματισμοί εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες, όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία. Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να αποτελέσουν κριτήριο για την καταλληλότητα των εδαφών. Από τη διεθνή εμπειρία και βιβλιογραφία διακρίνουμε τρεις κατηγορίες σχηματισμών, οι οποίες πληρούν τις προαναφερθείσες προδιαγραφές. Με βάση τις ιδιότητες αυτές συντάχθηκε ο πιο κάτω πίνακας (Πίν. 1):

1. ΑΡΓΙΛΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	Πλαστική συμπεριφορά: υψηλή Ικανότητα ανταλλαγής ιόντων: πολύ καλή. Περατότητα: πάρα πολύ χαμηλή
2. ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (κυρίως γρανίτες)	Πλαστική συμπεριφορά: μηδέν Ικανότητα ανταλλαγής ιόντων: μέση Πρωταγενής περατότητα: πολύ χαμηλή (η δευτερογενής περατότητα μπορεί να είναι πολύ υψηλή εξαιτίας διακλάσεων)
3. ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ	Πλαστική συμπεριφορά: πολύ υψηλή Ικανότητα ανταλλαγής ιόντων: καλή Περατότητα: πολύ χαμηλή Διολυτότητα: υψηλή

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μηχανική και χημική συμπεριφορά λιθολογικών σχηματισμών (Ξένος - Ξενάκης, 1995)

Τα πετρώματα ανάλογα με το συντελεστή υδροπερατότητας (Κ) κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, υδροπεροτά, ημιπερατά και υδροστεγανά. Από τις προδιαγραφές που προβλέπονται για την καταλληλότητα

μιας περιοχής για δημιουργία χώρου εναπόθεσης απαιτούνται πετρώματα υδροστεγανά δηλ. με πολύ μικρό συντελεστή (K), προκειμένου να επιτυγχάνεται πλήρης διαχωρισμός των απορριμμάτων από τα υποκείμενα πετρώματα. Παραθέτουμε ένα πίνακα που δίνονται η πρωτογενής και η δευτερογενής περατότητα μερικών πετρωμάτων (Πίν. 2) κατά Beavis, 1985, (από Ξένο - Ξενάκη, 1995).

Πέτρωμα	Πρωτογενής υδροπερατότητα (cm/sec)	Δευτερογενής υδροπερατότητα (cm/sec)
Γρανίτης	$2,3 \times 10^{-10}$	$1,2 \times 10^{-3}$
Ψαμμίτης	$1,3 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-3}$
Αργιλικός σχιστόλιθος	$6,8 \times 10^{-7}$	$3,4 \times 10^{-4}$
Φυλλίτης	$8,2 \times 10^{-10}$	$5,6 \times 10^{-5}$
Ασβεστόλιθος	$7,3 \times 10^{-10}$	$2,4 \times 10^{-3}$
Δολομίτης	$4,8 \times 10^{-9}$	$8,8 \times 10^{-4}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Πρωτογενείς και δευτερογενείς υδροπερατότητες πετρωμάτων. (Κατά Beavis, 1985).

Στην κατηγορία των χώρων, που ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά περιλαμβάνονται αυτοί που η απόθεση γίνεται πάνω σε ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθους-μάρμαρα), σε αποθέσεις κροκαλών, άμμων κ.ά. Τα ανθρακικά πετρώματα λόγω της έντονης τεκτονικής τους καταπόνησης και της καρστικοποίησης που έχουν υποστεί στην πλειονότητά τους στον ελληνικό χώρο, πρέπει να θεωρηθούν ως πολύ υδροπερατά. Εξ' αιτίας των διακλάσεων και των ρηγμάτων, παρουσιάζουν αδυναμία κατακράτησης ρύπων σε αντίθεση με άλλα υδροπερατά πορώδη πετρώματα. Στις πιο πάνω περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη, ότι εκτός από τους υδροφορείς που βρίσκονται στους ασβεστόλιθους, σε περιπτώσεις εντοτικής άντλησης, κινδυνεύουν από τη ρύπανση και οι υδροφορείς που βρίσκονται σε παρακείμενους Πλειο-Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς, γιατί τροφοδοτούνται από τους ασβεστόλιθους. Ρύπανση των υπάγειων νερών προκαλεί επίσης η απόρριψη σε έλη, ή σε κόλτες ποταμών. Παραθέτουμε πίνακα που παρουσιάζει τους βασικούς μηχανισμούς ρύπανσης των νερών που διέρχονται από το χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων Νέων Λιωσίων κατά Α. Ποπαδόπουλο, 1994, (Πίν. 3).

Απορρίμματα	<p>Διάλυση διαλυτών συστατικών που υπάρχουν αρχικά στο χώρο, όπως PO_4^{3-}, Cl^-, SO_4^{2-}, μερικά οργανικά (χουμικά και φουλβικά οξέα, σάκχαρα κ.λπ.).</p> <p>Διάλυση οργανικών παραγώγων που σχηματίζονται κατά τη βιοαποδόμηση σύνθετων οργανικών ενώσεων (καρβοξυλικά οξέα, αλκοόλες, αμινοξέα, σάκχαρα).</p> <p>Διάλυση οργανικών παραγώγων που σχηματίζονται κατά τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη χωματερή (σύνθετες χουμικές ενώσεις κ.λπ.).</p> <p>Διάλυση αμμωνιακών που σχηματίζονται κατά τη βιοαποδόμηση αζωτούχων οργανικών ενώσεων και την αναγωγή νιτρικών και νιτρώδων.</p> <p>Διάλυση φωσφορικών που σχηματίζονται κατά τη βιοαποικοδόμηση σύνθετων οργανικών που περιέχουν φώσφορο (φωσφολιπίδια κ.λπ.).</p> <p>Διάλυση των ευδιάλυτων Fe^{2+} που σχηματίζονται κατά την αναγωγή των Fe^{3+}.</p> <p>Απλή εκχύλιση διασυστατικών ή αδιάλυτων οργανικών συστατικών (πολυσακχαρίτες, ανώτερα λιπαρά οξέα, πρωτεΐνες, πεπτιδία, φαινόλες, απλές και πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις κ.λπ.).</p> <p>Εκπλυση λεπτομερών σωματιδίων και κολλοειδίων.</p>
-------------	--

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Βασικοί μηχανισμοί ρύπανσης νερών που διέρχονται από το χώρο εναπόθεσης Νέων Λιπασίων.
(Κατά Α. Παπαδόπουλο, 1994)

Ρύπανση υπόγειων νερών

Τα υπόγεια νερά είναι πηγή παροχής υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού με μεγάλη οικονομική σημασία. Έχει υπολογισθεί ότι η χρήση τους αυξάνει κατά 25% ανά δεκαετία και απ' αυτά υδρεύεται ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού των προηγμένων κρατών.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, τα υπόγεια νερά της Ελλάδας έχουν μολυνθεί εκτός των άλλων και εξ' αιτίας του μη συστημικού και τεχνολογικά ανεπαρκούς τρόπου διάθεσης, απόθεσης και ταφής απορριμμάτων. Σε προηγούμενη εργασία μας (Α. Αλεξούλη - Ν. Ξενάκης, 1989) καταγράψαμε 297 χώρους εγγεκριμένους από τις κατά τόπους νομαρχίες και διαπιστώσαμε ότι το 47,8% των χώρων βρίσκεται σε υδροπερατά πετρώματα, το 18,85% σε ημιδιαπερατά και μόνο το 33,3% σε στεγανά πετρώματα.

Ο βαθμός ρύπανσης των υπόγειων νερών κυμαίνεται από μικρού βαθμού αλλοίωση της ποιότητας του νερού σε διαύγεια και γεύση μέχρι την παρουσία τοξικών ουσιών, βαρέων μετάλλων και οργανικών συστατικών (Λοιζίδου κ.ά. 1990).

Οι βασικότερες δυσκολίες ελέγχου ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι (Ξενάκης, 1995):

α) η έλλειψη φρεάτων ελέγχου στους χώρους εναπόθεσης.

β) η μη αντιληπτή ύπαρξη της ρύπανσης για μεγάλο χρονικός διάστημα, εξαιτίας της μικρής ταχύτητας κίνησης του νερού (1 m/day), και κατά συνέπεια η καθυστέρηση εντοπισμού δειγμάτων νερού από πηγάδια και επιφανειακά νερά, που έχουν υποστεί ρύπανση.

γ) η συνέχιση εξόπλωσης της ρύπανσης στο υδροφόρο στρώμα ακόμη και μετά από την παύση εκπομπής ρύπων από την πηγή ρύπανσης.

δ) η δύσκολη, μακροχρόνια και δαπανηρή προσπάθεια μείωσης των ρύπων και επαναφορά της ποιότητας του νερού σε αποδεκτά όρια, το οποίο έχει γίνει ακατάλληλο για ύδρευση επί δεκαετίες και πιθανόν αιώνες. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι σχεδόν πάντα η μόλυνση των υπόγειων νερών δεν γίνεται αντιληπτή παρά μόνον όταν κάποια πηγή πόσιμου νερού παρουσιάσει πρόβλημα.

Στην Ελλάδα, όπως διαπιστώσαμε από αυτή και την προηγούμενη έρευνά μας (Αλεξούλη - Ξενάκης, 1989), δεν έχουν γίνει έργα υποδομής για υγειονομική ταφή σε κανένα σχεδόν από τους χώρους απορριμμάτων που λειτουργούν (Χ.Δ.Α.), αλλά πληρούν μόνο μερικές από τις προδιαγραφές καταλληλότητας. Η ρύπανση των υπάγειων νερών από τα απορρίμματα γίνεται με τα στραγγίσματα. Είναι σημαντικό να διαπιστώσουμε αν τα στραγγίσματα των Χ.Δ.Α. βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τα υπόγεια νερά.

Τα υπόγεια νερά ρυπαίνονται με δύο τρόπους, άμεσο και έμμεσο. Άμεσο, όταν τα στραγγίσματα κατεισδύουν μέσα από ρωγμές ή υδροπερατά πετρώματα στον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα. Έμμεσα, όταν τα στραγγίσματα ρέουν επιφανειακά ή καταλήγουν σε χειμάρρους, ποτάμια κ.λπ. και στη συνέχεια κατεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα από

τις κοίτες. Τα στραγγίσματα είναι συνέπεια της συμπίεσης, της βιοσταθεροποίησης και της αποσύνθεσης των απορριμμάτων.

Η ποσότητα των παραγομένων στραγγισμάτων, εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που διεισδύει στους χώρους ταφής απορριμμάτων, περνώντας από τα υπερκείμενα στρώματα εδάφους. Για να γίνει σωστός υπολογισμός του νερού, που διεισδύει και των στραγγισμάτων, που παράγονται, πρέπει να υπολογισθεί ισοζύγιο νερού, με βάση τον υδρολογικό κύκλο του συγκεκριμένου χώρου. Για το λόγο αυτό λαμβάνουμε υπόψη τα ακόλουθα:

Την ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι) που φτάνουν στο έδαφος.

Την εξατμισοδιαπνοή, η οποία αναφέρεται στο νερό που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με εξάτμιση από το έδαφος. Την επιφανειακή διαφυγή, η οποία περιλαμβάνει την ποσότητα του νερού που ρέει επιφανειακά και τελικά καταλήγει εκτός χώρου διάθεσης. Η συσχέτιση των παραπάνω στους χώρους διάθεσης είναι η εξής:

Ένα μέρος των κατακρημνισμάτων διεισδύει στο υπερκείμενο στρώμα εδάφους που καλύπτει τα απορρίμματα. Το ποσό της διείσδυσης εξορτάται από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας καθώς και την υδροπερατότητα του υλικού επικάλυψης. Η ποσότητα αυτή του νερού είναι μεγαλύτερη, όταν το στρώμα απορριμμάτων είναι ακάλυπτο ή έχει καλυφθεί με αμμόδες, ή κοκκώδες υλικό. Ένα άλλο μέρος των κατακρημνισμάτων επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής και το υπόλοιπο ρέει στην επιφάνεια (επιφανειακή απορροή). Το νερό που καταφέρνει να διεισδύει στο έδαφος, προστίθεται στο νερό που ήδη υπάρχει υπό την μορφή υγρασίας στα απορρίμματα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι νερό μπορεί να σχηματισθεί και σαν παραπροϊόν της βιοαποδόμησης της οργανικής ύλης των απορριμμάτων, αλλά η ποσότητα αυτή είναι αρκετά μικρή για να ληφθεί υπ' όψη στο ισοζύγιο νερού μιας χωματερής.

Η κατείσδυση του νερού (όρα και η εμφάνιση των στραγγισμάτων) πραγματοποιείται όταν ξεπεραστεί η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας από τα διαδοχικά στρώματα, εδαφικό υλικό - απορρίμματα. Τότε το νερό κινείται προς το κάτω με την επίδραση της βαρύτητας. Σε κορεσμένους χώρους διάθεσης σημαντικό ρόλο έχει το πρώτο στρώμα εδάφους που καλύπτει τα απορρίμματα και του οποίου η διαπερατότητα, η κλίση και η βλάστηση (αν υπάρχει) καθορίζουν το πόσο εύκολα ή όχι το νερό θα έρθει σε επαφή με τα στρώματα των απορριμμάτων. Είναι φανερό ότι η κατείσδυση εξαρτάται και από το βαθμό συμπίεσης των απορριμμάτων, αφού με τη συμπίεση ελοττώνεται ο ρυθμός διήθησης των στραγγισμάτων.

Η υγρασία των απορριμμάτων εξαρτάται κυρίως από την ποιότητά τους και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες πριν και κατά την διάρκεια της ταφής τους. Η συμπίεση των απορριμμάτων ελαττώνει την αρχική τους υγρασία αυξάνοντας έτσι την ικανότητα κατακράτησης νερού. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η αρχική υγρασία είναι αυξημένη.

Στην κατηγορία των περατών - ημιπερατών εδαφών κατατάσσονται οι Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί με εναλλαγές υδροπερατών και αδιαπερατών στρωμάτων καθώς και οι προσχώσεις. Αν οι περιοχές αυτές έχουν μικρές εδαφικές κλίσεις, τα στραγγίσματα που διεισδύουν, ανάλογα με το συντελεστή διαπερατότητας, υφίστανται κάποια διήθηση. Η ρύπανση που προκαλείται στην περίπτωση αυτή είναι περιορισμένη σε έκταση, ως προς τα επιφανειακά νερά και τα εδάφη. Μπορεί όμως να ρυπάνουν το φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα και να τον καταστήσουν ακατάλληλο. Είναι απαραίτητο σε όλες τις περιπτώσεις να ελέγξουμε αν τα στραγγίσματα των Χ.Δ.Α. βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τα υπόγεια νερά.

Εκτός από τη ρύπανση που προέρχεται από τους Χ.Δ.Α., ρύπανση μπορεί να προκύψει από διάφορες αιτίες, όπως βόθρους, κτηνοτροφικές μονάδες, βιομηχανικά απόβλητα, κ.λπ. Ο βαθμός ρύπανσης επηρεάζεται από το ρυπαντικό φορτίο, τις βροχοπτώσεις και τη στάθμη των υπόγειων νερών. Απορρίμματα που είναι κορεσμένα με νερό και που η στάθμη των υπόγειων νερών είναι υψηλά, επιτρέπουν την εύκολη διάλυση του ανόργανου υλικού και ευνοούν τις αναερόβιες διαδικασίες.

Μικρές επιφανειακές μονάδες ρύπανσης μπορεί να προκαλέσουν περιοδική ρύπανση των υπόγειων νερών, που εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες. Κατά τη θερινή περίοδο, λόγω ξηρασίας, οι ρύποι απορροφώνται από τα πετρώματα και δεν φθάνουν στον υδροφόρο ορίζοντα, ενώ αντίθετα το χειμώνα με τις βροχές ξεπλένονται τα εδάφη και οι ρύποι παρασύρονται προς τον υδροφόρο ορίζοντα, τον οποίο και ρυπαίνουν. Παραθέτουμε πίνακα υδροχημικών αναλύσεων των υπόγειων νερών της περιοχής Μαντουδίου - Προκοπίου (από Φυτρολάκη και άλλους, 1988), (Πίν. 4).

Από τις χημικές αναλύσεις φαίνεται ότι παρουσιάζουν εποχικά πρόβλημα μόλυνσης και ρύπανσης ως προς κάποια τουλάχιστον από τις παραμέτρους που εξετάστηκαν που οφείλονται σε αποχετεύσεις και σε οικιακά ή βιομηχανικά απόβλητα.

Υπάρχουν περιπτώσεις, που η διάθεση των στερεών απορριμμάτων γίνεται σε χειμάρους ή σε κοίτες ποταμών. Οι περιοχές αυτές είναι υψηλής ρυπαντικής επιδεκτικότητας ως προς όλους τους αποδέκτες. Έτσι προκαλείται ρύπανση στα εδάφη, τα επιφανειακά νερά και στον υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος συνήθως είναι πολύ αβαθής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Υδροχημικές αναλύσεις υπόγειων νερών περιοχής Μαντουδίου - Προκοπίου
(Κατά Φυτρολάκη κ.ά., 1988)

Αρ. Δείγματος	Δ3π	Δ5π	Δ10φ	Δ11π	Δ12φ	Δ15	Δ18π	Δ21φ	Δ23φ	Δ24π	Δ25φ	όριο Φ.Τ.
Θερμοκρασία	15,0	17,1	15,2	16,7	18,2	20,3	18,6	19,7	18,9	17,7	19,6	-
pH	6,15	6,79	7,75	7,95	7,57	7,38	7,13	7,63	7,38	7,18	7	6,5-7,5
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	360	300	645	592	675	710	580	660	660	540	800	1000
Διαλελυμένο οξυγόνο (ppm)	11	9	3	9	8	4	9	7	4	10	5	2
NO ³⁻ (ppm)	3,09	2,65	2,21	8,84	42	12,37	31,82	12,37	7,96	5,30	19,89	50
NH ₃ (ppm)	0,048	0,036	0,244	0,146	0,085	0,061	0,036	0,134	0,097	0,036	0,158	-
NH ₄ (ppm)	0,051	0,038	0,258	0,154	0,090	0,064	0,038	0,141	0,103	0,038	0,167	0,5
Ολική σκληρότητα (ppm)	241	203	458	433	447	401	367	418	376	336	415	500
Χρώμα	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Θολερότητα (F.T.U.)	8	2	4	0	4	0	0	9	0	2	2	-
Cl ⁻ (ppm)	22	24	59	40	42	63	29	31	29	38	24	-
Οσμή	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.O.D. (ppm)	4,6	9	28	17	3	4	1,5	3,6	1	5	5	-
B.O.D ₅ (ppm)	0,9	1,8	7,4	3,6	0,8	0,9	0,5	1	0,2	1,2	1,4	-

Αρ. Δείγματος	Δ3	Δ5	Δ10	Δ11	Δ12	Δ15	Δ18	Δ21	Δ23	Δ24	Δ25
Θερμοκρασία °C	15,7	18,8	18,2	19,3	21,2	21,6	19,9	17,6	16,8	16,4	17,9
pH	7,41	7,81	7,82	7,95	6,47	7,47	7,64	7,8	7,68	7,52	7,61
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	310	300	650	605	640	600	530	540	525	560	575
Διαλελυμένο οξυγόνο (ppm)	6	9,5	3	6	8,5	10	8	6,5	4	4	3
NO ³⁻ (ppm)	4,89	4,68	3,98	7,90	39,34	12,38	35,80	25,64	14,14	10,1	22,54
NH ₃ (ppm)	0	0	0,268	0,098	0,073	0,012	0,012	0,061	0,049	0,03	0,98
NH ₄ (ppm)	0	0	0,284	0,103	0,077	0,013	0,013	0,064	0,052	0,02	0,103
Ολική σκληρότητα (ppm)	241	214	435	448	435	383	374	499	397	447	420
Χρώμα	0	0	25	0	0	0	0	0	0	8	0
Θολερότητα (F.T.U.)	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻ (ppm)	32	68	69	63	54	72	63	44	48	42	52
Οσμή	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C.O.D. (ppm)	2	12,2	2	5	4	2	7,1	1	3	1	12,2
B.O.D ₅ (ppm)	1,2	2,5	0,4	1	0,4	0,7	2,1	0,2	0,3	0,4	2,8

Δπ = Δείγμα από πηγή, Δφ = Δείγμα από φρέατα

Τέτοια φαινόμενα εμφανίζονται έντονα στους χώρους διάθεσης των αποσυρόμενων φρούτων. Η εναπόθεσή τους δεν γίνεται σε συγκεκριμένους χώρους αλλά, ανάλογα με την ποσότητά τους σε χώρους που καθορίζονται κάθε χρόνο σύμφωνα με τις ανάγκες των συναιτερισμών και σε συνεργασία με την Δ/νση Γεωργίας.

Κάθε χρόνο περί τους 750.000 τόννους ροδάκινα αποσύρονται και καταλήγουν στις χωματερές. Εκτός από τα ροδάκινα και άλλα φρούτα όπως πορτακάλια (Ν. Άρτας περίπου 60.000 τάννοι/ετησίως), σταφύλια (Ν. Καβάλας περίπου 14.500 τόννοι/ετησίως) αποσύρονται και διατίθενται ανεξέλεγκτα δημιουργώντας τεράστια προβλήματα στη δημόσια υγεία και το οικοσύστημα. Το πρόβλημα της ρύπανσης, από την ανεξέλεγκτη διάθεση των στερεών απορριμμάτων, των αποσυρθέντων φρούτων (350.000 τόννοι στο νομό Πέλλας και 280.000 τόννοι στο νομό Ημαθίας για το 1994), καθώς επίσης και τα υγρά απόβλητα από τις γεωργικές βιομηχανίες (κονσερβοποιία) που λειτουργούν χωρίς εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, μετά από επιτόπιο έλεγχο απεδείχθει ότι έχουν άμεσες επιπτώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια νερά των νομών (Ξενάκης, 1995).

Η παρατεταμένη ανομβρία των τελευταίων χρόνων, σε συνδιασμό με τις αυξημένες ανάγκες για νερό άρδευσης, έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ροής των νερών κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου και τη μείωση, τελικά, της ικανότητάς τους για αντιμετώπιση, μέσω διεργασιών αυτοκαθαρισμού, της ρύπανσης που δέχονται. Η μείωση του ρυπαντικού φορτίου στην πηγή, δηλαδή πριν οδεύσει προς οποιονδήποτε τελικό αποδέκτη, μπορεί να μας γλυτώσει από σημαντικές πρόσθετες εργασίες και έξοδα για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργούνται, στη συνέχεια, από την υπέρβαση της φέρουσας ικανότητας των αποδεκτών και την ικανότητα που έχουν για αυτοκαθαρισμό και αφομοίωση της ρύπανσης.

Για τη σωστή αντιμετώπιση των προβλημάτων των υπόγειων νερών πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας και εξυγίανσης. Για τα λόγο αυτό προτείνονται τα ακόλουθα:

- Μείωση των ρυθμών άντλησης στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στα σημεία των χώρων διάθεσης απορριμμάτων και γενικά σε σημεία όπου υπάρχουν ενδείξεις ρύπανσης από τα στραγγίσματα των Χ.Δ.Α.
- Κατασκευή δικτύου γεωτρήσεων για την πληρέστερη υδρογεωλογική μελέτη και παρακολούθηση της ποιότητας των υπόγειων νερών, έστω και αν ο χώρος διάθεσης σταματήσει να λειτουργεί.
- Εκτέλεση χημικών αναλύσεων για τη διαπίστωση και παρακολούθηση της ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Πέραν αυτών θα πρέπει να απομακρυνθούν οι Χ.Δ.Α. οι οποίοι βρίσκονται σε περατά εδάφη, δεδομένου ότι οι χώροι αυτοί δεν πληρούν την απαραίτητη προϋπόθεση στεγανοποίησης. Πρέπει επίσης να γίνεται επικάλυψη των Χ.Δ.Α., με αργιλικό υλικό πάχους τουλάχιστον 50 cm και να δοθεί στην επιφάνειά τους μια κλίση όχι μικρότερη του 5% έτσι ώστε να απομονωθούν τα απορρίμματα από τα επιφανειακά νερά και να διευκολύνουμε τη ραή τους εκτός του χώρου απόθεσης.

Στους νέους χώρους, που πιθανόν θα χρησιμοποιηθούν ως Χ.Δ.Α., θα πρέπει να γίνει υποχρεωτικά υδρογεωλογική μελέτη και να κατασκευαστούν τα απαραίτητα έργα υποδομής για την προστασία των υπόγειων και των επιφανειακών νερών.

Τρόποι διάδοσης της ρύπανσης

Τα νερά που έρχονται σε επαφή με τα απορρίμματα μπορούν να μεταφέρουν στο υπέδαφος ρυπογόνα στοιχεία. Η προστασία από τους κινδύνους ρύπανσης των υπόγειων νερών με την εκτέλεση κατάλληλων τεχνικών έργων, μας διασφαλίζει προσφέροντας λύσεις σε αυτό το πρόβλημα. Είναι δυνατόν να οριοθετηθούν οι περιοχές που έχουν υποστεί ρύπανση και απαγορευτεί η χρήση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα για ύδρευση, ανάλογα με τον βαθμό ρύπανσης, που αυτός έχει υποστεί.

Σήμερα, με τη στεγανοποίηση των χώρων διάθεσης, προσπαθούμε να αποκλείσουμε την ενδεχόμενη άμεση ή έμμεση επαφή των ρυπογόνων ουσιών με το υδροφόρο ορίζοντα, του οποίου η χρήση είναι συνήθως η ύδρευση. Σε αντίθετη περίπτωση, είναι απαραίτητο να επέμβουμε άμεσα με κατάλληλο τρόπο για την εξυγίανση του υδραφόρου ορίζοντα, μέχρις ότου απομονωθεί η πηγή ρύπανσης. Έτσι αποτρέπουμε την εξάπλωση της διάχυσης των ρύπων στην υπόλοιπη λεκάνη του υδραφόρου ορίζοντα. Η επιφάνεια της ρύπανσης παίρνει ελλειψοειδές σχήμα, το οποίο μοιάζει με το σχήμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Beretta G.P. 1985). Τα υπόγεια νερά ρέουν στο υπέδαφος με ταχύτητα λίγων m/ημέρα (σε πλευρικά κορήματα και ποταμοχειμνωδείς απαθέσεις), ενώ σε καρστικούς αγωγούς με ταχύτητα μερικών km/ημέρα.

Με υδροχημικές μεθόδους είναι πολύ εύκολο να διαπιστώσουμε την ρύπανση από ένα χώρο διάθεσης. Αυτό συμβαίνει γιατί στα δείγματα νερού που μπορούμε να πάρουμε από γεωτρήσεις και από πηγάδια ελέγχου είναι αυξημένη η συγκέντρωση σε CO_2 , SO_4 , NH_4 , NO_2 , χλωριόντα και η σκληρότητα.

Η ανάλυση της ρύπανσης γίνεται με υδροχημική μέθοδο και συμπεριλαμβάνει τον προσδιορισμό των ρυπαντών, των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής και τον εντοπισμό του άξονα ρύπανσης. Όταν ολοκληρωθεί η έρευνα, μπορούμε να επιλέξουμε τον τρόπο επέμβασης, έχοντας ως γνώμονα τις τοπικές γεωλογικές και ιδιαίτερα τις υδρογεωλογικές συνθήκες.

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα διάχυσης της ρύπανσης γύρω από ένα χώρο διάθεσης απορριμμάτων προτείνουμε την εφαρμογή της μεθόδου G. Beretta (1985). Στον υπολογισμό που γίνεται ορίζονται τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος από πηγάδια εξυγίανσης, τα οποία με την άντλησή τους σχηματίζουν ένα υδραυλικό τείχος ενάντια στην διάχυση των ρύπων. Αυτός ο τρόπος επέμβασης μπορεί να γίνει σε όλους τους χώρους διάθεσης, όταν γνωρίζουμε τον τρόπο διάχυσης των ρύπων στο υπέδαφος (σε μικρο και μακροσκοπική κλίμακα) και ιδιαίτερα εκτιμώντας την επίδραση που θα υποστεί ο υδροφόρος ορίζοντας από την άντλησή του, σε σχέση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σημείου ρύπανσης.

Οι διαλελυμένες ουσίες που προέρχονται από τα απορρίμματα καταλήγουν στα υπόγεια νερά και κυκλοφορούν μαζί τους. Η κυκλοφορία των ρύπων, διέπεται από τους νόμους της υδροδυναμικής που εφαρμόζονται σ' ένα συνεχές, ομογενές και ισότροπο σώμα. Εάν όμως οι γεωλογικοί σχηματισμοί από τους οποίους αποτελούνται οι υπόγειες λεκάνες είναι ανισότροποι ή ετερογενείς, τότε πρέπει να ορισθεί ως συντελεστής διαπερατότητας ο μέσος όρος των συντελεστών διαπερατότητας των πετρωμάτων, που δομούν το χώρο, λαμβανομένου υπ' όψη και τον όγκο του κάθε σχηματισμού. Έτσι, τα φαινόμενα θα εκφράζονται με τρόπο ομογενή και ισότροπο.

Το φαινόμενο της ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι πολύ σύνθετο και είναι αποτέλεσμα της διάθεσης ρύπων πάνω σε περατούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Σε περίπτωση εισροής ρύπων σημαντικό ρόλο για την εξάπλωσή τους παίζει η ποσότητα, ενώ αντίθετα σε περίπτωση εισροής ρύπων σε μη κορεσμένες περιοχές, εκτός της λιθολογίας, σημαντικός παράγοντας είναι και ο χρόνος (η διάρκεια κατά την οποία οι ρύποι διοσφίνονται στο υπέδαφος). Η διάχυση των ρύπων στο χώρο καθορίζεται από την πυκνότητα και την ταχύτητα ροής των ρύπων, ενώ η ταχύτητα των υπόγειων νερών καθορίζει το χρόνο εξάπλωσης της ρύπανσης.

Η ταχύτητα διήθησης των ρύπων στο έδαφος από την εστία ρύπανσης έως τον υδροφόρο ορίζοντα, ορίζει το «χρόνο επικινδυνότητας», που είναι ο απαιτούμενος χρόνος για να φθάσει μια ρυπογόνος ουσία από το σημείο παραγωγής της στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα (Beretta, 1985).

Τρόποι προστασίας των υπόγειων νερών σε χώρους διάθεσης απορριμμάτων

Σε περίπτωση, που λόγω έλλειψης στεγανοποίησης, τα υγρά διαστάλαξης εξέλθουν του χώρου διάθεσης, τότε είναι απαραίτητο να υπάρχει σύστημα ελέγχου. Αυτό το σύστημα θα στηρίζεται στα πιεζόμετρα που θα έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος της ροής των υπογείων νερών και τα οποία θα επιτρέπουν την επέμβασή μας σε περίπτωση που η διάχυση των ρύπων επεκταθεί σε μεγαλύτερη ακτίνα των υπογείων νερών.

Οι γεωτρήσεις αυτές θα πρέπει σφενός μεν να προϋπάρχουν της αρχικής διάθεσης, να έχουν γίνει δηλαδή κατά τη διάρκεια της μελέτης ούτως ώστε να έχουμε στενή και πλήρη γνώση των πιο κάτω στοιχείων:

1. την ύπαρξη του υδροφόρου ορίζοντα και τη γεωμετρία του
2. την υπάρχουσα ρύπανση και τους κινδύνους ρύπανσης από τον χώρο διάθεσης
3. τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών
4. τη σχέση επικαιωνίας των υπογείων νερών
5. τη χαρτογράφηση των μορφολογικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών των γεωτρήσεων γύρω από το χώρο διάθεσης

Όσον αφορά στην εξυγίωση των υπογείων νερών, θα πρέπει να εφαρμόζουμε δύο είδη τεχνικών έργων:

α) Έργα αντιρρύπανσης (γίνεται προσπάθεια μείωσης ή ακόμα και εξάλειψης των ρυπογόνων ουσιών στα υπόγεια νερά).

β) Έργα ικανά να σταματήσουν τις εκπομπές της πηγής ρύπανσης π.χ. απομόνωση του χώρου διάθεσης από το περιβάλλον του ή και κλείσιμο του χώρου διάθεσης. (Επιτυγχάνεται με στεγανοποίηση της επιφάνειας, δημιουργίας περιφερειακής τάφρου ομβρίων κ.λπ.).

Υλικά στεγανοποίησης

Σε κάθε χώρο διάθεσης απορριμμάτων κρίνεται απαραίτητο να γίνει τεχνητή στεγανοποίηση του πυθμένα, με τη χρήση κατάλληλων υλικών για το σκοπό αυτό, για να διασφαλιστούν τα εδάφη και τα υπόγεια νερά από τη ρύπανση ή τη μόλυνση. Για το σκοπό αυτό προτείνουμε να χρησιμοποιηθούν αργιλικά υλικά και γεωμεμβράνες, που καλύπτουν τις προδιαγραφές καταλληλότητας, τα οποία περιγράφουμε πιο κάτω.

Το στεγανό αυτό υλικό θα πρέπει να είναι άργιλος ή μαργαϊκή άργιλος με $LL = 25 - 30$ και δεκτική πλαστικότητα έως 10 ή 12 αποκλεισμένων των σιιπιεστών αργίλων, των διογκούμενων αργίλων, των αργίλων υψηλού ορίου υδαρότητας > 30 , καθώς επίσης και των οργανικών αργίλων.

Κατάλληλοι άργιλοι για το σκοπό αυτό είναι: CL ή SC ή GC, δηλαδή ανόργανη άργιλος, αμμώδης ή χαλικώδης ή καθαρή άργιλος με LL 20 έως 30 το πολύ και συντελεστή υδροπερατότητας K έως 10^{-8} cm/sec.

Πολύ καλό υλικό για το σκοπό αυτό είναι ο μπεντονίτης, ο οποίος από πολλά χρόνια χρησιμοποιείται στη γεωτεχνική. Ο μπεντονίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ανάμιξη με άλλα υλικά σε διάφορες αναλογίες και αποτελεί πολύ αποτελεσματικό και μεγάλης διάρκειας στεγανοποιητικό υλικό.

Το πάχος της αργιλικής στρώσης θα πρέπει να υπολογιστεί συναρτήσει του ύψους των υγρών, που θα τοποθετηθούν πάνω στη στεγανωτική άργιλο.

Για τον τάπητα στεγανότητας μπορεί να χρησιμοποιηθούν γεωμεμβράνες κατάλληλων προδιαγραφών.

Η επιλογή της γεωμεμβράνης του υποκείμενου στεγανοποιητικού φάσματος θα γίνει από διαθέσιμα είδη που κυκλοφορούν στην Ελληνική αγορά με δύο βασικά κριτήρια κατά τη φάση σχεδιασμού.

- Μηχανική αντοχή, έτσι ώστε να καλύπτει όλες τις απαιτήσεις τάσεων - παραμορφώσεων και μέτρου ελαστικότητας σε στατική ή και δυναμική επιφόρτιση (ερπυσμός)
- Χημική συμβιβαστότητα, με τις ουσίες που δημιουργούνται πρωτογενώς ή δευτερογενώς (κατά τη διάρκεια της ζύμωσης των αποβλήτων), έτσι ώστε να εμφανίζει την ελάχιστη δυνατή μείωση των αρχικών μηχανικών χαρακτηριστικών μετά από πολυετή παραμονή σε χημικώς δραστήριο περιβάλλον (π.χ. οι γεωμεμβράνες PVC εμφανίζουν απομείωση αντοχής στη μακροχρόνια επίδραση αλάτων και βόσεων κατά 30% περίπου σε αντίθεση με τις γεωμεμβράνες HDPE οι οποίες διατηρούν αμείωτες τις αρχικές τους μηχανικές ιδιότητες στο περιβάλλον αυτό).

Πολλές φορές κρίνεται απαραίτητος ο συνδυασμός γεωσυνθετικού υλικού με κατάλληλη στρώση αδιαπέρατου υλικού, έτσι ώστε να μειώνει στο ελάχιστο τις πιθανότητες διαρροών δια μέσου κάποιων σημείων αδυναμίας της γεωμεμβράνης, τα οποία ενδέχεται να εμφανισθούν είτε προς το τέλος του χρόνου σχεδιασμού του έργου, είτε εξαιτίας διαρρηξεών λόγω σεισμικής δραστηριότητας. Ως υλικό στεγανοποίησης είναι σκόπιμο να επιλεγεί αργιλικό υλικό (μπεντονίτης ακατέργαστος), που έχει την ιδιότητα επούλωσης των ρωγμών και διατήρησης της στεγανότητας του χώρου.

α) Υποκείμενο Στεγανοποιητικό Φράγμα έναντι οιασδήποτε διεισδύσεως υγρών ή αερίων σε οποιαδήποτε ποσότητα στον περιβάλλοντα εδαφικό ημίχωρο. Ιδιαίτερα τονίζεται το γεγονός ότι η λειτουργία αυτού του υποκείμενου φράγματος πρέπει να εξασφαλίζεται όχι μόνον κατά τη

φάση απόθεσης αλλά κυρίως κατά τη φάση λειτουργίας και χώνευσης για όλη τη διάρκεια ζωής του χώρου.

Ο τάπητας στεγάνωσης μπορεί να περιλαμβάνει συνδυασμό γεωμεμβρανών με κατάλληλη προστασία και αδιαπεράτων εδαφικών στρώσεων, π.χ. αργιλικά υλικά, όπως αυτά προαναφέραμε. Η πολλαπλότητα του συστήματος εξαρτάται από την τοξικότητα των αποβλήτων, τις ιδιότητες (διαπερατότητα και συμπίκνωση) των αργιλικών στρώσεων αλλά και την ποιότητα και το πάχος της γεωμεμβράνης που επιλέγεται.

Αν κριθεί σκόπιμος ο συνδυασμός γεωσυνθετικού υλικού με κατάλληλη αδιαπεράτη στρώση υλικού υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής α) απλού συστήματος στεγάνωσης το οποίο πρέπει να περιλαμβάνει συγχρόνως μια αργιλική στρώση και μια γεωμεμβράνη με κατάλληλη προστασία και β) δημιουργίας τάπητα στεγάνωσης διατομής σάντουιτς σε δύο στρώσεις αργίλου αναλόγου πάχους. Αυτές οι στρώσεις θα διαχωρίζονται από γεωμεμβράνη κατάλληλων προδιαγραφών.

θ) Στεγανό Επιφανειακό Κάλυμμα. Ο σκοπός του είναι να εμποδίσει οποιαδήποτε κατείσδυση ή διείσδυση ή διήθηση εξωτερικών επιφανειακών (ομβρίων) νερών μέσα στο χώρο, αλλά συγχρόνως να επιτρέπει την απρόσκοπη απομάκρυνση των αερίων σε επιλεγμένα σημεία. Το κάλυμμα αυτό θα δημιουργηθεί με το τέλος λειτουργίας του χώρου και την αποκατάσταση προκειμένου να εμποδίζει την κατείσδυση του νερού.

γ) Σύστημα αποστράγγισης των νερών που προέρχονται από τα ατμοσφαιρικό κατακρημνίσματα και τα στραγγίσματα των απορριμμάτων κατά τη φάση λειτουργίας του χώρου διάθεσης. Το σύστημα αποστράγγισης θα κατευθύνει τα στραγγίσματα προς το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων για καθαρισμό.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφαλή λειτουργία ενός χώρου διάθεσης είναι η εγκατάσταση ενός συστήματος ελέγχου διαρροών το οποίο θα περιλαμβάνει δίκτυο διάτρητων σωλήνων και ηλεκτρονικό έλεγχο για άμεση λήψη μέτρων σε περίπτωση εξακρίβωσης κάποιας διαρροής.

Συζήτηση - Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή διερευνώνται τα προβλήματα, που δημιουργούνται στα υπόγεια νερά από τη λειτουργία χώρων διάθεσης απορριμμάτων.

Η ασφαλής λειτουργία των χώρων διάθεσης απορριμμάτων πρέπει να γίνεται με σωστά οργανωμένους και κατάλληλους χώρους σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία. Για την επιλογή και την οργάνωση των ελεγ-

χόμενων χώρων έχουν θεσπιστεί προδιαγραφές που περιγράφουν και καθορίζουν τα κριτήρια, τα οποία είναι γεωγραφικά, μορφολογικά, γεωλογικά, υδρογεωλογικά και γεωτεχνικά. Γεωλογικά και υδρογεωλογικά κριτήρια αποτελούν η γεωλογική δομή, η λιθολογία, η αποσόθρωση, η περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών, η πιεζομετρία κ.λπ.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών και η μορφολογία του χώρου σε σχέση με τον τύπο των απορριμμάτων, που πρόκειται να διατεθούν είναι καθοριστικά.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν τους χώρους διάθεσης απορριμμάτων, οι οποίοι πρόκειται να λειτουργήσουν για πολλά χρόνια πρέπει να έχουν: Χαμηλό συντελεστή υδροπερατότητας $K \leq 10^{-7} \text{ cm/sec}$, που εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη δυνατή απομόνωση των απορριμμάτων από τον υδροφόρο ορίζοντα, ικανότητα δέσμευσης χημικών στοιχείων (ιοντοαλλαγή) και πλαστική συμπεριφορά.

Πετρώματα με υψηλή διαπερατότητα, επιτρέπουν στους ρύπους να διεισδύουν μαζί με τα νερά, στα πετρώματα και να ρυπαίνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Από τους χώρους διάθεσης απορριμμάτων που λειτουργούν στην Ελλάδα, ελέγξαμε τους 297 απ' αυτούς και διαπιστώσαμε ότι το 47,8% βρίσκεται σε υδροπερατά πετρώματα, το 18,85% σε ημιπερατά και μόνο 33,3% σε στεγανά πετρώματα.

Ο βαθμός ρύπανσης των υπόγειων νερών ποικίλει και κυμαίνεται από μικρού βαθμού αλλοίωση της ποιότητας του νερού σε διαύγεια, μέχρι την παρουσία τοξικών ουσιών και βαρέων μετάλλων. Υπάρχουν δυσκολίες στον έλεγχο ρύπανσης των υπόγειων νερών που οφείλεται σε διάφορες αιτίες, όπως έλλειψη φρεάτων ελέγχου, καθυστέρηση της διαπίστωσης της ρύπανσης, συνέχιση εξάπλωσης της ρύπανσης μετά τη διακοπή εκπομπής των ρύπων. Ο έλεγχος γίνεται με υδροχημικές μεθόδους και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των ρυπαντών και των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής και τον άξονα ρύπανσης.

Τα υπόγεια νερά ρυπαίνουν με δύο τρόπους: άμεσο και έμμεσο. Αιτία ρύπανσης είναι τα στραγγίσματα που κατεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Η ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να προκύψει από διάφορες αιτίες, όπως Χ.Δ.Α., βόθρους, κτηνοτροφικές μονάδες, βιομηχανίες, κ.λπ. Ο βαθμός ρύπανσης εξαρτάται από το ρυπαντικό φορτίο, τις βροχοπτώσεις και τη στάθμη των υπόγειων νερών.

Για τη σωστή αντιμετώπιση των προβλημάτων πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας και κατάλληλη υποδομή και στους καινούργιους χώρους. Πρέπει να γίνεται απαραίτητα στεγανοποίηση των δαπέδων. Για το σκοπό αυτό προτείνουμε αργίλους με LL = 25-30 και δείκτη πλαστικότητας έως 10 ή 12, αποκλεισμένων των συμπιεστών αργίλων, των διογκουμένων αργίλων, των οργανικών και αυτών με υψηλό όριο υδαρό-

τητας >30 . Κατάλληλοι άργιλοι είναι: CL ή SC ή GS με LL 20 έως 30 K έως 10^{-8} cm/sec. Πολύ καλό υλικό θεωρείται ο μπεντονίτης σε ανάμιξη με άλλα υλικά σε συγκεκριμένες αναλογίες. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθούν γεωμεμβράνες και γεωυφάσματα σε συνδιασμό με αδιαπέρατο υλικό α) σε απλό σύστημα στεγάνωσης, που θα περιλαμβάνει συγχρόνως αργιλική στρώση και γεωμεμβράνη και β) σε διατομή σάντουιτς σε δύο στρώσεις αργίλου αναλόγου πάχους, που θα διαχωρίζονται από γεωμεμβράνη.

Τέλος πρέπει να υπάρχει σύστημα αποστράγγισης των στραγγισμάτων.

Discussion - Conclusions

In this paper the problems of the underground water due to the existence of solid waste disposal sites, are investigated.

The safe operation of those sites must take place in properly organised and suitable sites according to the current legislation. For the selection and organization of controlled sites there have been determined specifications and standards that describe and define the criteria in terms of geography, morphology, climatology, geology, hydrogeology and geotechnical engineering. Geological and hydrogeological criteria consist of geological structure, the lithology, the erosion, the permeability etc. The physicochemical qualities of the geological formations and the morphology of the site in relation to the type of the wastes that are to be disposed of constitute a definite criterion.

The geological formations which constitute the solid waste disposal sites, that will be in operation for many years should be characterized by: 1) a low coefficient of permeability, $K \leq 10^{-7}$ cm/sec, which ensures the maximum separation of the waste from the ground water, 2) a capacity to absorb elements (ion exchange) and 3) plastic behaviour. Rocks of high permeability allow the pollutants to penetrate along with the water and to pollute the water bearing strata.

From the solid waste disposal sites that are in operation in Greece, 297 were investigated. We found out that 47,8% are on permeable rocks, 18,85% are on semipermeable and only 33,3% on impermeable rocks.

Pollution degree of ground water varies from a low level alteration of water transparency, to the presence of toxic substances and heavy metals. The ground water pollution is difficult to be investigated because of a) the lack of observation wells, b) delay of understanding of the pollution and c) the continuation of pollution spread after the pollutant substances emission stops. Pollution is checked by hydrochemical methods

and includes the determination of the pollutant substances, the hydro-geological conditions and settings of the region and the pollution path.

Ground water contaminates with direct and indirect ways. The cause of contamination is the leach that percolates to the water table.

Pollution of the water table is a result of several causes, such as the waste disposal sites, septic tanks, industries, etc. The degree of pollution depends on the pollutant load, the rainfall and the depth of the piezometric surface of the ground water.

To assure the safe function of the sites we must take the appropriate infrastructure work. The site bottom must be water-proof and we suggest clays of LL = 25-30 and plasticity index up to 10 or 12. Consolidated clays, swelling clays, organic clays and those with high liquid limit >30 are excluded. Suitable clays for this purpose are clays which are classified according to international unification system of soil classification as CL or SC or GS with LL 20 to 30 and K up to 10^{-8} cm/sec.

A very suitable material is bentonite mixed in certain proportions with other materials. At last geomembranes and geotextiles could be used in combination with impermeable materials a) in single water-proof system which includes a combination of a layer of clay and geomembrane and b) in sandwich profile in two layers of clays of a proper thickness which will be separated by a geomembrane.

Finally there must be a well developed drainage system for the leaches.

Βιβλιογραφία

- Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., Ξενάκης, Ν. (1989). Περιβαλλοντικά προβλήματα στις περιοχές διάθεσης απορριμμάτων στον ελληνικό χώρο. 2ο Πανελλ. Γεωγρ. Συνέδρ. Αθήνα, σ. 417-437.
- Andretta, D., Chiantore V., Chiaravalli F., Dotti D. (1990). Discariche di rifiuti convenzionale a strategici: *Methodologie geologiche per l'individuazione e la caratterizzazione dei siti* Geologia tecnica 1/90, 4-13.
- Bear, S.M. (1972). *The dynamics of fluid in porous media*. Elsevier, New York, 746.
- Beretta, G.D. (1985). Sistemi di intervento per il risanamento di falde compromesse dallo smaltimento sul terreno dei rifiuti solidi.
- Bookter, T.J., Ham, R.K. (1982). Stabilization of solid waste in landfills, *journal of the Environmental Engineering Division*.
- Bouchard, D.C., Lavy, T.L. (1985). Hexazione adsorption-desorption studies with soil and argani adsorbents. *J. Environ. Qual.*, 2, 181-186.

- Bourg, A.C.M., Sauly, S.D. (1987). Can the distribution coefficient (K_d) concept account successfully for the adsorption of pollutants in hydrodynamic mass transfer models? In: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, 911-921.
- Bratley, K.J. (1977). A description of comparative performance test of mobile plant on a mazor landfill site. *Solid wastes*, 20, 60-66.
- Campbell, D.J.V., Parker, A. (1980). Density of refuse after decomposition using various landfill techniques *Solid Wastes*, 23, 435-440.
- Cancelli, A. (1983). Caracterisation geotechnique d' un melange impermeabilisant solibetouite. Coll. Etancheite Superficielle, Paris, I, 250/1-6 ed. Cemagref.
- CEC-Commission of the European Communities (1980). Geological confinement of radioactive waste within the European Community EUR 6891 E.
- Cheyney, A.C. (1983). Settlement of landfill Proceedings Harwell Symposium on Lanfill Completion, 25 May.
- Φυτρολάκης, Ν., Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., Λειβαδίτης, Γ., Κυρούσης, Ι. (1988). Γεωμορφολογική έρευνα και παρατηρήσεις σχετικές με την υδροφορία και την μόλυνση των επιφανειακών και υπόγειων νερών στην λεκάνη των ποταμών Κηρέα και Νηλέα (ΒΑ Εύβοια). Δελτίο Ε.Γ.Ε., τομ. XX/3.
- Hillel, D. (1971). Soil and water physical principles and processes. Academic Press, New York, 288.
- Kozak, J., Weber, S.B., Sheets, T.S. (1983). Adsorption of prometryn and metolachlor by selected Soil organic matter fraction, *Soil Science*, 2, 94-101.
- Λοιζίδου, Μ., Χέλμης, Κ., Κούσης, Α., Δάλας, Δ. (1990). Μελέτη ρύπανσης των υπόγειων υδάτων από τα στραγγίσματα της χωματερής Άνω Λιοσίων. Έρευν. Πρόγραμμα Ε.Μ.Π.
- Ξενάκης, Ν., Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α. (1989). Φυσικογεωλογικά κριτήρια για την επιλογή χώρων διάθεσης στερεών αποβλήτων. 2ο Πανελλ. Γεωγραφικό Συνέδριο.
- Ξένος-Ξενάκης, Ν. (1986). Μεθοδολογία Επιλογής χώρων γεωλογικά κατάλληλων για διάθεση των στερεών αποβλήτων. ΥΠΕΧΩΔΕ Αθήνα.
- Ξένος-Ξενάκης, Ν. (1995). Γεωλογική έρευνα, επιλογή, οργάνωση και εξυγίανση χώρων διάθεσης απορριμμάτων. Διδ. Διατριβή, Ε.Μ.Π.
- Παπαδόπουλος, Α. (1994). Ανάπτυξη μεθόδων για την επεξεργασία στραγγισμάτων από το χώρο ταφής οικιακών απορριμμάτων. Διδ. Διατριβή, Ε.Μ.Π.
- Ress, J.F. (1982). Landfill management and leachate quality. *Effluent and Water Treatment Journal*, 22, 12, 457-463.

- Skordilis, A. (1986). Household waste Analysis in the Greater Athens Region, using generally acceptable statistical Methods.
- Σκορδίλης, Α. (1988). Βιολογική διαδικασία αποικοδόμησης των απορριμμάτων και παραγωγή στραγγισμάτων, 8, 1, 43-45. Τεχνικά Χρονικά.
- Σκορδίλης, Α. (1993). Η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων. Έκδοση ΙΩΝ.
- Sowers, G.F. (1973). Settlement of Waster Disposal Fills. Proc. 8th IC SMFE, Moscow, 2-2, 207-210.
- Wentz, C.A. (1989). Hazardous waste mangement. Mc Graw-Hill int. edit.