



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μόλυνση υπόγειων νερών στις περιοχές απόθεσης
απορριμμάτων – Ισχύουσα σχετική Νομοθεσία – Η
περίπτωση της Αττικής**



ΚΑΡΒΟΥΝΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ- ΖΑΧΑΡΟΥΛΑ

A.M.: 07102045

Επιβλέπων: Δ. Ρόζος, Επίκουρος Καθηγητής

**Groundwater contamination in the areas of waste disposal –
The active relevant legislation- The case of Attica**

Diploma Thesis by: Karvouni Vasiliki-Zacharoula

Supervised by: D. Rozos, Assistant Professor

ΑΘΗΝΑ 2012

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



National Technical University

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μόλυνση υπόγειων νερών στις περιοχές απόθεσης
απορριμμάτων – Ισχύουσα σχετική Νομοθεσία – Η
περίπτωση της Αττικής**

**ΚΑΡΒΟΥΝΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ- ΖΑΧΑΡΟΥΛΑ
Α.Μ.: 07102045**

Επιβλέπων: Δ. Ρόζος, Επίκουρος Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις / / 2012

Ρόζος Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής

Ροντογιάννη Θεοδώρα, Αναπληρωτής Καθηγητής

Λουπασάκης Κων/νος, Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ 2012

Copyright © Καρβούνη Β. Βασιλική-Ζαχαρούλα, 2012

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Αφιερωμένο στους γονείς μου

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΣΑ: Αστικά Στερεά Απόβλητα

ΒΑΑ: Βιοαποδομήσιμα Αστικά Απόβλητα

ΓΕΔΣΑΠ: Γραφείο Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων

ΔΣΑ: Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων

ΔσΠ: Διαλογή στην Πηγή

ΕΚΑ: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

ΕΟΔΣΑΠ: Εθνικός Οργανισμός Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων

ΕΠΕΔ: Επιτροπή Εναλλακτικής Διαχείρισης

ΕΠΠΕΡ: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΕΣΔΚΝΑ: Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής

Κ-Μ: Κράτη Μέλη

ΚΔΑΥ: Κέντρο Διαλογής Αδρανών Υλικών

ΜΒΕ: Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία

ΟΕΔΑ: Ολοκληρωμένη Εγκατάσταση Διαχείρισης Απορριμμάτων

ΟΣΜ: Όχημα Συλλογής Μεταφοράς

ΟΤΑ: Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΠΟΕ-ΟΤΑ: Πανελλήνια Ομοσπονδία Εργαζομένων Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΠεΔΣΑ: Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΣΑ: Στερεά Απόβλητα

ΣΜΑ: Σταθμός Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων

ΣΣΕΔ: Σύστημα Συλλογής Εναλλακτικής Διαχείρισης

ΤΕΔΚΝΑ: Τοπική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής

ΦοΔΣΑ: Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΧΥΤΑ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΧΥΤΥ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, είναι μία βιβλιογραφική έρευνα για τους παράγοντες που προκαλούν τη ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, που επικεντρώνονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες και κατηγοριοποιούνται σε αστικά και βιομηχανικά λύματα, καθώς και σε αγροτικές εργασίες.

Αρχικά γίνεται αναφορά στους τύπους και στις παραμέτρους των υδροφόρων οριζόντων, στα χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών, στους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητά του, στις ιδιότητες του εδάφους και στην αλληλεπίδραση του νερού με το περιβάλλον.

Στη συνέχεια αναφέρονται αναλυτικά οι πηγές μόλυνσης των υπόγειων υδάτων και το πώς το έδαφος επιδρά ως αποδέκτης στερεών αποβλήτων. Πέρα από την παρουσίαση της υπάρχουσας κατάστασης, σε ευρωπαϊκό αλλά και εθνικό επίπεδο, στην παρούσα εργασία, αναλύουμε και το θέμα της διαχείρισης αποβλήτων και την επιλογή των χώρων ΧΥΤΑ και ιδιαίτερα στην περίπτωση της Αττικής.

Τέλος, αναλύονται προτάσεις για λύση του υφιστάμενου προβλήματος της επεξεργασίας των απορριμμάτων, τα μέτρα προστασίας και οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την απορρύπανση των υδροφόρων οριζόντων.

Σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας, πολλοί ήταν εκείνοι που με βοήθησαν και πρέπει να ευχαριστήσω για την άψογη συνεργασία τους. Πρωταρχικά πρέπει να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δ. Ρόζο για την υπομονή, τις υποχωρήσεις και την πολύτιμη βοήθειά του. Επίσης πολλές ευχαριστίες απευθύνω στη διδάκτορα κα Ε. Βασιλείου για την καθοδήγηση, τη βοήθεια και την πολύπλευρη συμπαράστασή της καθώς και τον κ. Α. Καλλιώρα, με τη συμβολή του οποίου κατάφερα να προσεγγίσω το θέμα της εργασίας πιο εξειδικευμένα. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους εξεταστές καθηγητές κα Ροντογιάννη και κ. Λουπασάκη.

ABSTRACT

The factors that cause pollution of soils and groundwater aquifers are examined in this thesis. These factors refer to human activities and are categorized into urban and industrial wastes, as well as in cultivated activities.

At the beginning, the types and parameters of aquifers, the groundwater characteristics along with the factors affecting its quality, as well as the soil properties and the interaction of water with the environment, are presented.

Following to that, the sources of groundwater contamination and the soil reaction as receiver of solid wastes are analytically described. Also, the present status regarding the waste desposal sites either at European and national level are presented, while the issue of waste desposal management along with the selection of the proper sites for that are studied with an emphasis to the case study of Attica.

Finally, detailed proposals for a solution regarding the existing problem of waste treatment, as well as protective measures and methods applicable for the depollution of the aquifers are also discussed.

Finishing this study, I would like to thanks many people during this work, for their excellent cooperation. First of all I should thank the Ass. Professor D. Rozos for his patience, tolerance and invaluable assistance. Also, I owe many thanks to both Dr E. Vasileiou for her guidance, help and multifaceted support and Lecturer A. Kallioras, as his contribution help me to approach the issue of work more effective. Finally, I warmly thank the two other members of my examining committee Ass. Prof Th. Rontogianni and Lecturer K. Loypasakis, for their assistance.

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	
1.1. Υδρογεωλογικός κύκλος του νερού.....	17
1.2. Υπόγεια νερά.....	24
1.3. Υδρογεωλογική ταξινόμηση των πετρωμάτων.....	32
1.4. Τύποι υδροφόρων οριζόντων.....	34
1.5. Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφόρων οριζόντων.....	36
1.6. Παράγοντες που ελέγχουν την ποιότητα του υπόγειου νερού.....	39
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	
2.1. Μηχανικές ιδιότητες των εδαφών.....	42
2.2. Φυσικές ιδιότητες των εδαφών.....	45
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	
3.1. Φυσικοχημικές παράμετροι των νερών.....	47
3.2. Άλλα χαρακτηριστικά του νερού.....	58
3.3. Προέλευση ιόντων.....	61
3.3.1. Ανιόντα.....	61
3.3.2. Κατιόντα.....	63
3.4. Συσχέτιση ιόντων.....	68
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	
4.1. Το νερό ως γεωλογικός παράγοντας.....	70
4.2. Συστήματα υπόγειας ροής.....	70
4.3. Αλληλεπίδραση νερού και περιβάλλοντος.....	71
4.3.1. Χημικές διαδικασίες.....	73
4.3.2. Φυσικές διαδικασίες.....	75
4.3.3. Μεταφορικές ή κινητικές διαδικασίες.....	78
4.4. Υδρογεωλογικό περιβάλλον.....	79
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	
5.1. Ρύπανση και Μόλυνση.....	81
5.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων.....	82
5.3. Πηγές ρύπανσης.....	84
5.3.1. Αστικές πηγές ρύπανσης.....	87
5.3.2. Βιομηχανική ρύπανση.....	103

5.3.3. Διαφυγές από δεξαμενές και αγωγούς.....	108
5.3.4. Μεταλλευτική δραστηριότητα.....	109
5.3.5. Ραδιενεργά απόβλητα.....	111
5.3.6. Αγροτική ρύπανση.....	113
5.3.7. Επιστροφές νερού από άρδευση.....	114
5.3.8. Φυτοφάρμακα.....	115
5.3.9. Κτηνοτροφικά απόβλητα.....	115
5.3.10. Απόβλητα αγροτικών βιομηχανιών.....	116
5.3.11. Άλλες πηγές ρύπανσης.....	116
5.4. Επιπτώσεις – Ανίχνευση της ρύπανσης.....	122
5.5. Μόλυνση των υδοφόρων από μικροοργανισμούς.....	123
5.6. Αλληλεπίδραση ρυπαντών κι εδάφους – Φυσική απορρύπανση.....	124
5.7. Ανάμιξη ρυπαντών υπόγειου νερού.....	126
5.8. Φυσικοί μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων.....	127
5.9. Μηχανισμοί εξασθένησης της ρύπανσης.....	129
5.10. Εξέλιξη του ρυπαντικού φορτίου μετά την αναίρεση του αιτίου της ρύπανσης.....	133
5.11. Ρυπαντική επιδεικτικότητα – Τρωτότητα.....	134
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΩΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	
– ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	
6.1. Γενικά.....	137
6.2. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων.....	138
6.3. Μέθοδοι διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων.....	140
6.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός ΧΥΤΑ.....	142
6.5. Κριτήρια επιλογής της θέσης ενός ΧΥΤΑ.....	143
6.6. Βαθμονόμηση των κριτηρίων επιλεξιμότητας.....	151
6.7. Δομή και τρόποι απόθεσης στους ΧΥΤΑ.....	158
6.8. Παραγωγή και μετανάστευση του βιοαερίου.....	160
6.9. Παραγωγή σταγγισμάτων.....	164
6.10. Το πρόβλημα της στεγανότητας στους ΧΥΤΑ.....	169
6.11. Τελική επικάλυψη κι αποκατάσταση των ΧΥΤΑ.....	172
6.12. ΧΥΤ αδρανών κι επικίνδυνων αποβλήτων.....	176
6.13. ΧΥΤΥ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων).....	178
6.14. Διαδικασίες έγκρισης κι έκδοσης άδειας λειτουργίας ΧΥΤΑ.....	178

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΚΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ Α.Σ.Α.

7.1. Η Ευρωπαϊκή πολιτική στον τομέα διαχείρισης των ΑΣΑ.....	181
7.2. Αναδρομή στην υπάρχουσα κατάσταση στη χώρα μας.....	192
7.2.1. Η υπάρχουσα κατάσταση σε σχέση με τη διαχείριση των ΑΣΑ..	192
7.2.2. Η υπάρχουσα κατάσταση σε αριθμούς.....	196
7.2.3. Μέθοδοι κι έργα διαχείρισης των ΑΣΑ.....	199
7.2.4. Οι Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Α.Δ.Α.).....	201
7.2.5. Το γενικότερο πλαίσιο και οι κατευθύνσεις πολιτικής στη χώρα μας.....	205
7.3. Το ισχύον θεσμικό πλαίσιο.....	207
7.3.1. Το κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο.....	207
7.3.2. Η εξέλιξη του ελληνικού θεσμικού πλαισίου.....	210
7.3.3. Το πρόσφατο θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα.....	211
7.4. Η οικονομική διάσταση της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων...217	
7.4.1. Οικονομική αποδοτικότητα των μέχρι σήμερα επιλογών.....	217
7.4.2. Πόροι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.....	219

8. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

8.1. Υπάρχουσα κατάσταση από πλευράς τεχνικών υποδομών.....	222
8.2. Η διαχρονική εξέλιξη του ζητήματος.....	228
8.3. Το Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠεΣΔΑ) Περιφέρειας Αττικής.....	240

9. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο : ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

9.1. Απαιτήσεις επεξεργασίας απορριμμάτων.....	245
9.2. Εθνικός σχεδιασμός για τη διαχείριση των απορριμμάτων οικιακού τύπου.....	246
9.2.1. Εθνικός σχεδιασμός 2000.....	246
9.2.2. Προβλήματα εθνικού σχεδιασμού 2000.....	248
9.2.3. Περιφερειακοί Σχεδιασμοί 2005/2006.....	249
9.3. Κριτική θεώρηση Περιφερειακών σχεδιασμών.....	251
9.4. Αρχές ορθολογικού εθνικού σχεδιασμού.....	260

9.5. Προτάσεις για λύση του υφιστάμενου προβλήματος.....	265
9.6. Προτάσεις πολιτικής.....	267
9.7. Γενικά Συμπεράσματα.....	271
10. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο : ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ – ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗ	
10.1. Γενικά.....	272
10.2. Προστασία υδροφόρων.....	273
10.2.1. Προστασία των έργων υδροληψίας.....	273
10.2.2. Προστασία της περιοχής υδροληψίας.....	274
10.2.3. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων στο έδαφος και προστασία των υδροφόρων.....	281
10.2.4. Συστήματα εδάφους υδροφόρου (SAT).....	284
10.3. Έλεγχος και περιορισμός της ρύπανσης – Απορρύπανση.....	285
10.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου απορρύπανσης.....	287
10.3.2. Μέθοδοι και τεχνικές απορρύπανσης.....	290
10.3.3. Φυσικές μέθοδοι απομάκρυνσης των ρύπων.....	293
10.3.4. Φυσικές μέθοδοι απορρύπανσης με παγίδευση ρύπου.....	301
10.3.5. Χημικές μέθοδοι απορρύπανσης.....	307
10.3.6. Συστήματα βιολογικής απορρύπανσης υδροφορέων.....	311
10.3.7. Απορρύπανση με χρήση φυτοκάλυψης.....	313
10.4. Απονίτρωση υπόγειων νερών.....	313
10.5. Προστασία συστημάτων επιφανειακού νερού.....	316
10.6. Επεξεργασία του νερού.....	318
11. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο : ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	325
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	330
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Βασική Νομοθεσία για τα στερεά απόβλητα.....	331
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Παραδείγματα εφαρμογών απορρύπανσης υπόγειων υδροφορέων.....	341
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	345

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι η πλέον απαραίτητη χημική ένωση για όλες τις γνωστές μορφές ζωής στον πλανήτη μας. Όλοι οι έμβιοι οργανισμοί περιέχουν, στο σύνολο της μάζας τους, περίπου 60-70% w/w νερό, ενώ φθάνει μέχρι και το 90% w/w εκείνου των κυττάρων.

Ένα από τα σημαντικότερα κοιτάσματα του πλανήτη μας, είναι το νερό, ειδικότερα τα αποθέματα υπόγειου νερού, τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα στο υπέδαφος. Το νερό αποτελεί βασικό και ζωτικό στοιχείο για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη, τα υπόγεια νερά επηρεάζουν καθοριστικά όλα τα οικοσυστήματα, τους έμβιους οργανισμούς και τις δραστηριότητες του ανθρώπου.

Σήμερα περισσότερο από το μισό του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού, εξαρτάται άμεσα από τα υπόγεια αποθέματα για πόσιμο νερό. Τα υπόγεια νερά παίζουν πλέον κρίσιμο ρόλο και στην πρωτογενή παραγωγή (γεωργία και κτηνοτροφία), όπου παρατηρείται αύξηση του ποσοστού χρήσης των υπόγειων νερών σε βάρος των επιφανειακών. Αν στη χώρα μας (αλλά και παγκοσμίως) δεν γίνει ορθολογική χρήση του νερού για την κάλυψη των αρδευτικών και υδρευτικών αναγκών, η επερχόμενη κλιματική αλλαγή θα ασκήσει έντονες περιβαλλοντικές πιέσεις στους υδατικούς πόρους. Ήδη σε πολλές περιοχές της Ελλάδας εκτός από την πτώση στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και τα συνεπακόλουθα φαινόμενα ερημοποίησης οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες ευθύνονται σε σημαντικό βαθμό και για την υποβάθμιση του γεωπεριβάλλοντος (νιτρορύπανση, ρύπανση με φυτοφάρμακα, αγροχημικά, κτηνοτροφία, κ.λπ.) υποβαθμίζοντας την ποιότητα του υπόγειου νερού σε βαθμό που μπορεί να το καταστήσει ακατάλληλο ακόμα και για άρδευση.

Η ανθρωπογενής ρύπανση αφορά, την ουσιαστικά ανεξέλεγκτη στην Ελλάδα, εδαφική διάθεση αστικών, γεωργικών, βιομηχανικών (συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγής ενέργειας), μεταλλευτικών και άλλων ειδικών αποβλήτων. Επιπρόσθετα αφορά περιπτώσεις ρύπανσης από πετρελαιοειδή, πυρκαγιές σε ανεξέλεγκτες χωματερές, αλλά και από παθογόνους μικροοργανισμούς.

Οι πιθανές λύσεις είναι καθαρά τεχνολογικές, μιας και απαιτείται έλεγχος της πηγής ρύπανσης, όπου προϋπάρχει ρύπανση, εξυγίανση του

ρυπασμένου γεωπεριβάλλοντος, ώστε να απομακρυνθούν οι υφιστάμενοι ρύποι ή να ελαττωθεί σημαντικά η συγκέντρωση και η κινητικότητα τους. Παρ' όλη την ύπαρξη πολλών δοκιμασμένων και αξιόπιστων τεχνολογικών λύσεων, η αντιμετώπιση προβλημάτων γεωπεριβαλλοντικής ρύπανσης είναι συνήθως επιστημονικά πολύπλοκη καθώς οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων, πρέπει να ελέγχονται για την αξιοπιστία τους, και απαιτείται διεπιστημονική προσέγγιση και ισχυρή χρηματοδότηση.

Μια βιώσιμη τεχνολογική λύση θα πρέπει να βασίζεται στην πλήρη γνώση της συγκέντρωσης, της διασποράς και της γεωχημικής μορφολογίας των ρύπων αλλά και των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του εδάφους, της γεωλογίας και υδρογεωλογίας της περιοχής. Για την Ελλάδα υπάρχει ακόμη έντονο το πρόβλημα ολοκλήρωσης και κυρίως εφαρμογής της σχετικής νομοθεσίας, ενώ σημαντική είναι και η έλλειψη εξειδικευμένης εμπειρίας σε προβλήματα ρύπανσης στο γεωπεριβάλλον.

Το πρώτο μπορεί να επιλυθεί κυρίως με τη λειτουργία μηχανισμών ελέγχου, ενώ το δεύτερο αντιμετωπίζεται με την κατάλληλη εκπαίδευση όλων των εμπλεκόμενων φορέων (ατόμων και οργανισμών). Επιπρόσθετα, η έλλειψη αξιόπιστων πρωτογενών στοιχείων ρύπανσης αναφορικά με τα εδάφη και τα υπόγεια νερά αποτελεί τροχοπέδη στην ολοκληρωμένη διαχείρισή τους.

Ακολουθώντας μια οικοσυστημική προσέγγιση τα προγράμματα παρακολούθησης της ποιότητας του εδάφους και του υπόγειου νερού και οι στρατηγικές απορρύπανσης, που θα πρέπει να υιοθετηθούν το συντομότερο δυνατόν, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις γεωχημικές αντιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις ρύπου - εδάφους - υπόγειου νερού, ώστε να έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Δυστυχώς, όμως, ένα σημαντικό ποσοστό των υπεράριθμων χημικών ουσιών που η σύγχρονη, υπερκαταναλωτική κοινωνία παράγει και χρησιμοποιεί με διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς, τελικά καταλήγει στο έδαφος και στα υπόγεια νερά προκαλώντας τη ρύπανσή τους. Εκτός από τους ανθρωπογενείς παράγοντες, η ρύπανση του γεωπεριβάλλοντος μπορεί να οφείλεται και σε φυσικές διαδικασίες διάβρωσης πετρωμάτων, με χαρακτηριστικά παραδείγματα για τη χώρα μας το αρσενικό και το χρώμιο. Η ρύπανση του υπόγειου νερού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και υποχρεωτικά

συνυπάρχει με τη ρύπανση του εδάφους και αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες απειλές στον πλανήτη, καθώς τα αποθέματα γλυκού νερού περιορίζονται δραστικά από τις ολοένα μεγαλύτερες πιέσεις που προέρχονται από τον υπερπληθυσμό και την κλιματική αλλαγή.

Συμπερασματικά, ο κίνδυνος των δυσμενών επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών, ήδη υφίσταται στη χώρα μας σε σχέση με το νερό, κυρίως λόγω της απουσίας μιας σύγχρονης περιβαλλοντικής πολιτικής, που να αποσυνδέει την οικονομική ανάπτυξη από την αλόγιστη κατανάλωσή του. Ειδικά για τα υπόγεια νερά, εκτιμάται πως η κατάσταση θα επιδεινωθεί στα επόμενα χρόνια σε μεγάλο βαθμό, ανεξάρτητα από τις όποιες παγκόσμιες προσπάθειες για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών, καθώς η αυξανόμενη μεταβλητότητα και συνεπώς η μειωμένη αξιοπιστία στα επιφανειακά αποθέματα νερού, λόγω της κλιματικής αλλαγής θα καταστήσει αναμφισβήτητη τη χρήση των υπόγειων αποθεμάτων νερού, ακόμη πιο ελκυστική και ίσως πιο αναγκαία απ' ό,τι είναι σήμερα.

Εκτός από τον μακροχρόνιο απαιτούμενο σχεδιασμό, κάποια πρώτα βήματα πρέπει να επιτευχθούν άμεσα, σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Από τη μια πλευρά οι κτηνοτροφικές και κυρίως οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις πρέπει να εξορθολογιστούν και να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα, έτσι ώστε να περιοριστεί δραστικά η κατασπατάληση των υδάτινων αποθεμάτων, να ελαχιστοποιηθεί η ρύπανση από νιτρικά και άλλα χημικά και να προστατευθεί το έδαφος από την επερχόμενη ερημοποίηση, μέσω του εμπλουτισμού του με οργανική ύλη και ηπιότερων μεθόδων εκμετάλλευσής του. Από την άλλη πλευρά, με βάση την αρχή πρόληψης της ρύπανσης στα υπόγεια νερά, είναι πρωτίστως απαραίτητη η παύση της ανεξέλεγκτης εδαφικής διάθεσης αστικών, βιομηχανικών, γεωργικών, κτηνοτροφικών και άλλων αποβλήτων, σε συνάρτηση με την ανάπτυξη κατάλληλων αλλά και βιώσιμων υποδομών επεξεργασίας και διαχείρισης των αποβλήτων αυτών, καθώς και την εξυγίανση ή και απορρύπανση των ήδη ρυπασμένων εδαφών, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η υψηλή, ελεύθερη από ρύπους, ποιότητα των υπόγειων αποθεμάτων πόσιμου νερού για τις επόμενες γενιές.

Η διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) είναι παγκοσμίως ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδιαίτερα στις

ανεπτυγμένες οικονομικά κοινωνίες. Ο όρος διαχείριση των ΑΣΑ, εμπεριέχει τις τεχνικές διαδικασίες και μεθόδους οι οποίες σχετίζονται με τη συλλογή, τη μεταφορά, την προσωρινή αποθήκευση, την ανάκτηση των χρήσιμων υλικών εξ αυτών και την τελική διάθεσή τους σε κατάλληλα επιλεγμένους χώρους και την μετέπειτα φροντίδα των χώρων αυτών. Οι διαδικασίες και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι αποδεκτές από τεχνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής πλευράς και από καιρό έχουν αποτελέσει αντικείμενο τεχνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής φροντίδας τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο Διεθνών Οργανισμών όπως ο ΟΗΕ, ο ΟΟΣΑ, η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η σύγχρονη αντίληψη για τη βιώσιμη ανάπτυξη έχει επιβάλει την υιοθέτηση ορισμένων γενικών αρχών, πάνω στις οποίες στηρίζονται οι επί μέρους περιβαλλοντικές πολιτικές, που με τη σειρά τους οφείλουν να ενσωματώνονται στις τομεακές αναπτυξιακές πολιτικές. Στο πεδίο των αποβλήτων, και ειδικότερα των στερεών αποβλήτων, βασική αρχή και κατεύθυνση είναι: η αποφυγή και η μείωση της παραγωγής απορριμμάτων μέσα από την χρήση νέων τεχνολογικών μεθόδων καθώς και αλλαγών στις κοινωνικές συμπεριφορές και νοοτροπίες. Αυτό σημαίνει ότι η πολιτική διαχείρισης των απορριμμάτων δεν είναι μόνον αντικείμενο μιας τεχνικής διαδικασίας, αλλά ευρύτερα είναι θέμα κοινωνικής και πολιτικής συμπεριφοράς.

Οι αλλαγές που συντελέστηκαν τις τελευταίες τρεις δεκαετίες στη χώρα μας, οι οποίες αφορούσαν: στην ανάπτυξη μεγάλων αστικών κέντρων, στην αύξηση του βιοτικού επιπέδου, στην αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών, στην αύξηση των επικινδύνων βιομηχανικών και τοξικών στερεών αποβλήτων, στην εμφάνιση σύνθετων υλικών συσκευασίας δύσκολα αποδομήσιμων, στην ανάπτυξη του τουρισμού, συνετέλεσαν στην αύξηση της παραγωγής των στερεών αποβλήτων και στην αλλαγή της ποιοτικής τους σύστασης, καθιστώντας επιτακτική ανάγκη τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και διαχείρισή τους σύμφωνα με τις νέες αρχές και αντιλήψεις.

Στη χώρα μας, μόλις πρόσφατα ολοκληρώθηκε το νομοθετικό πλαίσιο και ο σχεδιασμός για την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου και σύγχρονου προγράμματος αντιμετώπισης σε εθνικό επίπεδο που θα δίνει λύσεις στα προβλήματα και θα παρακολουθεί διαχρονικά τις τάσεις και τις εξελίξεις όπως αυτές διαμορφώνονται. Η σημασία των εξελίξεων αυτών γίνεται περισσότερο

κατανοητή αν αναλογισθούμε την υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα, όπου τα απορρίμματα συνιστούν ακόμα απειλή για την υγεία και μια από τις κύριες πηγές περιβαλλοντικής υποβάθμισης τόσο στον αστικό όσο και στον αγροτικό χώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

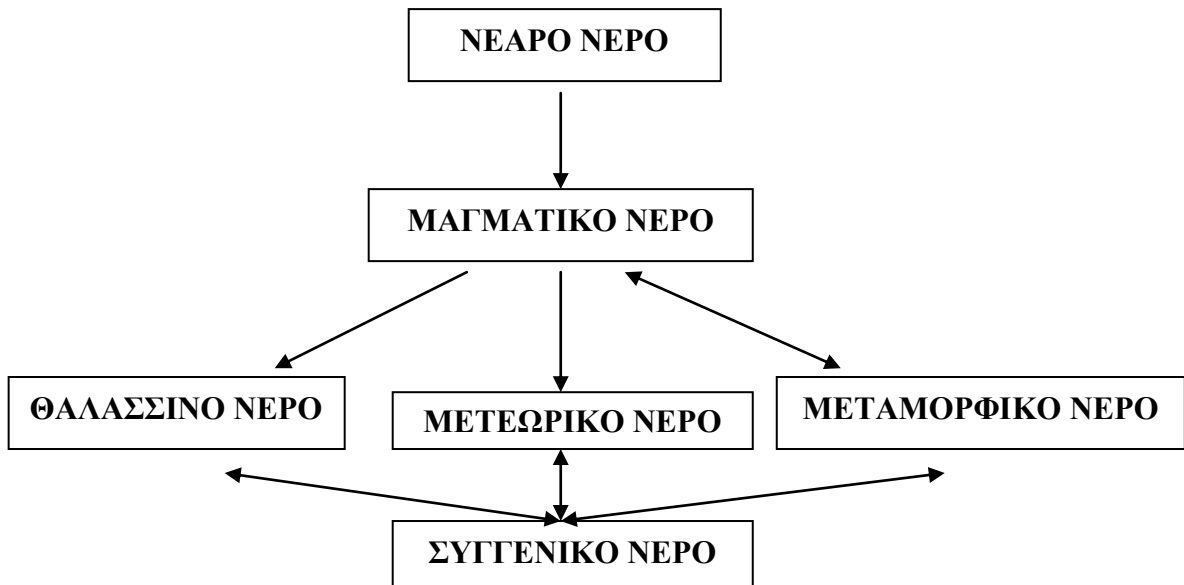
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

1.1. Υδρογεωλογικός κύκλος του νερού

Το νερό που υπάρχει στον πλανήτη μας μπορεί να χωριστεί σε επιφανειακό (θαλάσσιο, λιμναίο, ποτάμιο, παγετώνων) και σε υπόγειο ανάλογα με τη θέση του σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Υπάρχουν ακόμη τέσσερις τύποι νερών:

- Το συγγενικό νερό, που για μεγάλες γεωλογικές περιόδους δεν έχει έρθει σε επαφή με την ατμόσφαιρα.
- Το μαγματικό νερό, που προέρχεται από το μάγμα και διακρίνεται σε πλουτώνιο και ηφαιστειακό.
- Το νεαρό νερό που είναι μαγματικής ή κοσμικής προέλευσης και απαντάται για πρώτη φορά στην υδρόσφαιρα.
- Το μεταμορφωμένο νερό, που σχετίζεται με τις διαδικασίες μεταμόρφωσης των πετρωμάτων.

Τα νερά συνδέονται μεταξύ τους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Ο υδρογεωλογικός κύκλος (hydrogeologic cycle) περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Σε αυτή την αλυσίδα το νερό εμφανίζεται

με όλες τις μορφές: υγρό, αέριο (υδρατμοί), στερεό (χιόνι, χαλάζι). Το σύνολο της ενέργειας που κατευθύνει τον κύκλο του νερού προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον ήλιο.

Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση:

$$P = R + E + I \text{ , όπου:}$$

P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)

E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

R = η επιφανειακή απορροή (runoff)

I = η κατείδυση (infiltration)

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού (m^3) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

Το νερό στην ατμόσφαιρα βρίσκεται με τη μορφή υδρατμών και αφού υποστεί συμπύκνωση πέφτει στην επιφάνεια της γης σε υγρή (βροχή) ή στερεή μορφή (χαλάζι, χιόνι). Με τον όρο ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνονται όλες οι μορφές με τις οποίες το νερό φθάνει στη γη (βροχή, χιόνι, χαλάζι κ.λπ.). Όλες οι μορφές κατακρημνισμάτων ανάγονται σε ισοδύναμο ύψος βροχής. Όσον αφορά τη χιονόπτωση, όταν δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία (πυκνότητα χιονιού), θεωρείται ότι 10 mm ύψος χιονιού ισοδυναμούν με 1 mm ύψος βροχής (αναλογία 10:1).

Η **εξατμισοδιαπνοή** αντιπροσωπεύει τις ποσότητες του νερού, που επανέρχονται στην ατμόσφαιρα με τη συνδυασμένη δράση της εξάτμισης και της διαπνοής.

Εξάτμιση είναι η διαδικασία μεταφοράς, με τη μορφή υδρατμών, του νερού από την επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα με σύγχρονη κατανάλωση ηλιακής ενέργειας, απαραίτητης για την αλλαγή της φάσης του νερού από υγρή σε αέρια. Η εξάτμιση αποτελεί το βασικό τρόπο με τον οποίο το νερό από υγρό ξαναμπαίνει στην ατμόσφαιρα και μαζί στον υδρολογικό κύκλο. Οι ωκεανοί, οι θάλασσες, οι λίμνες και τα ποτάμια παρέχουν περίπου το 90% της υγρασίας της ατμόσφαιρας, ενώ τα φυτά, μέσω της διαπνοής παρέχουν το υπόλοιπο 10%.

Η θερμότητα (ενέργεια), που παρέχει ο ήλιος είναι απαραίτητη για την εξάτμιση. Η ενέργεια χρησιμοποιείται για να σπάσουν οι δεσμοί που κρατούν ενωμένα τα μόρια του νερού και γι' αυτό το νερό εξατμίζεται εύκολα στο

σημείο βρασμού του (100°C), και εξατμίζεται πιο δύσκολα κοντά στο σημείο πήξης. Όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι 100% (σε κατάσταση κορεσμού) δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εξάτμιση. Η εξάτμιση αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον, γεγονός που εξηγεί γιατί όταν εξατμίζεται νερό (ιδρώτας) από την επιδερμίδα μας δροσιζόμαστε.

Η εξάτμιση από τη θάλασσα είναι ο κύριος τρόπος με τον οποίο το νερό περνά στην ατμόσφαιρα. Η μεγάλη επιφάνεια των ωκεανών (πάνω από το 70% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από ωκεανούς) επιτρέπει μεγάλης κλίμακας εξάτμιση. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ποσότητα νερού που εξατμίζεται είναι ίση με τη ποσότητα του νερού που επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Βέβαια, η κατανομή των ποσοτήτων που εξατμίζονται και ξαναπέφτουν



Credit: Kidzone Fun Facts

μεταβάλλεται γεωγραφικά. Έτσι, στη θάλασσα η εξάτμιση υπερτερεί της βροχής ενώ στη στεριά συμβαίνει το αντίθετο. Το περισσότερο νερό που εξατμίζεται από τη θάλασσα, ξαναπέφτει σε αυτή και μόνο περίπου το 10% του νερού αυτού μεταφέρεται πάνω από τη στεριά και πέφτει με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Από τη στιγμή που εξατμίζεται, ένα μόριο νερού μένει στην ατμόσφαιρα για 10 περίπου ημέρες κατά μέσο όρο.

Με τον όρο **διαπνοή** εννοούνται οι διαδικασίες εκείνες με τις οποίες το νερό μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια φάση διαμέσου του σώματος των φυτών.



Credit: Ming kei College, Hong Kong

Διαπνοή είναι η διεργασία μέσω της οποίας η υγρασία μεταφέρεται από τις ρίζες των φυτών μέχρι τους μικρούς πόρους που βρίσκονται στο κάτω μέρος των φύλλων όπου και μετατρέπεται σε υδρατμό και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η διαπνοή είναι ουσιαστικά η εξάτμιση του νερού από τα φύλλα των φυτών. Εκτιμάται ότι περίπου 10% της υγρασίας στην ατμόσφαιρα προέρχεται από τη διαπνοή των φυτών.

Η διαπνοή είναι συνήθως μια αθέατη διαδικασία – δεν είναι εύκολο να παρατηρήσουμε τα φύλλα να "ιδρώνουν" καθώς το νερό εξατμίζεται από την

επιφάνεια τους. Κατά τη διάρκεια μιας εποχής ανάπτυξης ένα φύλλο μπορεί να διακινήσει μέσω διαπνοής νερό πολλαπλάσιο του βάρους του, ενώ μια μεγάλη βελανιδιά μπορεί να διαπνεύσει 150.000 λίτρα νερό το χρόνο.

Η ποσότητα νερού που τα φυτά διαπνέουν μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που καθορίζουν τους ρυθμούς διαπνοής:

- **Θερμοκρασία:** Οι ρυθμοί διαπνοής ανεβαίνουν όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία ειδικά στις εποχές ανάπτυξης των φυτών, όταν ο αέρας είναι ζεστός.
- **Σχετική υγρασία:** Όσο αυξάνει η σχετική υγρασία του αέρα που περιβάλλει το φυτό ο ρυθμός διαπνοής πέφτει. Είναι πιο εύκολο να εξατμιστεί νερό σε ξηρό παρά σε υγρό αέρα.
- **Άνεμος:** Αύξηση της ταχύτητας του ανέμου κοντά στο φυτό αυξάνει τη διαπνοή.
- **Τύπος φυτού:** Διαφορετικά φυτά έχουν διαφορετικούς ρυθμούς διαπνοής. Φυτά που μεγαλώνουν σε ξηρά κλίματα, όπως οι κάκτοι, διαπνέουν λιγότερο από τα άλλα φυτά.

Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: θερμοκρασία εδάφους - αέρα, υγρασία εδάφους - αέρα, ταχύτητα ανέμου, βαρομετρική πίεση, ηλιακή ακτινοβολία, είδος χλωρίδας, πορώδες, κ.λπ. Η εξατμισοδιαπνοή είναι εντονότερη σε ανοικτές υδάτινες περιοχές (λίμνες, θάλασσες), ενώ για τα υπόγεια νερά είναι πολύ μικρή έως μηδενική. Υπάρχουν πολλοί εμπειρικοί τύποι υπολογισμού της πραγματικής ή δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Turc, Coutagne, Thornthwaite κ.ά).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι ένας κλιματικός δείκτης και εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα νερού που θα εξατμιζόταν ή διαπνεόταν από τα φυτά, αν τα αποθέματα ήσαν αρκετά για να αναπληρώσουν τις απώλειες.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε πολλές ημίξηρες λεκάνες της Ελλάδας ανέρχεται σε 70-85% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, ενώ στις ορεινές περιοχές φθάνει έως 55%.



Σχήμα 1.1: Υδρογεωλογικός κύκλος του νερού.

Τα κατακρημνίσματα είναι η πτώση του νερού από τα σύννεφα, με τη μορφή βροχής, χιονόνερου, χιονιού ή χαλαζιού. Αποτελεί τον κύριο τρόπο με τον οποίο το νερό της ατμόσφαιρας επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης. Η συχνότερη μορφή κατακρημνισμάτων είναι η βροχή.

Τα σύννεφα περιέχουν υδρατμούς και σταγονίδια τα οποία είναι πολύ μικρά για να πέσουν ως κατακρημνίσματα αλλά ταυτόχρονα είναι αρκετά μεγάλα ώστε να σχηματίζουν ορατά σύννεφα. Το νερό συνεχώς εξατμίζεται και συμπυκνώνεται στον αέρα. Το περισσότερο νερό που συμπυκνώνεται στα σύννεφα δεν πέφτει διότι υποστηρίζεται από ανοδικά ρεύματα αέρα. Για να προκληθούν κατακρημνίσματα, τα μικροσκοπικά σταγονίδια πρέπει να συνενωθούν για να σχηματίσουν σταγόνες αρκετά μεγάλες και βαριές ώστε να πέσουν υπό την επίδραση βαρύτητας. Για να σχηματιστεί μια σταγόνα βροχής πρέπει να συνενωθούν εκατομμύρια σταγονίδια ενός σύννεφου.

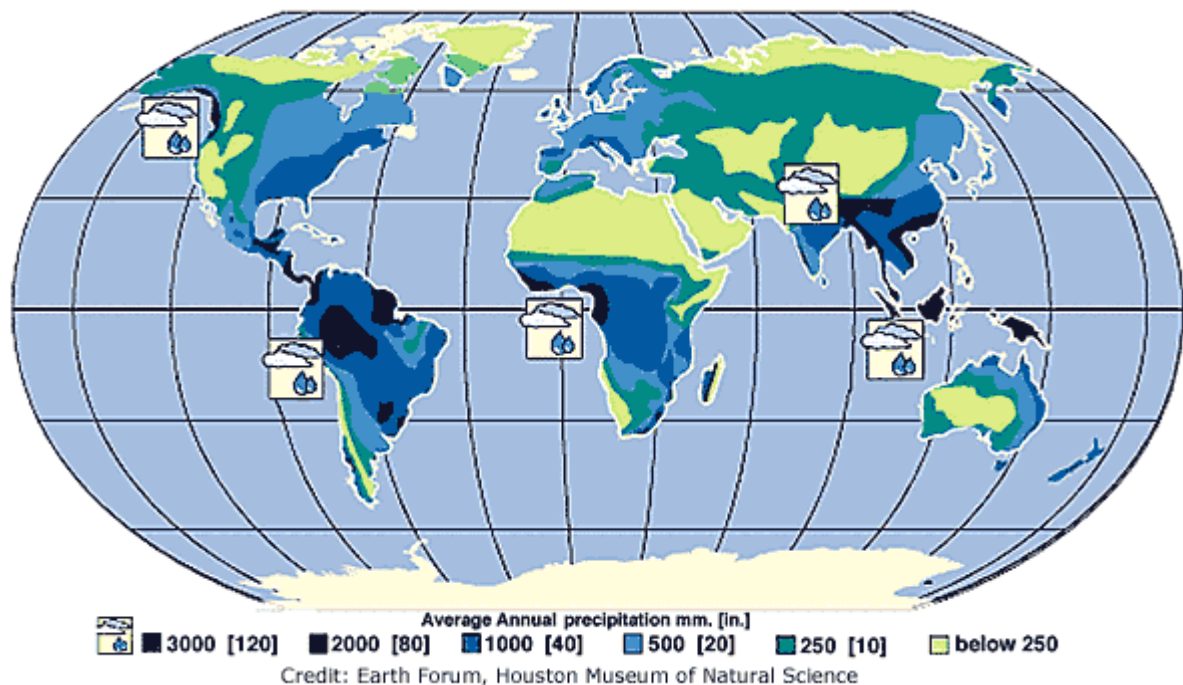


Storm near Elko, Nevada. NOAA

Η κατανομή των κατακρημνισμάτων μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά. Δεν πέφτουν οι ίδιες ποσότητες κατακρημνισμάτων παντού στο κόσμο, ούτε

καν μέσα σε μια χώρα ή ακόμα και σε μια πόλη. Στην Αθήνα, για παράδειγμα, οι καλοκαιρινές καταιγίδες μπορεί να προκαλέσουν περισσότερο από 50 χιλιοστά βροχής σε κάποιες περιοχές και να αφήσουν τελείως ξηρές κάποιες άλλες, μερικά χιλιόμετρα πιο πέρα. Μερικές περιοχές στην Ήπειρο (Βορειοδυτική Ελλάδα) δέχονται περισσότερη βροχή κατά τη διάρκεια ενός μήνα από ότι η Αθήνα σε έναν ολόκληρο χρόνο. Το παγκόσμιο ρεκόρ της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ανήκει στο όρος Waialeale της Χαβάης, όπου πέφτουν 11.400 χιλιοστά (11,4 μέτρα) βροχής κατά μέσο όρο το χρόνο. Αντίθετα, στο Atica της Χιλής, μέχρι πρόσφατα, είχε να βρέξει για 14 χρόνια.

Ο παρακάτω χάρτης δείχνει το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων παγκοσμίως (σε χιλιοστά [και ίντσες]). Το ανοιχτό πράσινο χρώμα μπορεί να θεωρηθεί "έρημος". Βέβαια, όλοι ξέρουμε ότι η Σαχάρα της Αφρικής είναι έρημος, αλλά αντίστοιχα μικρά ύψη κατακρημνισμάτων έχει και το μεγαλύτερο τμήμα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής.



Σχήμα 1.2: Παγκόσμιος χάρτης

Η **απορροή** αντιπροσωπεύει το μέρος των κατακρημνισμάτων το οποίο, αφού πέσει στην επιφάνεια της γης και ένα μέρος του κατακρατηθεί για τη συμπλήρωση της υγρασίας του εδάφους, παραλαμβάνεται από τους χείμαρρους και οδηγείται με τη βαρύτητα στους τελικούς αποδέκτες (θάλασσα, λίμνες). Η ολική απορροή περιλαμβάνει τόσο την επιφανειακή, όσο και την

υπόγεια απορροή δηλ. το νερό το οποίο αφού αρχικά διηθηθεί βρίσκεται διεξοδό και επανέρχεται στην επιφάνεια προστιθέμενο στα επιφανειακά νερά.

Στην πραγματικότητα τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα, καθώς τα ποτάμια κερδίζουν και χάνουν νερό μέσω του εδάφους. Συνήθως, τμήμα της βροχής που πέφτει, ποτίζει το έδαφος, αλλά όταν το έδαφος είναι κορεσμένο ή αδιαπέρατο, όπως πχ. ένας δρόμος ή ένα πάρκινγκ, το νερό αρχίζει να ρέει



Overland runoff from disturbed areas often contains excessive sediment in addition to water. (USGS)

προς τα χαμηλά με τη μορφή απορροής. Το νερό στην πορεία του προς τα ποτάμια, κυλά μέσω αυλακιών στο έδαφος. Η φωτογραφία δείχνει πως η επιφανειακή απορροή (που εδώ κυλά από έναν δρόμο) μπαίνει σε ένα μικρό ρυάκι. Η απορροή στην περίπτωση αυτή κυλά πάνω από χώμα και συμπαρασύρει τα φερτά υλικά μέσα στο ποτάμι. Το νερό που μπαίνει στο ρυάκι ξεκινά το ταξίδι του πίσω προς τη θάλασσα.

Όπως συμβαίνει με όλα τα μέρη του υδρολογικού κύκλου, η σχέση μεταξύ των κατακρημνισμάτων και της επιφανειακής απορροής μεταβάλλεται στο χρόνο και το χώρο. Παρόμοιες καταιγίδες σε μια ζούγκλα και σε μια έρημο προκαλούν διαφορετικές μορφές επιφανειακής απορροής.

Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή είναι: κλιματικοί (ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία αέρα, άνεμοι, εξάτμιση), γεωμορφολογικοί (κλίση λεκάνης απορροής, υδρογραφική πυκνότητα), λιθολογικοί (είδος πετρωμάτων, περατότητα), καθώς και το είδος της φυτοκάλυψης. Μέρος των κατακρημνισμάτων που πέφτουν πάνω στο έδαφος, κυλούν επιφανειακά προς τα ποτάμια, σχηματίζοντας την επιφανειακή απορροή.

Μόνο το ένα τρίτο περίπου του όγκου των κατακρημνισμάτων που πέφτει πάνω στο έδαφος, απορρέει σε υδατορεύματα και γυρίζει στη θάλασσα. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα, εξατμίζονται, ή διηθούνται προς τα υπόγεια νερά. Τμήμα της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιείται επίσης από τον άνθρωπο για δικές του χρήσεις.

Η **κατείσδυση** αποτελεί τη σημαντικότερη διεργασία για τον καθορισμό της υδρο-οικονομίας μιας περιοχής γιατί συμβάλλει στην ανανέωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων. Αντιπροσωπεύει το μέρος εκείνο

των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους (αφού κάποια ποσότητα δεσμευτεί ως νερό κατακράτησης) και φθάνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες προστιθέμενο στα αποθέματα των υπόγειων νερών και μετέχει στις κινήσεις του υπόγειου νερού. Η ικανότητα κατείσδυσης (infiltration capacity) εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους, τη λιθολογία, την κλίση και τον τύπο του εδάφους, τη βλάστηση, την ένταση και κατανομή των βροχοπτώσεων κ.λπ. (Κουμαντάκης, 1997)

Μέτρο της κατείσδυσης είναι ο συντελεστής κατείσδυσης, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του νερού που κατεισδύει σε σχέση με την ολική βροχόπτωση. Οι τιμές του συντελεστή κατείσδυσης κυμαίνονται από 3% (φλύσχης, φυλλίτες, σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, ηφαιστειακά πετρώματα) έως 60% (ανθρακικά πετρώματα).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ένταση και η συχνότητα του κύκλου εξαρτώνται από το κλίμα και τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Ο χρόνος πραγματοποίησης του κύκλου δεν είναι σταθερός, στη διάρκεια π.χ. μιας παρατεταμένης ξηρασίας ο κύκλος φαίνεται ότι έχει διακοπεί. Ο κύκλος μπορεί να συντομευθεί όταν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα πέφτουν απευθείας στη θάλασσα / λίμνες, οπότε δεν υπάρχει επιφανειακή απορροή. Η μελέτη του υδρολογικού κύκλου γίνεται στη λεκάνη απορροής ενός ποταμού ή υδρολογική λεκάνη. Η λεκάνη απορροής καθορίζεται από τον υδροκρίτη και είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής, μέσω διαδοχικών ρευμάτων και ποταμοχειμάρρων και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα.

1.2. Υπόγεια νερά

Το υπόγειο νερό είναι αυτό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ανεξαρτήτως κατάστασης, βάθους και προέλευσης. Τα υπόγεια νερά αποτελούν μέρος του υδρολογικού κύκλου και αντιστοιχούν σε 0,61% του συνολικού νερού στον πλανήτη. Η κυριότερη προέλευσή τους είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μετεωρικά νερά).

Μικρό ποσοστό των υπόγειων νερών είναι μαγματικής ή κοσμικής προέλευσης, που εισέρχεται για πρώτη φορά στον υδρολογικό κύκλο (νεαρό

νερό, juvenile). Το συγγενετικό (connate) είναι νερό που δεν έχει έλθει σε επαφή με την ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το μαγματικό και το μεταμορφωμένο νερό συνδέονται με την άνοδο του μάγματος και τις διαδικασίες της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων, αντίστοιχα.

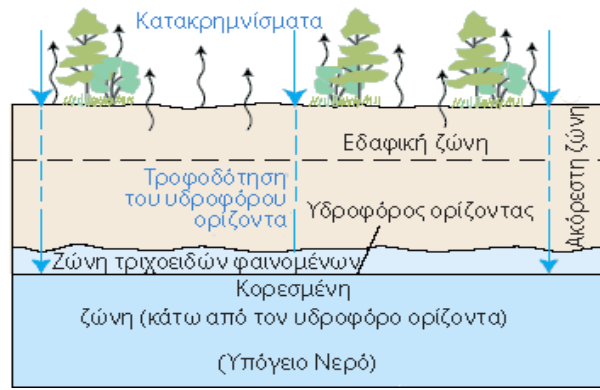
Το νερό εισέρχεται στο υπέδαφος από την επιφάνεια του εδάφους, είτε κατευθείαν από τις βροχοπτώσεις, είτε από σώματα επιφανειακού νερού (ποτάμια, λίμνες). Μετά κινείται αργά σε ποικίλες αποστάσεις μέχρι να επιστρέψει στην επιφάνεια του εδάφους είτε με φυσική εκφόρτιση (πηγές), είτε με ανθρώπινη παρέμβαση (πηγάδια, γεωτρήσεις), είτε τέλος με τη διαπνοή των φυτών. Ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στο υπέδαφος αποτελεί την ηλικία του νερού, η οποία μπορεί να προσδιορισθεί με φυσικά ραδιοϊσότοπα, κυρίως το τρίτιο (H_3) και τον άνθρακα 14 (C_{14}).

Διήθηση είναι η προς τα κάτω κίνηση του νερού από την επιφάνεια προς τα εδαφικά στρώματα και τα πετρώματα. Το υπόγειο νερό ξεκινά ως κατακρήμνισμα. (Λαμπράκης, 1994)

Παντού στον κόσμο, τμήμα του νερού που πέφτει ως βροχή ή χιόνι, διηθείται μέσα στο έδαφος. Η ποσότητα του νερού που διηθείται εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων. Η διήθηση των κατακρημνισμάτων που πέφτουν πάνω στους πάγους της Γροιλανδίας μπορεί να είναι πολύ μικρή, ενώ αντίθετα, σ' αυτή τη φωτογραφία του υδατορεύματος που χάνεται μέσα σε μια σπηλιά, στη Georgia των ΗΠΑ, όλο το νερό γίνεται κατευθείαν υπόγειο νερό!



Τμήμα του νερού που διηθείται μένει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και μπορεί να καταλήξει τελικά σε ένα υδατόρευμα. Ένα άλλο τμήμα του νερού, μπορεί να διηθηθεί πιο βαθιά και να τροφοδοτήσει υπόγειους υδροφορείς. Αν οι υδροφορείς είναι κοντά στην επιφάνεια και αρκετά πορώδεις, ώστε να επιτρέπουν τη γρήγορη κίνηση του νερού, μπορεί να φτιαχτούν πηγάδια και να αντληθεί νερό για διάφορες ανάγκες. Το νερό μπορεί να ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις ή να μείνει αποθηκευμένο υπόγεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα πριν επανέλθει στην επιφάνεια μπαίνοντας σε ποτάμια ή τη θάλασσα.



Σχήμα 1.3: Υπόγειο νερό

Υπόγειο νερό είναι το νερό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της Γης για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Εκτός από τις καθημερινά ορατές ποσότητες νερού, υπάρχουν και τεράστιες μη ορατές ποσότητες νερού – νερού που βρίσκεται και κινείται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Μεγάλες ποσότητες νερού βρίσκονται αποθηκευμένες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό αυτό συνεχίζει να κινείται, αν και συνήθως με πολύ μικρή ταχύτητα, και συνεχίζει να αποτελεί μέρος του υδρολογικού κύκλου. Το περισσότερο υπόγειο νερό προέρχεται από διήθηση κατακρημνισμάτων. Τα ανώτερα στρώματα αποτελούν την ακόρεστη ζώνη όπου η ποσότητα του νερού αλλάζει με το χρόνο αλλά δεν γεμίζει πλήρως τους πόρους του εδάφους. Κάτω από τη ζώνη αυτή υπάρχει η κορεσμένη ζώνη όπου όλοι οι πόροι και οι ρωγμές των πετρωμάτων είναι γεμάτα νερό. Ο όρος υπόγειο νερό χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτή τη ζώνη. Ο χώρος αποθήκευσης του υπόγειου νερού αποδίδεται με τον όρο "υδροφορέας". Οι υδροφορείς ή τα υδροφόρα στρώματα ,είναι τεράστιες αποθήκες νερού της Γης και η ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο εξαρτάται καθημερινά από αυτούς.

Εκφόρτιση υπόγειου νερού είναι η έξοδος του νερού από το υπέδαφος.



Σχήμα 1.4: Υδατόρευμα

Όπως προαναφέρθηκε, τμήμα των κατακρημνισμάτων διηθείται και μετατρέπεται σε υπόγειο νερό. Από το νερό που εισχωρεί στο έδαφος, ένα μέρος κινείται κοντά στην επιφάνεια και ξαναβγαίνει γρήγορα με τη μορφή απορροής προς τα υδατορεύματα, υπό την επίδραση της βαρύτητας. Όμως ένα άλλο μεγάλο μέρος συνεχίζει τη πορεία του προς βαθύτερα στρώματα. Όπως δείχνει το διάγραμμα, η κατεύθυνση και η ταχύτητα του υπόγειου νερού καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά των υδροφορέων και των στρωμάτων περιορισμού (υπεδάφια στρώματα, τα οποία διαπερνά το νερό πολύ δύσκολα ή σχεδόν καθόλου). Η υπόγεια κίνηση του νερού εξαρτάται από τη διαπερατότητα (πόσο εύκολο ή δύσκολο είναι στο νερό να κινηθεί) και από το πορώδες(την ποσότητα των κενών μέσα στο υλικό) των στρώσεων. Αν το υπεδάφιο στρώμα επιτρέπει στο νερό να κινείται σχετικά γρήγορα, αυτό μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις στη διάρκεια μερικών ημερών. Μπορεί όμως επίσης να βυθιστεί προς βαθιούς υδροφορείς και να κάνει χιλιάδες χρόνια μέχρι να ξαναβγεί στην επιφάνεια.

Πηγές είναι τα σημεία όπου το υπόγειο νερό βγαίνει στην επιφάνεια. Όταν ένας υδροφορέας γεμίζει τόσο ώστε το νερό να υπερχειλίσει προς την επιφάνεια του εδάφους, δημιουργούνται πηγές. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από μικρές πηγές που ενεργοποιούνται μόνο μετά από δυνατές βροχές, μέχρι τεράστιες πηγές που λειτουργούν σε μόνιμη βάση και βγάζουν χιλιάδες κυβικά μέτρα νερού ανά ημέρα.



Credit: Jo Schaper, Missouri Springs

Πηγές μπορούν να δημιουργηθούν σε κάθε τύπου πέτρωμα, αλλά είναι συνηθέστερες σε ασβεστόλιθο και δολομίτη οι οποίοι διαλύονται από το νερό, ιδιαίτερα όταν έχουν ρωγμές. Αυτά τα πετρώματα έχουν μεγάλη διαπερατότητα και απορροφούν μεγάλες ποσότητες κατακρημνισμάτων, οπότε αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης πηγών, μέσω των οποίων εξέρχεται στην επιφάνεια το νερό που είχε εισχωρήσει στα πετρώματα.

Το νερό των πηγών είναι συνήθως διαυγές. Υπάρχουν όμως πηγές, των οποίων το νερό έχει το "χρώμα του τσαγιού", όπως αυτή η πηγή στο Colorado των ΗΠΑ. Το κόκκινο χρώμα προκαλείται από το γεγονός ότι το υπόγειο νερό έρχεται σε επαφή με ορυκτά,



Spring in Colorado, USA, USGS

όπως ο σίδηρος. Η παρουσία χρώματος στο νερό των πηγών μπορεί να δείχνει ότι το νερό περνά γρήγορα μέσα από μεγάλες υπόγειες διόδους, χωρίς να φιλτράρεται αρκετά από τα πετρώματα ώστε να φύγει το χρώμα.

Οι θερμές πηγές είναι κανονικές πηγές, το νερό των οποίων είναι όμως ζεστό, ή σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και καυτό, όπως στις πηγές αναβράζουσας λάσπης του Εθνικού Πάρκου Yellowstone, στο Wyoming των ΗΠΑ. Πολλές θερμές πηγές βρίσκονται σε περιοχές με πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπου το νερό ζεσταίνεται ερχόμενο σε επαφή με θερμά πετρώματα πολύ κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα πετρώματα γίνονται θερμότερα όσο το βάθος μεγαλώνει και σε περίπτωση που το βαθύ υπόγειο νερό βρει κάποια δίοδο προς την επιφάνεια, μπορεί να σχηματιστεί θερμή πηγή. Θερμές πηγές υπάρχουν σε πολλά μέρη και μπορούν κάλλιστα να συνυπάρχουν με παγόβουνα. (Αλεξόπουλος, 2001)



Credit: Galen R. Fryinger, <http://www.galenfryinger.com>

Παγκόσμια κατανομή νερού

Το παρακάτω διάγραμμα και ο πίνακας δεδομένων, παρουσιάζουν μια λεπτομερή περιγραφή της κατανομής του νερού της Γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Παρατηρούμε πως από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη Γη περισσότερο από 96% είναι αλμυρό. Επίσης, το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Ακόμα ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες είναι συνολικά 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/150 του 1% του συνολικού νερού στη Γη. Παρά ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.



Σχήμα 1.5: Παγκόσμια κατανομή νερού (Καλέργης)

Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

Πηγή: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

Το γεγονός ότι οι λίμνες και τα ποτάμια, δηλαδή τα επιφανειακά νερά, είναι οι κύριες πηγές νερού, ή αλλιώς υδατικοί πόροι, φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με την εικόνα που δίνει ο παραπάνω πίνακας, σύμφωνα με την οποία τα υπόγεια νερά είναι κατά τάξεις μεγέθους περισσότερα από τα επιφανειακά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν σκεφτούμε ότι οι πόροι του νερού δεν είναι αποθεματικοί (όπως π.χ. είναι το πετρέλαιο) αλλά ανανεώσιμοι. Επομένως αυτό που έχει σημασία δεν είναι η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη αλλά αυτή που ανανεώνεται κάθε χρόνο. Έτσι λοιπόν, τα επιφανειακά νερά διακινούνται – και άρα ανανεώνονται – με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς από τα υπόγεια.

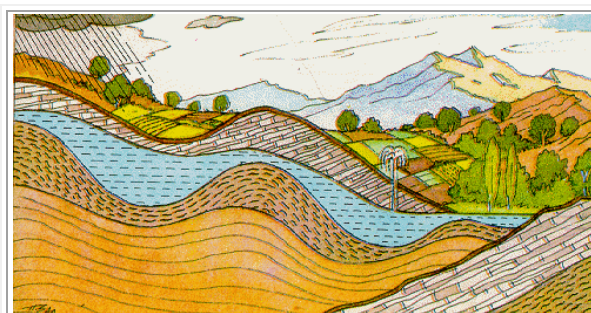
Με άλλα λόγια δεν έχει τόσο σημασία η στατική εικόνα της αποθήκευσης του νερού, αλλά η δυναμική εικόνα της κυκλοφορίας του νερού στην υδρόγειο. Αυτή περιγράφεται από τις ποσότητες των διακινήσεων του νερού ανάμεσα στις διάφορες μορφές, δηλαδή τις ποσότητες που μεταφέρονται μέσα στον υδρολογικό κύκλο. Σε μέση ετήσια βάση, οι ποσότητες αυτές δίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Εκτίμηση των μέσων ετήσιων φυσικών διακινήσεων του νερού της Γης (συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου)				
Επιφάνεια αναφοράς	Έκταση σε δισεκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα	Διακίνηση	Μέσος ετήσιος όγκος σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό επί των κατακρημνισμάτων %
Σύνολο επιφάνειας Γης	510,0	Κατακρημνίσματα = Εξατμοδιαπνοή	577.000	100,0
Ωκεανοί	361,1	Κατακρημνίσματα	458.000	100,0
		Εξάτμιση	505.000	110,3
Ξηρά	148,9	Κατακρημνίσματα	119.000	100,0

		Εξατμοδιαπνοή	72.000	60,5
		Συνολική απορροή	47.000	39,5
		Επιφανειακή συνιστώσα απορροής	44.700	37,6
		Υπόγεια συνιστώσα απορροής	2.300	1,9
<p>Πηγή: Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, <i>Τεχνική Υδρολογία</i>, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999. Η επιφανειακή και η υπόγεια συνιστώσα απορροής αναφέρονται στην έξοδο προς τη θάλασσα.</p>				

Τα πιο χαρακτηριστικά στοιχεία που παρατηρούμε μελετώντας τον πίνακα είναι ότι:

- Το χερσαίο τμήμα της Γης τροφοδοτείται από το θαλάσσιο, μέσω των μηχανισμών της εξάτμισης και της μεταφοράς από τους ανέμους, με υδρατμούς (δηλαδή νερό σε καθαρή μορφή) που φτάνουν στο 39,5% των χερσαίων κατακρημνισμάτων (το υπόλοιπο 60,5% των χερσαίων κατακρημνισμάτων προέρχεται από τη χερσαία εξατμοδιαπνοή).
- Η ίδια ποσότητα (39,5%) οδηγείται μέσω της επιφανειακής και υπόγειας απορροής από την ξηρά στη θάλασσα, για να κλείσει έτσι ο υδρολογικός κύκλος και το υδατικό ισοζύγιο της υδρογείου.
- Από τη συνολική απορροή, η οποία αποτελεί και την οροφή του εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού, τη μερίδα του λέοντος παίρνει η επιφανειακή απορροή (η επιφανειακή εκροή στη θάλασσα είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερη από την υπόγεια εκροή).



Σχήμα 1.5.1: Απεικόνιση στρώματος υπόγειου νερού

Τα υπόγεια νερά δημιουργούνται από το λιώσιμο του χιονιού και τις βροχοπτώσεις και συγκεντρώνονται μέσα στη γη σε αδιαπέρατα πετρώματα οπότε και αναβλύζουν στην επιφάνεια υπό μορφή πηγών. Άλλες από αυτές είναι ιαματικές και άλλες κατάλληλες για ύδρευση πόλεων και χωριών.

1.3. Υδρογεωλογική ταξινόμηση των πετρωμάτων

Το πορώδες (porosity) η ή ολικό πορώδες είναι ένα μέτρο των διακένων (πόρων, κενών, ρωγμών) που υπάρχουν σε ένα πέτρωμα ή έδαφος και εκφράζεται με το λόγο του συνολικού όγκου των διακένων (V_k) προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος /εδάφους ($V_{ολ}$): $n=V_k/V_{ολ}$ (Καλέργης, 1999)
Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές ολικού πορώδους από 0-60%.

Προσχώσεις	Πορώδες (%)	Ιζηματογενή πετρώματα	Πορώδες (%)	Κρυσταλλικά πετρώματα	Πορώδες (%)
Μικρά χαλίκια	24-36	Ψαμμίτες	5-30	Ρωγματωμένα	0-10
Μεγάλα χαλίκια	25-38	Ιλυόλιθοι	21-41	Μη ρωγματωμένα	0-5
Χονδρόκοκκη άμμος	31-48	Ασβεστόλιθοι	0-40	Βασάλτες	3-35
Λεπτόκοκκη άμμος	26-53	Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι	0-40	Αποσαθρωμένοι γρανίτες	34-57
Ιλύς	34-61	Σχιστόλιθοι	0-10		
Άργιλος	34-60				

Πίνακας 1.1: Τιμές ολικού πορώδους (Από Καλλέργη, 1999).

Το **ενεργό πορώδες (Effective porosity)** αναφέρεται στο ποσό των διακένων που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν τη ροή του υπόγειου νερού υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. Τα διάκενα που δεν συνεισφέρουν στη ροή αυτή καταλαμβάνονται από νερό συγκράτησης. Στους κοκκώδεις σχηματισμούς το ενεργό πορώδες κυμαίνεται από 0-3% (άργιλος) έως 20% (χαλίκια).

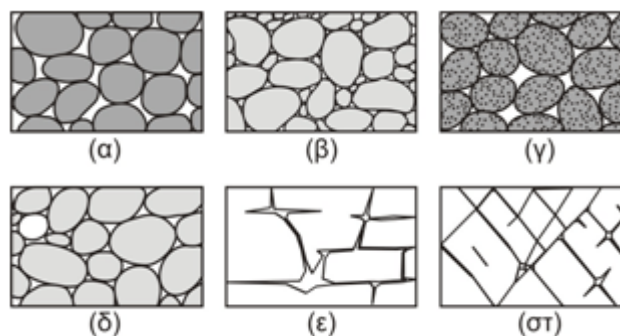
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται ανάλογα με τη δυνατότητα που παρέχουν στο νερό να διεισδύσει και να κινηθεί μέσα στη μάζα τους με την επίδραση της βαρύτητας σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους υδροπερατούς και τους αδιαπέρατους σχηματισμούς.

α) ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΑ

Υδροπερατά ονομάζονται τα πετρώματα εκείνα τα οποία επιτρέπουν τη διήθηση και την κυκλοφορία του νερού διαμέσου των συνεχών πόρων ή των ρωγμών τους. Τα διακρίνουμε σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

i. Υδροπερατά λόγω πόρων : εδώ ανήκουν οι χαλαροί σχηματισμοί, όπως είναι η άμμος, τα αμμοχάλικα, τα χαλίκια, οι λατύπες, οι κροκάλες και τα προερχόμενα από μίγματα γεωλογικών αποθέσεων.

ii. Υδροπερατά λόγω διαρρήξεων ή καρστικών αγωγών : εδώ ανήκουν πετρώματα που δεν έχουν πόρους, αλλά επιτρέπουν τη διέλευση του νερού μέσα από αυτά εξαιτίας του δικτύου των ρωγμών ή των καρστικών αγωγών που έχουν. Τέτοια είναι τα βραχώδη εδάφη, τα ιζηματογενή, οι ασβεστόλιθοι, τα μάρμαρα κ.α.



Σχήμα 1.6: Παραδείγματα διακένων: α) καλή διαβάθμιση υλικού με υψηλό πορώδες, β) φτωχή διαβάθμιση με μικρό πορώδες, γ) καλή διαβάθμιση σε πορώδη χαλίκια με υψηλό πορώδες, δ) καλή διαβάθμιση με παρουσία ορυκτής ύλης και μειωμένο πορώδες, ε) πορώδες από διάλυση, στ) πορώδες από ρηγμάτωση (Meinzer, 1923).

β) ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΗ Η΄ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΑ

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα πετρώματα που δεν επιτρέπουν την κυκλοφορία των νερών διαμέσου αυτών, υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. Τέτοια πετρώματα είναι τα αργιλικά, αργιλομιγή και τα πηλινικά, καθώς και όλα τα πετρώματα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες από τα παραπάνω, όπως οι μάργες.

Υδατοστεγή είναι και όλα τα μεταμορφωμένα πετρώματα όπως οι γνεύσιοι και οι σχιστόλιθοι, εκτός από τα μάρμαρα και τους χαλαζίτες. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν και τα περισσότερα εκρηξιγενή πετρώματα.

1.4. Τύποι υδροφόρων οριζόντων

Υδροφορείς ή υδροφόροι (aquifers) είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό κορεσμένο με νερό υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις ή πηγές. Οι υδροφορείς έχουν αυξημένη ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό.

Το υδροφόρο στρώμα αποτελείται από το γεωλογικό σχηματισμό (σκελετό) και το υπεδάφικό νερό, που βρίσκεται σε βαρυτική μορφή και ως νερό συγκράτησης. Ως υδροφόρος ορίζοντας θεωρείται η άνω επιφάνεια του υδροφόρου, αν και οι έννοιες υδροφορέας, υδροφόρος, υδροφόρο στρώμα, υδροφόρος ορίζοντας χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν το ίδιο πράγμα.

Τα είδη των υδροφόρων οριζόντων που συναντάμε στη φύση είναι τα εξής:

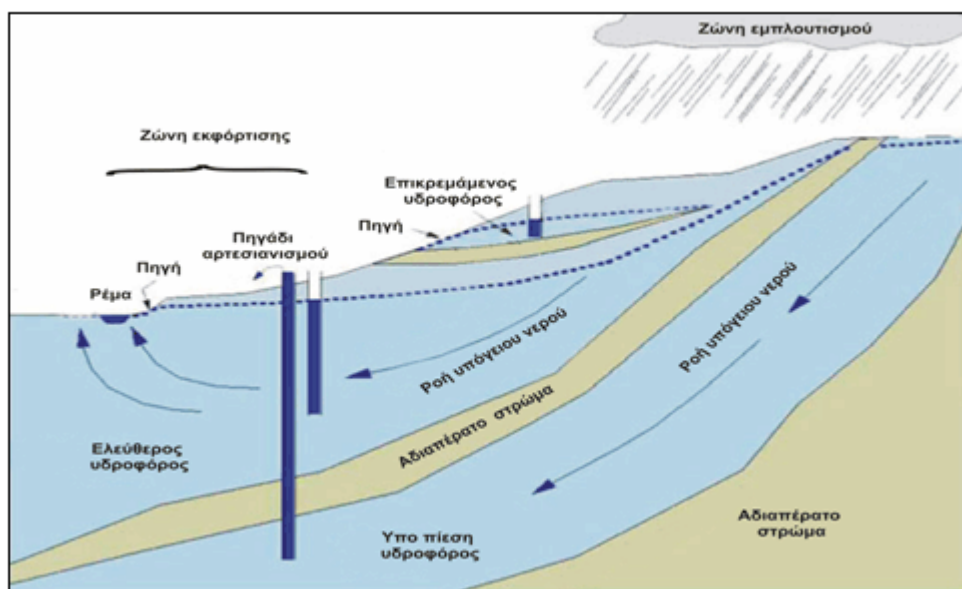
1. Ελεύθεροι υδροφόροι ορίζοντες

Είναι οι υδροφόροι που έχουν ως δάπεδο στεγανό στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην **ελεύθερη επιφάνεια** (φρεάτια) των υπόγειων νερών η υδροστατική πίεση να είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Οι μεταβολές της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού στον υδροφόρο. Ειδική περίπτωση ελεύθερων υδροφόρων είναι οι κρεμαστοί ή επικρεμάμενοι υδροφόροι (perched) (Σχ. 1.7).

2. Υπό πίεση υδροφόροι ή εγκλωβισμένοι ή αρτεσιανοί

Στα υδροφόρα αυτά στρώματα το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στα αδιαπέρατα στρώματα του δαπέδου και της οροφής (Σχ. 1.7). Είναι κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη της

ατμοσφαιρικής. Για τον λόγο αυτό η *πιεζομετρική επιφάνεια*, η οποία είναι μια εικονική επιφάνεια και συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφόρο, βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση της αδιαπέρατης οροφής. Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τότε παρατηρείται αυτόματη ροή με τη μορφή πίδακα (αρτεσιανισμός).



Σχήμα 1.7: Είδη υδροφόρων οριζόντων.

3. Ημιαρτεσιανοί (υπό μερική πίεση) υδροφόροι ορίζοντες

Πρόκειται για υπόγειους υδροφορείς ανάλογους με τους υπό πίεση με τη διαφορά ότι το υπερκείμενο στρώμα είναι ημιπερατό, παρουσιάζει δηλ. μικρή υδροπερατότητα. Το υποκείμενο στρώμα μπορεί να είναι αδιαπέρατο ή να έχει και αυτό πολύ μικρότερο συντελεστή υδροπερατότητας από το υδροφόρο στρώμα.

Σε τέτοιους υδροφόρους ο υποβιβασμός της πιεζομετρικής επιφάνειας, που μπορεί να γίνει π.χ. με άντληση, προκαλεί συχνά μία κατακόρυφη ροή νερού από το υπερκείμενο στρώμα προς τον αντλούμενο υδροφόρο. Αν θεωρήσουμε ότι η υδροπερατότητα του ημιπερατού υπερκείμενου στρώματος είναι πολύ μικρή, η οριζόντια συνιστώσα ροής μέσα σε αυτό μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Όταν η υδροπερατότητα του υπερκείμενου στρώματος είναι τέτοια που οι οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας ροής μέσα σε αυτόν δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, τότε έχουμε *μερικώς ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες*.

Από πετρογραφικής άποψης διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες υδροφορέων:

- 1) **καρστικοί** (karst aquifers), που αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα και
- 2) **πορώδεις** (porous aquifers), που αναπτύσσονται σε κοκκώδεις σχηματισμούς (τεταρτογενείς και αδρομερείς νεογενείς αποθέσεις).

1.5. Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφόρων οριζόντων

Τα σημαντικότερα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδροφορέων είναι:

➤ Το υδραυλικό φορτίο (Hydraulic head)

Τα υπόγεια νερά κινούνται με την επίδραση της συνολικής ενέργειας που φέρουν και η οποία ανά μονάδα όγκου ισούται με το άθροισμα της κινητικής, της δυναμικής και της υδροστατικής. Πρακτικά η ενέργεια αυτή (H) ανά μονάδα βάρους (ή υδραυλικό φορτίο) είναι ίση με το άθροισμα του **φορτίου πίεσης** P/γ (pressure head) και του **φορτίου ύψους** (ή υψομετρικό ή θέσης) της απόστασης δηλ. από το επίπεδο αναφοράς z (elevation head): $H=(P/\gamma)+z$ όπου P = η υδροστατική πίεση και γ = το ειδικό βάρος του νερού ίσο με την πυκνότητά του επί την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Το φορτίο H αναφέρεται και ως πιεζομετρικό φορτίο ή πιεζομετρικό δυναμικό και ταυτίζεται με το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού σε μια γεώτρηση ανορυγμένη σε ελεύθερο υδροφορέα. Στους υπό πίεση υδροφορείς το φορτίο είναι το απόλυτο υψόμετρο που θα έφτανε το νερό, αν ο σωλήνας της γεώτρησης επεκτεινόταν πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Έτσι η κίνηση του υπόγειου νερού σε ένα πορώδες μέσο οφείλεται στην υδροστατική πίεση και στη θέση του ως προς το επίπεδο αναφοράς. Οι γραμμές ίσου υδραυλικού φορτίου (ισοδυναμικές γραμμές) μπορεί να απεικονισθούν με τη βοήθεια χαρτών. Οι γραμμές ροής είναι κάθετες στις ισοδυναμικές γραμμές.

Η μεταβολή του υδραυλικού φορτίου ανά μονάδα μήκους κατά τη διεύθυνση της υπόγειας ροής ονομάζεται **υδραυλική κλίση** και δίνεται από τη σχέση: $i=dH/dl$

Το υδραυλικό φορτίο H σε ένα σημείο του πορώδους μέσου πολλαπλασιασμένο με την επιτάχυνση της βαρύτητας g , δίνει το δυναμικό ροής Φ στο σημείο αυτό: $\Phi = Hg$ Με άλλα λόγια το Φ είναι η ενέργεια ανά μονάδα μάζας και το H η ενέργεια ανά μονάδα βάρους. Το υδραυλικό φορτίο δεν μένει σταθερό, αλλά μειώνεται κατά την κίνηση του υπόγειου νερού, λόγω απωλειών (τριβές).

➤ **Διαπερατότητα-Υδροπερατότητα(Permeability Hydraulic conductivity)**

Η διαπερατότητα είναι μια σταθερά, που εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου (το σχήμα, το μέγεθος, τη διάταξη των κόκκων) με διαστάσεις L^2 .

Η υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k) χρησιμοποιείται στην Υδρογεωλογία γιατί το ρευστό είναι το νερό. Ένα μέσο έχει υδραυλική αγωγιμότητα ίση με τη μονάδα, όταν μεταβιβάζει στη μονάδα του χρόνου κάθετα στη διεύθυνση της υπόγειας ροής, τη μονάδα του όγκου νερού από μοναδιαία διατομή με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα και την επικράτηση του κινηματικού ιξώδους. Το κινηματικό ιξώδες σχετίζεται με την εσωτερική τριβή, την αντίσταση δηλ. του υγρού στη ροή.

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται από τον νόμο του Darcy .

Χαρακτηρισμός υδροπερατότητας	Τιμή K (m/sec)	Υλικό
Πολύ μεγάλη	$K \gg 10^{-2}$	Χαλίκια
Μεγάλη	$10^{-5} < K < 10^{-2}$	Καθαροί άμμοι με χαλίκια
Μέτρια	$10^{-8} < K < 10^{-5}$	Λεπτόκοκκοι άμμοι
Μικρή	$10^{-10} < K < 10^{-8}$	Ιλιούχος άργιλος
Πολύ μικρή	$K < 10^{-10}$	Καθαρή άργιλος, πρακτικά στεγανά πετρώματα

Πίνακας 1.2: Χαρακτηρισμός υδροπερατότητας (U.S. Bureau of Reclamation, 1977)

Υλικό	k (m/s)
Μεγάλα χαλίκια	1,7. 10 ⁻³
Χαλίκια μεσαίου μεγέθους	3,1.10 ⁻³
Χαλίκια μικρού μεγέθους	5,2.10 ⁻³
Χονδρόκοκκη άμμος	5,2.10 ⁻⁴
Μεσόκοκκη άμμος	1,4.10 ⁻⁴
Λεπτόκοκκη άμμος	2,9.10 ⁻⁵
Ίλύς	9,2.10 ⁻⁷
Άργιλος	2,3.10 ⁻⁹

Πίνακας 1.3: Τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας (Καλλέργης, 1999).

Η διαπερατότητα (K_s) συνδέεται με την υδραυλική αγωγιμότητα (k) με τη σχέση: $K_s = k\mu/\gamma$

όπου μ το δυναμικό ιξώδες (μονάδες ML⁻¹T⁻¹ δηλ. N.s/m² ή poise P=dyn .s /cm²) γ το ειδικό βάρος του ρευστού (N/m³).

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται από επιτόπου πειραματικές μετρήσεις, από δοκιμαστικές αντλήσεις, από την κοκκομετρία με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων, με εργαστηριακές μεθόδους και με ιχνηθετήσεις.

Η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα, ως μέτρο κίνησης του νερού σε ακόρεστο μέσο, είναι μικρότερη από την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας σε κορεσμένο μέσο. Με βάση την περιεκτικότητα του νερού, η υδραυλική αγωγιμότητα ενός ακόρεστου μέσου (k_{unsat}) σε σχέση με την κορεσμένη τιμή (k) δίνεται από τη σχέση: $k_{unsat} = k [(S_s - S_o) / (1 - S_o)]^3$
Όπου: $S_s = 0$ βαθμός κορεσμού και $S_o = 0$ υπολειμματικός κορεσμός που αντιπροσωπεύει το νερό των πόρων που δεν κινείται και δεσμεύεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις (Καλλέργης, 2004).

➤ Μεταβιβαστικότητα (Transmissivity) ή Υδαταγωγιμότητα

Είναι το γινόμενο της υδραυλικής αγωγιμότητας (k) επί το πάχος του υδροφόρου στρώματος (D): $T = kD$. Η μεταβιβαστικότητα εκφράζει τον όγκο νερού που περνά από μια μοναδιαία διατομή του υδροφόρου στρώματος με

υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα και την επικράτηση του κινηματικού ιξώδους

➤ **Αποθηκευτικότητα (Storativity) ή Υδροχωρητικότητα**

Ο **συντελεστής εναποθήκευσης** ή αποθηκευτικότητας ή υδροχωρητικότητας (S) είναι ο όγκος νερού που μπορεί να ληφθεί ή αποθηκευθεί από ένα κατακόρυφο πρίσμα ενός υδροφόρου στρώματος με μοναδιαία επιφάνεια ανά μονάδα μεταβολής του φορτίου.

Έτσι η αποθηκευτικότητα ορίζεται από τη σχέση: $S = \Delta V / (A \cdot \Delta h)$ Όπου ΔV είναι ο όγκος νερού που απελευθερώνεται (ή προστίθεται) από τη μονάδα οριζόντιας επιφάνειας A, εξαιτίας μοναδιαίας πτώσης (ή αύξησης) του φορτίου Δh .

Από τον ανωτέρω ορισμό προκύπτει ότι ο **ρυθμός ταπείνωσης της στάθμης** ($\Delta h / \Delta t$) σε έναν υδροφορέα επιφάνειας A και συντελεστή αποθηκευτικότητας S, για άντληση με παροχή Q, χωρίς να συμβαίνει εμπλουτισμός, δίνεται από τη σχέση : $\Delta h / \Delta t = Q / (S \cdot A)$

1.6. Παράγοντες που ελέγχουν την ποιότητα του υπόγειου νερού

Ο χημισμός των υπόγειων νερών δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται χωροχρονικά. Καθορίζεται δε, από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- **Εξατμηση – εξατμισοδιαπνοή**, οδηγούν σε αύξηση των ιοντικών συγκεντρώσεων αναλογικά με το νερό που εξατμίζεται.
- **Εκλεκτική πρόληψη ιόντων από τη χλωρίδα**, τα οποία αποθηκεύονται στη βιομάζα.
- **Αποσύνθεση οργανικής ύλης**, είναι αντίθετη με την προηγούμενη διαδικασία. Τα φυτά εκδηλώνουν εποχιακές μεταβολές στην πρόληψη και απελευθέρωση ιόντων ενώ τα νεαρά φυτά ενσωματώνουν περισσότερα στοιχεία από τα ώριμα και τα γερασμένα. Η αποσύνθεση οργανικής ύλης είναι μία οξειδωτική αντίδραση που μπορεί να λάβει χώρα στο έδαφος αλλά και μέσα στους υδροφόρους(π.χ τύρφη, λιγνίτης)

- *Αποσάθρωση – διάλυση* ανθρακικών, πυριτικών και εβαπορίτων. Το υπόγειο νερό των ανθρακικών πετρωμάτων είναι πλούσιο σε Ca^{2+} και HCO_3^- , των εβαπορίτων σε SO_2^{-2} και Ca^{2+} , των υπερβασικών πετρωμάτων, που περιέχουν υψηλά ποσοστά ολιβίνης και πυροξένου, σε Mg^{2+} , των δολομιτών σε Ca^{2+} και Mg^{2+} σε περίπου ίσες ποσότητες. Η υψηλή περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε Na^+ , K^+ , Cl^- υποδηλώνει ότι προέρχεται από γρανίτες ή μαγματίτες. Στα πετρώματα που κυριαρχεί ο δυσδιάλυτος χαλαζίας η σύνθεση του υπογείου νερού είναι παρόμοια με του βρόχινου. Η συγκέντρωση χλωριόντων στις δασικές περιοχές είναι σχετικά υψηλή.

Η σύσταση του υπόγειου νερού, εξαρτάται πρωταρχικά από την πηγή προέλευσης του και από το είδος των πετρωμάτων, διαμέσου των οποίων κατεισδύει για να φτάσει στον υδροφορέα, αλλά και από το είδος των πετρωμάτων που συναντά κατά την κίνηση του μέσα σε αυτόν. Η χρονική διάρκεια επαφής νερού – πετρωμάτων αλλά και ο χρόνος παραμονής του στο υπέδαφος επηρεάζουν και αυτά, σε πολλές περιπτώσεις, την χημική σύσταση του.

Στην περίπτωση γρανιτών και ψαμμιτών ο χημισμός του νερού εξαρτάται άμεσα από τον χρόνο παραμονής του μέσα στο πέτρωμα. Αντίθετα στην περίπτωση των ασβεστόλιθων, των ηφαιστίτων και των αμμοχάλικων ο χρόνος παραμονής δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική σύσταση του υπόγειου νερού. Τα συστατικά τους διαλύονται ταχύτητα στο νερό, μέχρι το σημείο κορεσμού του.

- *Απόθεση ορυκτών.* Η αποσάθρωση των πυριτικών ορυκτών οδηγεί στη δημιουργία δευτερογενών αργιλικών ορυκτών (αργιλοπυριτικά ορυκτά με ή χωρίς κατιόντα). Καθώς η διεργασία της αποσάθρωσης προχωρεί, τα αργιλικά ορυκτά χάνουν τα φορτία τους μέχρις ότου να παραμείνουν τα αδιάλυτα υδροξείδια του Al. Αν στο μητρικό πέτρωμα υπάρχει σίδηρος τότε δημιουργούνται οξειδία του σιδήρου.
- *Αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής,* ανάμεσα σε διαλυμένα κατιόντα και αργιλικά ορυκτά και οργανική ύλη. Σε αυτή την περίπτωση κατατάσσεται η διείδυση της θάλασσας, κατείδυση όξινης βροχής κ.α.

- **Ανάμιξη** διαφορετικών νερών στις πηγές ή τις ζώνες διήθησης. Η διασπορά μπορεί να προκαλέσει ανάμιξη ρυπασμένου με καθαρό νερό.
- **Ανθρωπογενείς δραστηριότητες** όπως η χρήση λιπασμάτων, βελτιωτικών εδάφους, διαρροές από σκουπιδότοπους, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ
Na ⁺	Διάλυση – ιοντική ανταλλαγή στα παράκτια υδροφόρα	Κινητική αποσάθρωση πυριτικών
K ⁺	Διάλυση – προσρόφηση - αποσύνθεση	Διαλυτότητα αργιλικών ορυκτών – αφομοίωση από χλωρίδα
Mg ²⁺	Διάλυση	Διαλυτότητα αργιλικών ορυκτών
Ca ²⁺	Διάλυση	Διαλυτότητα ασβεσίτη
Cl ⁻	Εξατμισοδιαπνοή	Κανένα
HCO ₃ ⁻	Πίεση εδαφικού CO ₂ – Αποσάθρωση	Αποσύνθεση οργανικής ύλης
SO ₄ ²⁻	Διάλυση – οξειδωση	Απομάκρυνση με αναγωγή
NO ₃ ⁻	Οξειδωση	Απομάκρυνση με αναγωγή – αφομοίωση από χλωρίδα
Si	Διάλυση – Προσρόφηση	Διαλυτότητα χαλκιδόνιου – πυριτόλιθων
Fe	Αναγωγή	Δυναμικό οξειδοαναγωγής, διαλυτότητας Fe ³⁺ , σιδηρίτης, πυρίτες (σουλφίδια)
PO ₄	Διάλυση	Διαλυτότητα απατίτη, σιδήρου, αργιλοφωσφορικών,

Πίνακας 1.4: Οι κυριότερες διαδικασίες αύξησης ή μείωσης της ιοντικής συγκέντρωσης στο νερό (Appelo-Postma 1994)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1. Μηχανικές ιδιότητες των εδαφών

Οι σημαντικότερες μηχανικές ιδιότητες των εδαφών είναι οι κάτωθι:

➤ **Πλαστικότητα**

Είναι η ιδιότητα του εδάφους να παραμορφώνεται, όταν δέχεται την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και την οποία παραμόρφωση (deformation) διατηρεί, όταν οι δυνάμεις που την προκάλεσαν παύσουν να ενεργούν.

➤ **Συνεκτικότητα** (consistence)

Είναι η ιδιότητα του εδάφους που σχετίζεται με τη συνοχή (δυνάμεις μεταξύ ομοειδών μορίων) και τη συνάφεια (δυνάμεις μεταξύ ετεροειδών μορίων). Ο βαθμός συνοχής εξαρτάται από τον αριθμό των μορίων και συσχετίζεται με την ειδική επιφάνεια. Η ειδική επιφάνεια αναφέρεται στην επιφάνεια υλικού ανά μονάδα βάρους και εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος των κόκκων και το είδος των αργιλικών ορυκτών που συνυπάρχουν. Όσο πιο μεγάλη είναι η ειδική επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα προσρόφησης ρυπαντών στην επιφάνεια των αργιλικών κόκκων, μέσω κατιοντικής ανταλλαγής.

Η συνάφεια εκδηλώνεται με την παρουσία συνδετικών υλικών (ηλεκτρολύτες, νερό, χουμικές ενώσεις) μεταξύ των διαφόρων συστατικών του εδάφους. Οι χουμικές ενώσεις κάνουν τα αμμώδη εδάφη συνεκτικότερα γιατί συνδέουν τους κόκκους μεταξύ τους, ενώ αντίθετα κάνουν χαλαρότερα τα αργιλώδη εδάφη γιατί προκαλούν θρόμβωση των κολλοειδών παρουσία των ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} (Τσίσινας, 1985).

➤ **Όριο υδαρότητας LL** (liquidity limit)

είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία για την οποία το έδαφος μεταπίπτει από τη ρευστή (υδαρή) στην πλαστική κατάσταση.

➤ **Όριο πλαστικότητας PL** (plasticity limit)

είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία για την οποία το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική κατάσταση στην ημιστερεή και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο (διαμέτρου <3 mm), χωρίς αυτός να θραύεται.

➤ **Όριο συρρίκνωσης SL** (shrinkage limit)

είναι το ποσοστό της υγρασίας κατά το οποίο ο όγκος του εδάφους με συνεχιζόμενη ξήρανση παραμένει σταθερός. Στο όριο αυτό τα εδάφη έχουν πολύ μικρό όγκο κενών και εξαρτάται από τη δομή του εδάφους και το μέγεθος των κόκκων. Τα ανωτέρω όρια είναι γνωστά σαν όρια **Atterberg** ή όρια συνεκτικότητας (Σχ. 2.2).

Δείκτης πλαστικότητας (PI) είναι η περιοχή μεταξύ ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστικότητας, όπου το υλικό είναι εύπλαστο ($PI=LL-PL$).

Δείκτης συνεκτικότητας (Ic) χαρακτηρίζει τη διατμητική αντοχή και δίνεται από τη σχέση: $Ic=(LL-m)/PI$. Η διατμητική αντοχή αυξάνει καθώς ο Ic αυξάνει από 0 έως 1. Όταν $Ic>1$ το έδαφος είναι στην ημιστερεή κατάσταση, ενώ όταν $Ic<0$, τότε η υγρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη του ορίου υδαρότητας (LL).

Ρευστή κατάσταση	{	
		Όριο υδαρότητας (LL)
Πλαστική κατάσταση	{	Δείκτης πλαστικότητας
		Όριο πλαστικότητας (PL)
Ημιστερεή κατάσταση	{	
		Όριο συρρίκνωσης (SL)
Στερεή κατάσταση	{	

Σχήμα 2.1: Σχέση ορίων και δεικτών Atterberg.

Τα αργιλικά εδάφη στην κατάσταση υδαρότητας όταν χάσουν το νερό μεταπίπτουν στη στερεή κατάσταση και όταν συρρικνωθούν δημιουργείται ένα δίκτυο ρωγμών. Τα αργιλώδη εδάφη διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν. Γενικά οι εναλλαγές ενυδάτωσης-συρρίκνωσης καταστρέφουν την αντοχή του εδάφους. Μερικά αργιλικά ορυκτά, όπως π.χ. ο μοντμοριλονίτης, εμφανίζουν **θιξοτροπικές** ιδιότητες δηλ. έχουν ιδιότητες στερεού όταν είναι ακίνητα και ιδιότητες υγρού όταν κινούνται. Αντίθετα τα αμμώδη εδάφη δε διογκώνονται όταν διαβραχούν και δε συστέλλονται όταν ξηραθούν.

➤ Το **δυναμικό συστολής-διαστολής**

στο έδαφος εκφράζει την ικανότητα να χάνει ή να προσροφά νερό, η οποία συνοδεύεται από ελάττωση ή αύξηση του όγκου του, αντίστοιχα. Ο μοντμοριλονίτης μπορεί να διογκωθεί μέχρι 15 φορές του κανονικού του όγκου. Αύξηση σε όγκο μεγαλύτερη από 3% θεωρείται επικίνδυνη για τη σταθερότητα του εδάφους.

➤ **Η διαβρωσιμότητα**

αναφέρεται στην ευκολία με την οποία τα εδαφικά υλικά μετακινούνται από το νερό ή τον αέρα. Τα χαλαρά υλικά έχουν υψηλό δείκτη διάβρωσης, ενώ τα συνεκτικά υλικά έχουν χαμηλό δείκτη διάβρωσης και μετακινούνται δύσκολα.

➤ **Το δυναμικό διάβρωσης**

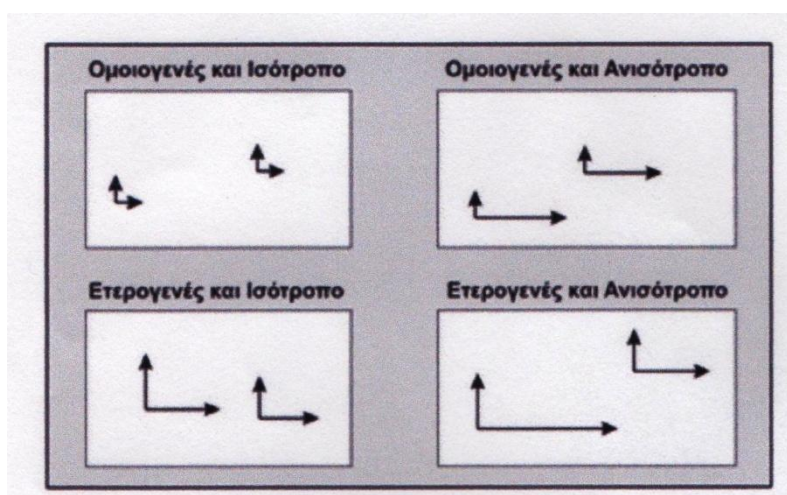
ενός εδάφους εξαρτάται από το περιεχόμενο νερό και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η παρουσία βλάστησης μειώνει τη διάβρωση. Η πιθανότητα εκδήλωσης φαινομένων διάβρωσης πρέπει να διερευνάται σε περιοχές, όπου πρόκειται να γίνει χωροθέτηση ΧΥΤΑ.

➤ **Ισοτροπία (isotropy)**

είναι η ιδιότητα του εδάφους, σύμφωνα με την οποία μια ανυσματική ιδιότητα (υδραυλική αγωγιμότητα, μεταβιβαστικότητα) έχει την ίδια τιμή σε όλες τις διευθύνσεις. Ένα έδαφος μπορεί να είναι ισότροπο ως προς μια ιδιότητα και ανισότροπο σε μια άλλη.

➤ **Ομοιογένεια (homogeneity)**

είναι η ιδιότητα του εδάφους, σύμφωνα με την οποία μια ανυσματική ιδιότητα έχει την ίδια τιμή σε παράλληλες διευθύνσεις. Αν η ιδιότητα δεν είναι ανυσματική (π.χ. πορώδες) τότε το έδαφος είναι ομογενές ως προς την ιδιότητα αυτή, αν έχει παντού την ίδια τιμή (Σχ. 2.2).



Σχήμα 2.2: Ισοτροπία και ομοιογένεια.

2.2. Φυσικές ιδιότητες των εδαφών

Οι σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες των εδαφών είναι οι κάτωθι:

➤ Δείκτης πόρων

Ο δείκτης πόρων (e) ορίζεται σαν ο λόγος του όγκου των διακένων (V_n) προς τον όγκο της στερεάς φάσης του εδάφους (V_σ): $e = V_n/V_\sigma$
Ο δείκτης πόρων συνδέεται με το ολικό πορώδες (n) με τη σχέση: $e = n/(1-n)$

➤ Υγρασία του εδάφους

Υγρασία (moisture content) είναι το σύνολο του νερού που βρίσκεται στο έδαφος και εκφράζεται με το λόγο (%) του βάρους του νερού που περιέχεται προς το ξηρό βάρος του εδαφικού δείγματος:

$$m = (W_w/W_s) \times 100$$

όπου: W_w = απώλεια βάρους μετά την ξήρανση στους 110 °C
 W_s = βάρος ξηρού δείγματος. Προσδιορίζεται με διάφορες μεθόδους (σταθμική, ηλεκτρομετρική, νετρονίων κ.ά.). Η υγρασία παίζει ρόλο στην κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Με την υγρασία τα κολλοειδή στο έδαφος διογκώνονται και εμποδίζουν έτσι την κατείσδυση στην αρχή της βροχόπτωσης.

➤ Περιεκτικότητα κατ' όγκο σε νερό

είναι πιο χρήσιμη σε εργαστηριακές μετρήσεις και εκφράζεται με το λόγο του όγκου του νερού (V_w) προς τον ολικό όγκο (V_t): $\theta = V_w/V_t$
Ισούται επίσης και με: $\theta = m (\rho_b/\rho_w)$ όπου m η υγρασία, ρ_b η πυκνότητα του ξηρού δείγματος (M_s/V_t) και ρ_w η πυκνότητα του νερού (1 g/cm³).

➤ Νερό κορεσμού

είναι το μεγαλύτερο ποσοστό νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένας εδαφικός σχηματισμός.

➤ Υδατοϊκανότητα εδάφους (field capacity)

είναι η περιεκτικότητα σε νερό, που παραμένει μετά τη στράγγιση ενός κορεσμένου εδάφους για αρκετές ημέρες. Συνδέεται στενά με τη φυσικοχημική κατάσταση του εδάφους. Πρακτικά ταυτίζεται με την ισοδύναμη υγρασία. Η τιμή της ποικίλλει από 7% για τα αμμώδη εδάφη έως 40% στα αργιλώδη.

➤ Σημείο μόνιμου μαρασμού (permanent wilting percentage)

είναι η υγρασία ενός εδάφους για την οποία το φυτό πέφτει σε κατάσταση μόνιμου μαρασμού. Η διαφορά μεταξύ της υδατοϊκανότητας ενός εδάφους και

του σημείου μαρασμού ονομάζεται διαθέσιμη υγρασία ή ικανότητα διαθέσιμου νερού (moisture available).

➤ **Θερμοκρασία**

Καθορίζει τον ρυθμό εκδήλωσης διαφόρων φαινομένων όπως, αποσάθρωση, βιολογικές διεργασίες, χημικές αντιδράσεις κ.ά. Εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα, τη θερμική αγωγιμότητα και το χρώμα του εδάφους. Οι απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσουν θραύση των πετρωμάτων. Από τα ανώτερα προς τα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους διακρίνονται δύο θερμικές ζώνες:

- Η ζώνη της ετεροθερμίας: Περιλαμβάνει μια λεπτή ζώνη 1-2 m, που επηρεάζεται από τις ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα και μια ζώνη πάχους 10-20 m, που επηρεάζεται από τις ετήσιες διακυμάνσεις.
- Η ζώνη της ομοιοθερμίας: Η θερμότητα προέρχεται από το εσωτερικό της γης και η θερμοκρασία συνδέεται με τη γεωθερμική βαθμίδα (αύξηση κατά 1 °C ανά 33 m). Βρίσκεται σε βάθος 10 m (τροπικές περιοχές) και αυξάνει σε 20 m (πολικές περιοχές).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

3.1. Φυσικοχημικές παράμετροι των νερών

Οι κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού είναι:

- **Φυσικές** (θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, ραδιενέργεια)
- **Χημικές** (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής)

Κύρια ιόντα: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-

Δευτερεύοντα ιόντα: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , F^- , CO_3^{2-} , Al^{3+} κ.ά.

Βαρέα μέταλλα: Pb^{2+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Cd^{2+} κ.ά.

Θρεπτικές ενώσεις του N, P

Πρωτεΐνες, Οργανικές ενώσεις, Αέρια (O_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4)

➤ **Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα.

Κατά την ανάμειξη θερμού και ψυχρού νερού με θερμοκρασίες T_θ και T_ψ με όγκους V_θ , V_ψ , ισχύει αντίστοιχα:

$V_{mix} \cdot T_{mix} = V_\theta \cdot T_\theta + V_\psi \cdot T_\psi$ και $V_{mix} = V_\theta + V_\psi = 100\%$

Λύνοντας ως προς V_θ υπολογίζεται ο όγκος του θερμού νερού (%) στο μίγμα:

$$V_\theta = \frac{(T_{mix} - T_\psi)100}{(T_\theta - T_\psi)}$$

➤ **Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)**

Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρησή της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25 οC). Έτσι η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των

διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας.

Κατά την ανάμειξη δύο νερών με διαφορετικές τιμές EC ισχύει:

$$EC_{\text{mix}} = EC_1 \cdot x + EC_2 \cdot (1-x),$$

όπου: EC_{mix} είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του μίγματος που προκύπτει, EC_1 , EC_2 οι αγωγιμότητες των νερών που αναμείχθηκαν και x το ποσοστό ανάμειξης του ενός νερού στο μίγμα.

➤ **Ενεργός οξύτητα (pH)**

Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλ. με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+ . Ο προσδιορισμός του pH γίνεται χρωματομετρικά και ηλεκτρομετρικά.

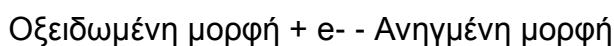
Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 αποτελεί το pH ισορροπίας ή pHs κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pHs κορεσμού τότε το νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το CaCO_3 . Στην αντίθετη περίπτωση το διάλυμα είναι κορεσμένο και αποθέτει το CaCO_3 . Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική ($\text{pH} > 7$) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη ($\text{pH} < 7$). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO_2 όταν αποσυντίθεται.

Η **όξινη βροχή** (acid rain) που οφείλεται στην έκλυση οξειδίων (SO_2 , NO_x) από την καύση υδρογονανθράκων και τη μετατροπή τους σε οξέα στην ατμόσφαιρα (H_2SO_4 , HNO_3), συμβάλλει στη μείωση του pH και στη δημιουργία **όξινων υπόγειων νερών**.

Το pH του νερού του υπεδάφους είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης. Όξινο περιβάλλον ευνοεί την αφαίρεση Fe και Al από τα μητρικά ορυκτά, καθώς και τη συγκέντρωση του SiO_2 . Το pH επίσης μπορεί να μειωθεί από την οξείδωση της αμμωνίας, που προέρχεται από τη χρήση της κοπριάς σαν λίπασμα, καθώς και την οξείδωση των πυριτών (FeS_2).

➤ **Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Redox potential)**

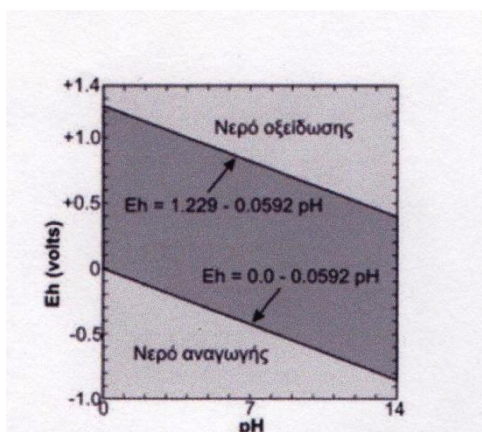
Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) ενός υδατικού διαλύματος μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση του Nerst. Μετράται με ευαίσθητα ηλεκτρόδια και εξαρτάται από τη θέση ισορροπίας της αντίδρασης:



Η θέση της ισορροπίας εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του οξειδωτικού και του αναγωγικού σώματος. Το πιο άφθονο και ισχυρό οξειδωτικό στη φύση είναι το οξυγόνο και το ισχυρότερο αναγωγικό θεωρείται το υδρογόνο. Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδοαναγωγής, λόγω της συμμετοχής των ιόντων OH⁻ στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Γνωρίζοντας τις τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε συνάρτηση με το pH, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μορφών με τις οποίες βρίσκεται ένα χημικό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο φυσικό περιβάλλον.

Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται η σχέση Eh-pH και διακρίνονται περιοχές όπου το νερό οξειδώνεται σε O₂ και περιοχές όπου ανάγεται σε H₂. Επίσης η κατανομή των H₂S, CH₄, Fe²⁺ και άλλων ενώσεων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του Eh.

Με τη βοήθεια του Eh ενός υδατικού περιβάλλοντος είναι δυνατόν να υπολογισθούν με ακρίβεια οι συγκεντρώσεις ιόντων ή ενώσεων στο περιβάλλον αυτό. Στην επιφάνεια της θάλασσας το Eh = +0,3 (οξειδωτικό περιβάλλον), λόγω εμπλουτισμού με αέρα και κοντά στον πυθμένα Eh = -0,6 (αναγωγικό περιβάλλον), λόγω περίσσειας οργανικού υλικού και έλλειψης οξυγόνου (Θεοδωρίκας, 1997). Χαμηλό Eh συμβάλλει στη διατήρηση οργανικής ύλης σε ένα ίζημα. Στην ξηρά, άφθονη οργανική ύλη υπάρχει στον πυθμένα λιμνών και ελών και στη θάλασσα σε κλειστούς κόλπους με περιορισμένη κυκλοφορία νερού και απουσία αδρόκοκκων κλαστικών υλικών.



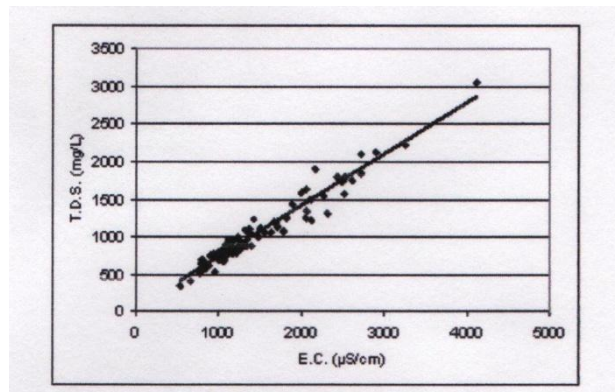
Σχήμα 3.1: Διάγραμμα Eh-pH

➤ **Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S) - Αλατότητα του υπόγειου νερού**

Η παρουσία αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής, την ταχύτητα ροής κ.λπ.

Το T.D.S εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλ. το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τις σχέσεις (Σχ. 3.2):

T.D.S (ppm) ~ 0.65 (EC) (μS/cm) και T.D.S (meq/L) ~ 0.01 (EC) (μS/cm)



Σχήμα 3.2: Γραφική παράσταση T.D.S. σε συνάρτηση με την EC (μS/cm) από δείγματα νερού του παράκτιου αλλουβιακού υδροφορέα του νομού Κορινθίας.

Αν οι τιμές του T.D.S. κυμαίνονται μεταξύ 0-1.000 mg/L το νερό είναι γλυκό (fresh), μεταξύ 1.000-10.000 mg/L θεωρείται **υφάλμυρο** (brackish), μεταξύ 10.000-100.000 mg/L **αλμυρό** (salt or saline) και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/L **υπεραλμυρό** (brine).

Για τον υπολογισμό του T.D.S. προστίθενται οι τιμές όλων των ιόντων, ενώ ο Hounslow (1995) προτείνει την κάτωθι αναλυτική έκφραση για το T.D.S.:

$$\text{T.D.S.} = \text{Σύνολο ιόντων} + \text{SiO}_2 \square (0,5082 \times \text{HCO}_3^-)$$

Το T.D.S. μπορεί να επηρεασθεί από τη διείσδυση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση ορυκτής ύλης. Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που διηθείται στον υδροφόρο αυξάνει το T.D.S. Μεγάλες

τιμές αλατότητας απαντώνται σε υδροφόρους ξηρών περιοχών και σε λεκάνες με κακή στράγγιση.

Στις παράκτιες περιοχές τα αερομεταφερόμενα άλατα αποτελούν μια σημαντική πηγή αλατότητας των υπόγειων νερών. Εγκλωβισμένα αλμυρά νερά εντοπίζονται σε περιοχές ιζηματογενών αποθέσεων (badlands).

Τα υπόγεια νερά έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά, λόγω φόρτισης με άλατα από τη διάλυση των πετρωμάτων. Η αλατότητα είναι μεγαλύτερη σε περιοχές, όπου η κίνηση του νερού είναι μικρότερη και σε ξηρές περιοχές με ασήμαντη έπλυση από τη βροχή. Γενικά, η αλατότητα αυξάνει με το βάθος.

Με απόσταξη παρασκευάζεται το **αποσταγμένο νερό**, το οποίο δεν περιέχει καθόλου διαλυμένα άλατα. Με κατάλληλη επεξεργασία παρασκευάζεται το **απιονισμένο νερό**, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί ιόντα που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν προβλήματα κατά τη χρήση του (συνήθως είναι απαλλαγμένο από ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου).

➤ **Διαλυμένο Οξυγόνο**

Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό, υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 ppm. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται, ενώ αντίθετα μεγάλες συγκεντρώσεις συναντώνται σε νερά, τα οποία δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφόρους ορίζοντες και ανανεώνονται συνεχώς. Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες. Γενικά η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από:

- α) Τη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού, τόσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο.
- β) Την ποσότητα της οργανικής ύλης, η οποία αποσυντίθεται στο νερό.
- γ) Την παρουσία ή απουσία φυτών (μικροσκοπικών και μακροσκοπικών), τα οποία μπορούν να κάνουν φωτοσύνθεση.
- δ) Το βαθμό της διείσδυσης του φωτός, που εξαρτάται από το βάθος.

Κατά την κίνηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου, λόγω κατανάλωσης στις οξειδωτικές διεργασίες που συντελούνται εκεί. Η μείωση του οξυγόνου με το βάθος είναι εκθετική και

σπάνια περιέχεται διαλυμένο οξυγόνο σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m από την υδροστατική επιφάνεια. Στα στάσιμα νερά η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μεταβάλλεται με το βάθος και την εποχή. Το θέρος η περιεκτικότητα οξυγόνου στα μεγάλα βάθη ελαττώνεται και μπορεί να μηδενισθεί.

➤ **Αλκαλικότητα (Alkalinity)**

Η αλκαλικότητα είναι ένα μέτρο της ικανότητας των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων OH^- , CO_3^{2-} και HCO_3^- . Επιπλέον δρουν οι συζυγείς βάσεις του φωσφορικού και πυριτικού οξέος. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των υπόγειων νερών. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.

➤ **Σκληρότητα (Hardness)**

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα. Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών γιατί δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθήσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές, την ικανότητα δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων κ.ά (Μήτρακας, 2001). Η σκληρότητα του πόσιμου νερού μεταξύ των άλλων συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις.

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

α) **Παροδική ή ανθρακική** σκληρότητα που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και Mg^{2+} δηλ. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} , που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα.

β) **Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική** που προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειικό ιόν, το ιόν χλωρίου και το

νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειικών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

γ) **Ολική σκληρότητα** (Total Hardness): Είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 (mg/L), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας. Ο Γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L CaCO_3 και ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17,86 mg/L $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Η ολική σκληρότητα (TH) δίνεται από τη σχέση: $\text{TH}=2,5\text{Ca}+4,1\text{Mg}$ αν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/L και $\text{TH}=50 (\text{Ca}+\text{Mg})$ αν είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Η περιοχή μεταξύ 15-20 γαλλικών βαθμών χαρακτηρίζουν πολύ καλό νερό από άποψη σκληρότητας. Η μηδενική σκληρότητα, η παντελής δηλ. έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου δεν είναι επιθυμητή. Η μεγάλη σκληρότητα προκαλεί ελαφρά διάρροια σε όσους πίνουν για πρώτη φορά, ενώ η συνεχής εξωτερική του χρήση προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα. Επίσης καταστρέφει τα υφάσματα και φθείρει τις συσκευές. Τα νερά με βάση τη σκληρότητα ταξινομούνται όπως φαίνεται στον Πίν. 3.1.

Η ολική αλκαλικότητα ισούται με $\text{Alk}=0,81967 \text{HCO}_3^-$ (mg/L). Στην περίπτωση που η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα τότε η μη ανθρακική σκληρότητα (μόνιμη) είναι μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την ανθρακική σκληρότητα (παροδική). Αν η αλκαλικότητα είναι μικρότερη από την ολική σκληρότητα τότε η παροδική σκληρότητα είναι ίση με την αλκαλικότητα και η μόνιμη είναι η διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα.

Ισοδύναμο CaCO_3 (mg/L)	Γαλλικοί βαθμοί	Χαρακτηρισμός του νερού
0-100	0-10	Μαλακό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα.

Η αποσκλήρυνση του νερού γίνεται με χημικές διαδικασίες (ιζηματοποίηση), με αντίστροφη όσμωση, ηλεκτροδιάλυση ή με περιορισμένη εξάτμιση, καθώς και με χρήση ιοντοανταλλακτών (ρητίνες ή ζεόλιθοι).

Στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί προσδιορίζονται οι κυριότερες παράμετροι του πόσιμου νερού, όπως καθορίζονται με βάση τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

α/α	Παράμετρος	Μονάδα έκφρασης αποτελεσμάτων	Παραμετρική τιμή*
1	Ιόντα υδρογόνου	μονάδα pH	6.5<=pH<=9.5
2	Αγωγιμότητα	μS/cm	2500
3	Χλωριούχα άλατα	mg/l	250
4	Θειικά άλατα	mg/l	250
5	Νάτριο	g/l	200
6	Αργίλιο	μg/l	200
7	Νιτρικά άλατα	mg/l	50
8	Νιτρώδη άλατα	mg/l	0,50
9	Βρωμικά άλατα	mg/l	10
10	Κυανιούχα άλατα	μg/l	50
11	Αμμώνιο	mg/l	0,50
12	Φθοριούχα άλατα	mg/l	1,5
13	Σίδηρος	μg/l	200
14	Μαγγάνιο	μg/l	50
15	Χαλκός	mg/l	2,0
16	Αρσενικό	μg/l	10
17	Χρώμιο	μg/l	50
18	Υδράργυρος	μg/l	1,0
19	Μόλυβδος	μg/l	10
20	Νικέλιο	μg/l	20
21	Κάδμιο	μg/l	5,0

Πίνακας 3.2: Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού
(Οδηγία 98/83/EK του Συμβουλίου της 3ης/11/1998).

*Η παραμετρική τιμή, με βάση την Οδηγία 98/83/EK, αναφέρεται στη συγκέντρωση καταλοίπων μονομερούς στο νερό, όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές περί μέγιστης μετανάστευσης εκ του αντιστοίχου πολυμερούς, όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό.

➤ **Συντελεστής προσρόφησης Νατρίου ή κίνδυνος Νατρίου (SAR)**

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio) ισούται με:

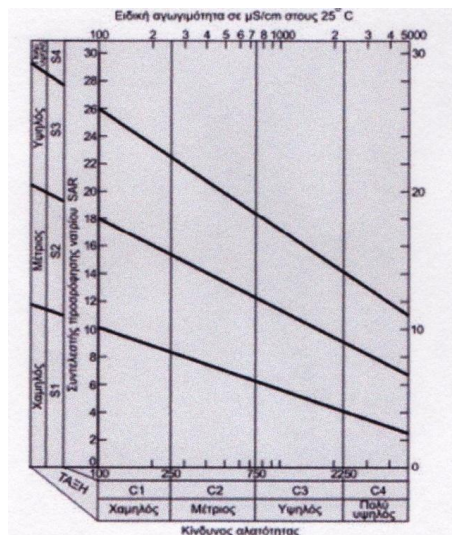
$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου αποτελεί ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Το νάτριο δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 μS/cm, τιμές του SAR < 6 υποδηλώνουν μικρό κίνδυνο νατρίου, 6-12 μέσο κίνδυνο νατρίου, 12-18 μεγάλο κίνδυνο νατρίου και τιμές SAR > 18 πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου.

Μια ταξινόμηση των αρδευτικών νερών βασισμένη στο SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα προτάθηκε σε διάγραμμα από το U.S. Salinity Laboratory ή διάγραμμα Richards (Σχ. 3.3).

Στο Σχ. 3.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Νατρίου (διάγραμμα Wilcox).

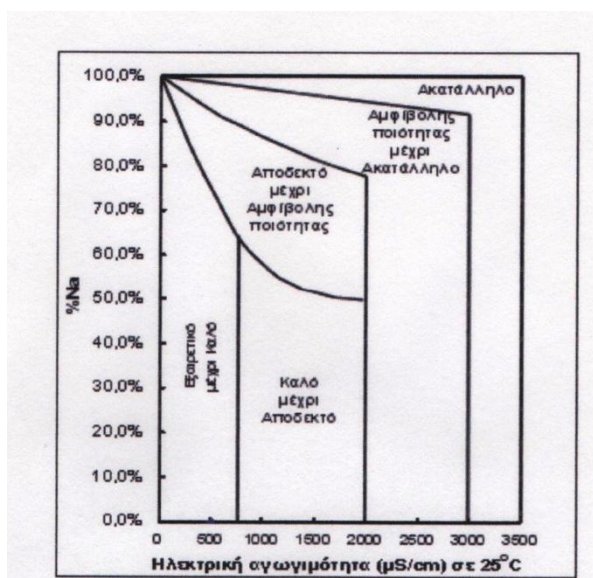


Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών.

Η **περιεκτικότητα σε νάτριο** (βαθμός αλκαλίωσης) εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό (Na%) από τη σχέση:

$$\text{Na}(\%) = (\text{Na} + \text{K}) \cdot 100 / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K})$$

όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/L. Η διαβρωτική ικανότητα του νερού ή η ικανότητα απόθεσης αλάτων, κυρίως CaCO₃ παίζει σημαντικό ρόλο στις χρήσεις του και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, την ταχύτητα ροής του νερού και το pH. Τα βακτήρια επίσης δρουν καταλυτικά επιταχύνοντας τις χημικές αντιδράσεις.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ταξινόμησης με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Na (διάγραμμα Wilcox).

➤ **Ιοντική ισχύς I (ionic strength)**

Η ιοντική ισχύς είναι ένα μέτρο της ολικής συγκέντρωσης των ιόντων και υπολογίζεται από τον τύπο: $I = 0,5 \sum M_i Z_i^2$ όπου M_i είναι η μοριακή συγκέντρωση (mol/L) του i -οστού ιόντος και Z_i είναι το φορτίο του. Οι Domenico & Schwartz (1990) αναφέρουν ότι το γλυκό νερό έχει ιοντική ισχύ $I < 0,005$.

➤ **Δείκτης κορεσμού και δείκτης σταθερότητας**

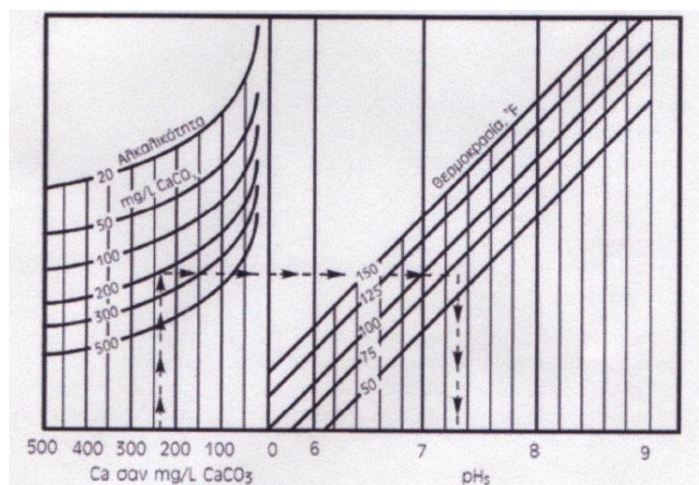
Ο **δείκτης κορεσμού SI** ή **Langelier** (Saturation index) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συμβάλλουν στη διάβρωση ή την απόθεση ασβεστίτη ή γύψου ή δολομίτη από το νερό στους σωλήνες μεταφοράς.

Η γενική μορφή του δείκτη κορεσμού είναι $SI = pH - pH_s$

όπου pH το μετρούμενο pH του νερού και pH_s το pH κορεσμού. Για τον ασβεστίτη: $SI = \log([Ca^{2+}][CO_3^{2-}]/K)$, όπου $[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]$ το γινόμενο ενεργότητας και K η σταθερά ισορροπίας. Θετικές τιμές του δείκτη κορεσμού δηλώνουν την τάση του νερού για απόθεση $CaCO_3$, ενώ οι αρνητικές την τάση να διαλύει $CaCO_3$.

Ο Ryznar πρότεινε τον **δείκτη σταθερότητας StI** (Stability index) που δίνεται από τη σχέση: $StI = 2pH - pH_s$. Τιμές του StI μεγαλύτερες από 7 δηλώνουν διαβρωτικό νερό. Όταν ο δείκτης StI είναι μικρότερος από 7, το νερό έχει την τάση να αποθέσει άλατα.

Στο Σχ. 3.5 παρουσιάζεται το νομόγραμμα Langelier, από το οποίο προκύπτει η τιμή του δείκτη, αν γνωρίζουμε τη σκληρότητα, την αλκαλικότητα, τη θερμοκρασία του νερού και το pH . Π.χ. αν η σκληρότητα Ca είναι 240 mg/L $CaCO_3$, η αλκαλικότητα 190 mg/L, η θερμοκρασία 70 °F και το $pH=6,8$ από το διάγραμμα προκύπτει $pH_s=7,3$ και συνεπώς ο δείκτης κορεσμού είναι $SI = pH - pH_s = 6,8 - 7,3 = -0,5$ υποδηλώνοντας διαβρωτικό νερό.



Σχήμα 3.5: Προσδιορισμός του δείκτη Langelier (Kemmer 1988).

Η προσθήκη πολυμερών οργανικών μορίων αναστέλλει το σχηματισμό κρυστάλλων $CaCO_3$ και αποτελεί τη φθηνότερη και αποτελεσματικότερη μέθοδο ελέγχου των αποθέσεων $CaCO_3$, $CaSO_4$ και $Ca_3(PO_4)_2$. Η προσθήκη επίσης διαφόρων συμπλοκοποιητών μειώνει το ρυθμό απόθεσης του $CaCO_3$, γιατί δεσμεύουν τα Ca^{2+} σε ευδιάλυτα σύμπλοκα.

➤ **Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) - Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)**

BOD5 είναι η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς για τη βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα νερά, σε διάστημα 5 ημερών και σε θερμοκρασία 20 °C. Οι τιμές του BOD δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ολική φόρτιση των νερών με οργανικές ενώσεις.

COD είναι η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για τη χημική οξειδωση των οργανικών ενώσεων, οι οποίες βρίσκονται στα νερά.

3.2. Άλλα χαρακτηριστικά του νερού

➤ **Θρεπτικά άλατα**

Τα διαλυμένα στο νερό θρεπτικά άλατα παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βιολογική παραγωγικότητα. Το **άζωτο** και ο **φωσφόρος** θεωρούνται οι πλέον σημαντικοί παράγοντες για την ανάπτυξη των οργανισμών.

Το άζωτο βρίσκεται στο νερό με διάφορες μορφές: αέριο σε διάλυση, αμμωνία (ως NH_4^+ ή NH_4OH), NO_3^- , NO_2^- , οργανικό άζωτο.

Ο φωσφόρος δεν βρίσκεται ελεύθερος και στα νερά απαντά με τη μορφή ορθο-φωσφορικών ιόντων, πολυ-φωσφορικών ιόντων και ιόντων σε οργανικές ενώσεις. Ο ολικός φώσφορος περιλαμβάνει το φώσφορο σε σωματιδιακή μορφή και τον διαλυμένο. Η συγκέντρωση των θρεπτικών παίζει σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση του ευτροφισμού, στην υπέρμετρη δηλ. ανάπτυξη φυτικών οργανισμών σε υδάτινα σώματα με άμεση διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας.

➤ **Αιωρούμενα σωματίδια**

Λόγω της διάλυσης και της αποσάθρωσης των πετρωμάτων το νερό μεταφέρει αιωρούμενα σωματίδια, πολλές φορές μη ορατά με γυμνό μάτι. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες (ρύπανση με απόβλητα) συμβάλλουν στην επιπλέον δημιουργία αιωρούμενων. Όσον αφορά τα αιωρούμενα βιολογικής προέλευσης αυτά είναι κυρίως βακτήρια και άλγη. Η παρουσία των αιωρούμενων στο νερό μειώνει τη διαύγειά του, λόγω διάχυσης του φωτός. Λειτουργούν δε ως μέσο προσρόφησης διαφόρων επιβλαβών συστατικών π.χ. βαρέων μετάλλων, οργανικών ουσιών κ.λπ. και για το λόγο αυτόν

παίζουν σημαντικό ρόλο στο γεωχημικό και βιολογικό κύκλο. Η μέτρηση των αιωρούμενων γίνεται με τη **θολότητα** σε μονάδες θολότητας.

Η θολότητα είναι η ιδιότητα του νερού να προκαλεί διάχυση και απορρόφηση του φωτός, χωρίς να επιτρέπει τη διέλευσή του (Μήτρακας, 2001).

Τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων καθορίζουν την ποιότητα του νερού και τις μεθόδους επεξεργασίας του. Η απομάκρυνσή τους γίνεται με την εφαρμογή της καθίζησης, της διήθησης από στρώμα άμμου ή από γη διατόμων και της θρόμβωσης / κροκίδωσης.

➤ **Οργανικές ουσίες**

Οι οργανικές ουσίες προέρχονται είτε από φυσικές διαδικασίες, είτε από ανθρωπογενείς.

Οι φυσικές οργανικές ενώσεις στο νερό προέρχονται από τις διαδικασίες αποδόμησης προϊόντων φυτικής και ζωικής προέλευσης (χουμικά συστατικά). Οργανικές ουσίες από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι αυτές που προέρχονται από την επεξεργασία του νερού π.χ. αλογονούχες οργανικές ενώσεις μετά τη χλωρίωση του νερού, ή ρύπανση (απορρυπαντικά, αρωματικές ενώσεις κ.λπ.). Τις τελευταίες δεκαετίες η εντατική χρήση φυτοφαρμάκων είχε ως αποτέλεσμα τη ρύπανση του υπόγειου νερού με οργανικές ενώσεις. Οι οργανοχλωριωμένες ενώσεις που χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα, δεν είναι εύκολα αποδομήσιμες και αποτελούν πηγή ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Οι φαινόλες (C_6H_5OH) χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία φαρμάκων, χρωμάτων κ.λπ. και βρίσκονται στα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων. Η ρύπανση του υπόγειου νερού, που προορίζεται για πόσιμο, με φαινόλες είναι επικίνδυνη για τη δημόσια υγεία γιατί με τη χλωρίωση του νερού σχηματίζονται χλωροφαινόλες, που είναι τοξικές και καρκινογόνες. Σαν ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση φαινολών στο πόσιμο νερό έχει ορισθεί το 1 $\mu\text{g/L}$.

Πολλές φορές οι οργανικές ουσίες εισέρχονται στο νερό μετά από διαρροές ή ατυχήματα (π.χ. διαρροή πετρελαιοειδών) ή μετά τη διάλυση των πλαστικών σωλήνων (διάλυση μονομερούς από τη μάζα του πολυμερούς πλαστικού) στα δίκτυα μεταφοράς νερού.

Για τον προσδιορισμό των οργανικών ενώσεων συνήθως προσδιορίζεται το σύνολο αυτών μετρώντας τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) και τα ολικά οργανικά αλογόνα (TOX).

➤ **Ραδιενέργεια του νερού**

Η ραδιενέργεια του νερού είναι φυσική ή ανθρώπινης προέλευσης. Η φυσική προέρχεται από τα ραδιενεργά στοιχεία που υπάρχουν στη γη ή δημιουργούνται από το βομβαρδισμό της ατμόσφαιρας με κοσμική ακτινοβολία.

Τα δύο κυριότερα ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στο νερό είναι το τρίτιο (^3H), άνθρακας-14 (^{14}C) και το κάλιο-40 (^{40}K). Το τρίτιο παράγεται κατά την επίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας στο οξυγόνο και υδρογόνο της ατμόσφαιρας, οπότε παράγονται μόρια νερού με τρίτιο στο μόριό τους. Παρόμοια δημιουργείται και το ισότοπο ^{14}C και το παραγόμενο CO_2 εγκλωβίζεται στο νερό. Το ισότοπο ^{40}K παράγεται από τον φλοιό της γης. Ο άνθρακας-14 χρησιμοποιείται για τη χρονολόγηση υλικών που περιέχουν άνθρακα (ξύλο, φυτά) και το τρίτιο για τη χρονολόγηση νερών. Οι Βουδούρης και Fleet (1995) από τον προσδιορισμό της ηλικίας του υπόγειου νερού του υδροφορέα της Βιομηχανικής περιοχής Πατρών, με τη χρήση ισοτόπων τρίτιου προέκυψε ότι αυτή είναι παλαιότερη από 40 χρόνια (3 δείγματα) και σε άλλα 2 δείγματα η ηλικία ανέρχεται σε 300 και 600 χρόνια, αντίστοιχα.

Στη φυσική ραδιενέργεια συμβάλλουν τα ραδιενεργά ισότοπα του ουρανίου-238, θορίου-232 και ουρανίου-235 και τα προϊόντα διάσπασής τους ράδιο-228 και ράδιο-226. Τα ανθρώπινης προέλευσης ραδιενεργά ισότοπα προέρχονται κυρίως από τη χρήση των πυρηνικών όπλων, καθώς και τα ραδιενεργά φάρμακα και καύσιμα. Η παρουσία ραδιενεργών ισοτόπων στο νερό τα καθιστά ακατάλληλα για πόση, γιατί προκαλούν γενετικές μεταλλάξεις και τερατογενέσεις.

➤ **Οσμή και Γεύση**

Η οσμή και η γεύση καθορίζονται από την προέλευση του νερού και τις ανθρώπινες επεμβάσεις που σχετίζονται με τις μεθόδους επεξεργασίας και τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής του νερού.

Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS) είναι ένας δείκτης για τη γεύση του νερού. Αν οι τιμές του είναι μικρές ($<1000 \text{ mg/L}$), η γεύση του νερού είναι

καλή. Αν οι τιμές είναι μεγάλες, που υποδηλώνουν υφάλμυρα νερά το νερό έχει «γλυφή» γεύση.

Σημαντικό ρόλο στη γεύση και οσμή του νερού παίζουν και οι μέθοδοι επεξεργασίας του. Η χρήση π.χ. χλωρίου ως απολυμαντικό δημιουργεί παράγωγες ενώσεις κατά την αντίδρασή του με τα οργανικά συστατικά του νερού (π.χ. χλωροφαινόλες), οι οποίες έχουν διάφορες οσμές. Η παρουσία υδρόθειου (H_2S) σε περιεκτικότητα $>0,1$ mg/L στο νερό, δημιουργεί δυσάρεστη οσμή (σαν κλούβιο αυγό). Το υδρόθειο προέρχεται από την αναγωγή θειικών ιόντων σε αναερόβιες συνθήκες.

Η αποδόμηση φυτικών υπολειμμάτων και τα προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι επίσης αιτίες για πιθανή δημιουργία οσμής και γεύσης στα επιφανειακά κυρίως νερά. Η γεωσμίνη με την οσμή γαιώδη-μούχλας είναι προϊόν μεταβολισμού μυκήτων και αλγών.

Τέλος, η παρουσία αμμωνίας, η οποία είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, προσδίδει στο νερό μια δυσάρεστη γεύση στο νερό.

3.3. Προέλευση των ιόντων

3.3.1. Κατιόντα

α) Ασβέστιο – Μαγνήσιο. Η κύρια προέλευση του ασβεστίου (Ca) είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα. Επίσης προέρχεται από τους ασβεστονατριούχους άστριους, τη γύψο, τους πυρόξενους, τους αμφιβόλους, καθώς και σε ορυκτά της ομάδας του επίδοτου. Το μαγνήσιο (Mg^{2+}) απαντάται στον ολιβίνη ($(Mg,Fe)SiO_4$, μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν μαγνησίτη ($MgCO_3$) και δολομίτη ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$). Προέρχεται και από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Ο λόγος Ca/Mg στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 0,25, σε υφάλμυρα νερά 1,5-3,7, ενώ σε ασβεστολιθικά νερά 1,6 και σε δολομιτικά νερά 1,25.

Τα ανωτέρω στοιχεία είναι απαραίτητα για την υγεία του ανθρώπου γιατί το ασβέστιο είναι διουρητικό, αντιυπερτασικό και αντιαλλεργικό και βοηθά στην

πήξη του αίματος, ενώ το μαγνήσιο βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος.

β) Νάτριο-Κάλιο. Τα αλκάλια Na και K συνδέουν την παρουσία τους με τους αστρίους. Το μεν νάτριο στον αλβίτη ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), το δε κάλιο στο ορθόκλαστο και στον μικροκλινή (KAlSi_3O_8). Το Na απαντά επίσης στους νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή) και στον αλίτη (NaCl) και το K στον συλβίνη (KCl). Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα. Η παρουσία των αλκαλίων σχετίζεται και με τη διείδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα.

Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/L. Στο θαλασσινό νερό ανέρχεται σε 10.000 mg/L. Περισσότερο από 50 mg/L νατρίου και καλίου προκαλούν σαπυνοποίηση που επιταχύνει τη διάβρωση στους λέβητες, δημιουργώντας κρούστα. Σε μικρές περιεκτικότητες το νάτριο και το κάλιο συμμετέχουν στην ωσμωτική ισορροπία του κυττάρου. Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν (αυξάνει την αρτηριακή πίεση).

γ) Ολικός Σίδηρος. Στα νερά ο σίδηρος συναντάται με τη δισθενή και την τρισθενή μορφή του. Προέρχεται από μαγματικά πετρώματα, οξειδία (αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης), σουλφίδια (σιδηροπυρίτης, FeS_2), ανθρακικά ορυκτά (σιδηρίτης, FeCO_3).

Τα επιφανειακά νερά έχουν τον σίδηρο με την τρισθενή μορφή, ενώ αντίθετα μερικά υπόγεια νερά περιέχουν ιόντα δισθενούς σιδήρου, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν οι δισθενείς ενώσεις του σιδήρου οξειδώνονται προς τρισθενείς και κατακρημνίζονται, προσδίδοντας καφέ-κόκκινο χρώμα. Καλά οξυγονωμένα επιφανειακά νερά σε φυσιολογικές συνθήκες δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου διαλυμένο σίδηρο.

Ο σίδηρος απαντάται σε υπόγεια νερά της Βορειο - Δυτικής Πελοποννήσου (Αχαΐα, Ηλεία) και των νομών Κιλκίς, Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής κ.α., από αίτια που οφείλονται σε γεωλογικούς παράγοντες (Αντωνάκος & Νίκας, 2005, Mattas et al., 2006). Συγκεκριμένα η παρουσία οξειδίων του σιδήρου στον φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης αποδίδεται στην ανάδυση και αποσάθρωση των ασβεστολίθων, λατεριτών και βωξιτών που έδωσαν υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου και που τροφοδότησαν στη συνέχεια τη λεκάνη στην

οποία σχηματιζόταν ο φλύσχος του άνω Ηωκαίνου. Οι υψηλές περιεκτικότητες Fe στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της πεδιάδας της Δράμας συνδέονται με τα περιβάλλοντα στρώματα λιγνίτη και της βακτηριακής θειο-αναγωγής του Fe (Πανίλας κ.ά, 1999).

Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης ολικού σιδήρου είναι τα 20 $\mu\text{g/L}$ και το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο τα 200 $\mu\text{g/L}$. Όταν η συγκέντρωση υπερβαίνει τα 100 $\mu\text{g/L}$ γίνεται ίζημα μετά από έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα, προκαλώντας θολότητα και δημιουργώντας κηλίδες στα σκεύη. Σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 200 $\mu\text{g/L}$ καθίσταται ακατάλληλο και για πολλές βιομηχανικές χρήσεις. Ο σίδηρος είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και η έλλειψή του προκαλεί αναιμία. Σε μεγάλες περιεκτικότητες προξενεί βλάβη στους ιστούς, λόγω της συσσώρευσής του. Το υδρόθειο αντιδρά με οξειδία του σιδήρου, που υπάρχουν στον υδροφορέα και σχηματίζονται πυρίτες (σουλφίδια του Fe). Οι εντατικές αντλήσεις οδηγούν πολλές φορές στην αναγωγή των θειικών με αποτέλεσμα την απόφραξη των φιλτροσωλήνων των υδρογεωτρήσεων με σουλφίδια του σιδήρου.

3.3.2. Ανιόντα

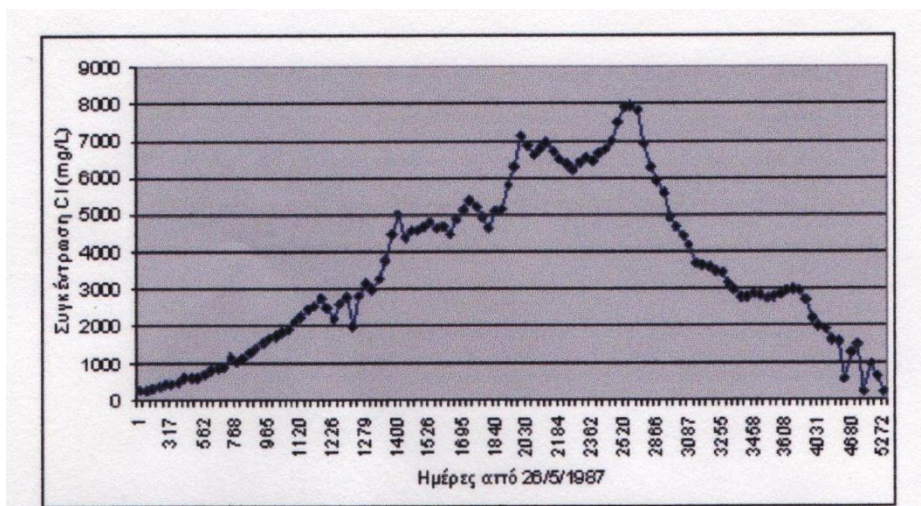
α) Χλώριο (Cl^-) Κύρια προέλευση είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες. Άλλη πηγή αποτελεί η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους. Στις βιομηχανικές περιοχές αύξηση του Cl^- προέρχεται από την καύση των πλαστικών και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια.

Τα χλωριούχα ιόντα συμβάλλουν στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων και στην παραγωγή του υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι. Επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/L και το ανώτατο 250 mg/L . Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το νερό γίνεται γλυφό και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν ότι προκαλούνται καρδιαγγειακά προβλήματα.

Το ελεύθερο χλώριο χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού, αλλά έχει παρενέργειες, λόγω των παράγωγων ενώσεων που δημιουργούνται.

Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας των χλωριόντων από τον παράκτιο αλλουβιακό υδροφορέα της λεκάνης του ποταμού Γλαύκου

Αχαΐας. Σε περιόδους ξηρασίας (1989-1992) και υπερεκμετάλλευσης του υδροφορέα η περιεκτικότητα των χλωριόντων αυξήθηκε σημαντικά.



Σχήμα 3.6: Μεταβολή της περιεκτικότητας Cl⁻ (mg/L) υπόγειου νερού από τον υδροφορέα της λεκάνης του Γλαύκου, Αχαΐας (στοιχεία από Μανδηλαρά 2005).

Να σημειωθεί ότι η αλατότητα του βρόχινου νερού στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τις περιοχές στην ενδοχώρα, γιατί οι υγρές αέριες μάζες πάνω από τη θάλασσα μεταφέρουν και σταγονίδια (sea spray) πλούσια σε άλατα. Η απόθεση αυτών των αλάτων με τη βροχόπτωση επιδρά σημαντικά στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών των νησιών (Dazy et al., 1997, Lambrakis et al., 2000).

Το χλώριο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων. Εάν θεωρηθεί ότι τα χλωριόντα είναι συντηρητικά ιόντα και η μοναδική πηγή προέλευσής τους στα υπόγεια νερά είναι η βροχόπτωση ή τα αερομεταφερόμενα σταγονίδια, το ισοζύγιο της μάζας των χλωριόντων σε μια λεκάνη μπορεί να εκφρασθεί:

$$P [Cl]_p = E [Cl]_e + R [Cl]_r + S [Cl]_s$$

όπου: [Cl]_p, [Cl]_e, [Cl]_r, και [Cl]_s είναι οι συγκεντρώσεις χλωριόντων στη βροχόπτωση (P), στο νερό που εξατμίζεται (E), το νερό εμπλουτισμού R (ποιότητα υπόγειου νερού) και στο νερό της επιφανειακής απορροής (S), αντίστοιχα.

Θεωρώντας ασήμαντες τις ποσότητες χλωριόντων που μετακινούνται με την εξατμισο-διαπνοή και εισέρχονται από τη διάλυση των πετρωμάτων, τότε η ανωτέρω εξίσωση μπορεί να γραφεί:

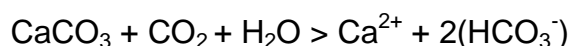
$$P [Cl]_p = R [Cl]_r + S [Cl]_s$$

Λύνοντας ως προς τον εμπλουτισμό R προκύπτει η κάτωθι εξίσωση:

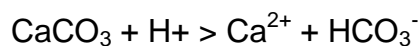
$$R = \frac{F[Cl]_p - S[Cl]_s}{[Cl]_p}$$

Οι Kitching κ.ά. (1980) θεωρούν ότι, η κύρια πηγή λάθους στην εκτίμηση του εμπλουτισμού με τη μέθοδο αυτή, οφείλεται στο μη ακριβή προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ιόντων Cl⁻ στη βροχή. Το λάθος αυτό πολλές φορές ανέρχεται έως και 25% της πραγματικής τιμής.

β) Ώξινα ανθρακικά ιόντα (HCO₃⁻) Είναι το επικρατέστερο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά. Προέρχεται από το CO₂ της ατμόσφαιρας και το ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση, σύμφωνα με την αντίδραση:



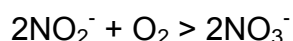
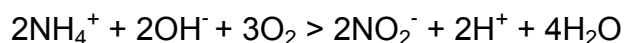
Επίσης προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:



Είναι σημαντικό ιόν για την ανθρώπινη υγεία γιατί ρυθμίζει το pH του οργανισμού σε κατάλληλες τιμές. Υπάρχουν και φυσικά ανθρακούχα νερά (π.χ. ΣΟΥΡΩΤΗ) που περιέχουν σε μεγάλες περιεκτικότητες HCO₃⁻ και CO₂. Οι σόδες αντίθετα προέρχονται από τα κοινά νερά με προσθήκη CO₂ και NaHCO₃. Το CO₂ προσδίδει στο νερό ευχάριστες ιδιότητες.

γ) Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻). Τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί να προέρχεται από ζωικά περιπτώματα, λιπάσματα ή προηγούμενη χρήση του νερού από τον άνθρωπο.

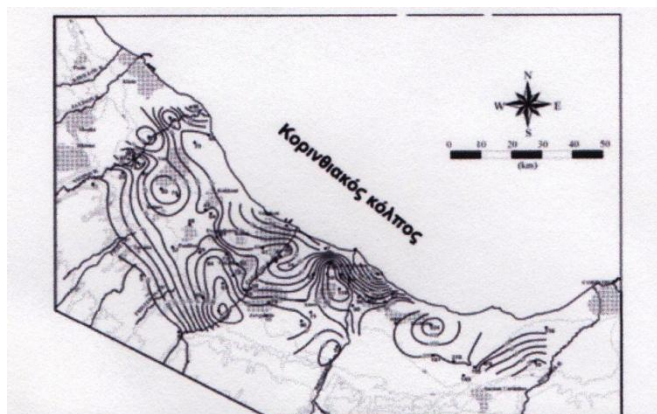
Η οξείδωση του ιόντος NH₄⁺ που προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών:



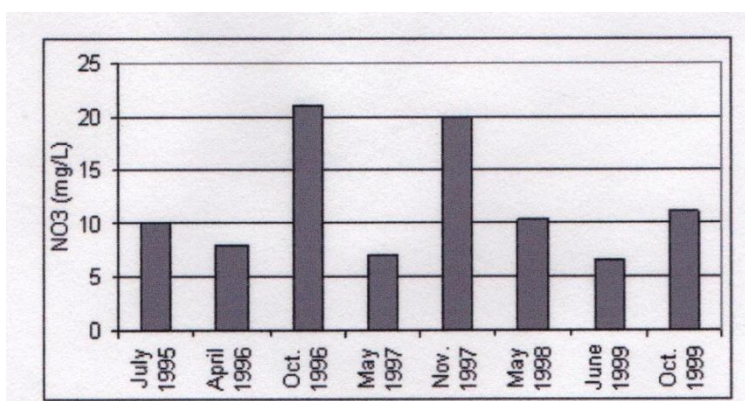
Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικό ανιόν υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων ή επίδραση ή ανάμειξη με νερά άρδευσης από λιπαινόμενες γαίες. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθορισθεί σε 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/L.

Στο Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται η κατανομή των νιτρικών ιόντων στη λεκάνη της Βόχας (Βόρειο παράκτιο τμήμα του Νομού Κορινθίας) και στο Σχ. 3.8 η

διακύμανση των νιτρικών στο υπόγειο νερό από μια γεώτρηση της ίδιας περιοχής την περίοδο 1995-1999.



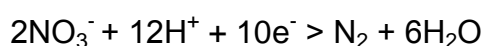
Σχήμα 3.7: Χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων (mg/L) στον παράκτιο αλλουβιακό υδροφόρα του νομού Κορινθίας (Βουδούρης 2004)



Σχήμα 3.8: Διακύμανση των νιτρικών ιόντων (mg/L) σε δείγμα υπόγειου νερού από τον παράκτιο αλλουβιακό υδροφόρα του νομού Κορινθίας (Βουδούρης 2004).

Αυξημένες περιεκτικότητες σε νιτρικά ιόντα προκαλούν βλάβες στον οργανισμό. Συγκεκριμένα κατηγορούνται για την πρόκληση διαφόρων μορφών καρκινογένεσης (τα αδρανή νιτρικά μετατρέπονται σε δραστικά νιτρώδη στον οργανισμό, τα οποία μπορεί να δώσουν καρκινογόνα παράγωγα όπως οι νιτροζαμίνες) και για την κοινά ονομαζόμενη ασθένεια των "μπλέ παιδιών" (νεώτερες επιδημιολογικές έρευνες το αμφισβητούν). Τα νιτρικά είναι ένα πρόβλημα που θα ενταθεί στο μέλλον από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Απαιτείται άμεσα ο έλεγχος και η ορθολογικοποίηση της γεωργίας με εφαρμογή των κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής, καθώς και η προώθηση εναλλακτικών μορφών καλλιέργειας.

Η κύρια διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών είναι η αναγωγή τους, σύμφωνα με την αντίδραση:



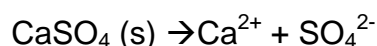
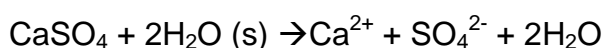
Οι κύριες αναγωγικές ουσίες H_2S , CH_4 , Fe^{2+} βρίσκονται διαλυμένες στο νερό σε μικρή αναλογία σε σχέση με τα νιτρικά και έτσι καθίσταται αδύνατη η πλήρης αναγωγή των νιτρικών. Έτσι η αναγωγή των νιτρικών ή απονίτρωση (denitrification) στους υδροφόρους επιτυγχάνεται από οργανική ύλη, παρουσία βακτηρίων με τελικό προϊόν την αμμωνία.

δ) Νιτρώδες ανιόν (NO_2^-). Εμφανίζεται ως ένα ενδιάμεσο στάδιο της βιολογικής ανασύνθεσης από ενώσεις που περιέχουν οργανικό άζωτο και είναι εξαιρετικά ασταθές. Η αμμωνία μετατρέπεται κάτω από αερόβιες συνθήκες σε νιτρώδη με τη βοήθεια βακτηριδίων.

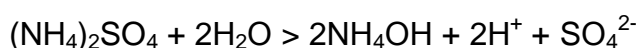
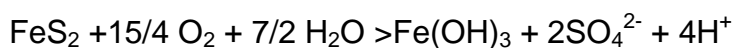
Η παρουσία νιτρωδών αλλά και αμμωνίας υποδηλώνει ρύπανση από λύματα. Σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση νιτρωδών έχουν ορισθεί τα 0,1 mg/L.

Στα επιφανειακά νερά η παρουσία των νιτρωδών ιόντων είναι περιορισμένη γιατί οξειδώνονται σε νιτρικά με την παρουσία φωτός και βακτηριδίων.

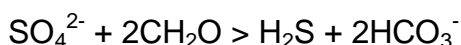
ε) Θειϊκά ανιόντα (SO_4^{2-}). Κύρια προέλευση των θειϊκών ανιόντων είναι η διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, η χρήση θειϊκών λιπασμάτων τύπου $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, καθώς και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Η παραγωγή θειϊκών ανιόντων από σουλφίδια και θειϊκό αμμώνιο γίνεται σύμφωνα με τις κάτωθι αντιδράσεις:



Σε μεγάλες περιεκτικότητες θειϊκών ιόντων το νερό δρα ως καθαρτικό. Περιεκτικότητα όμως μεγαλύτερη από 250 mg/L σε θειϊκά ιόντα καθιστά τη χρήση των νερών προβληματική για πόση (προσδίδει γεύση) και βιομηχανική χρήση. Γενικά το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων. Παρουσία οργανικής ύλης τα SO_4^{2-} μπορεί να αναχθούν, κυρίως σε υδρόθειο (H_2S), το οποίο υδρόθειο έχει δυσάρεστη οσμή και διαβρώνει τους αγωγούς μεταφοράς νερού:



στ) Φθόριο. Βρίσκεται στα υπόγεια νερά με μορφή φθοριούχων αλάτων και είναι διαβρωτικό και τοξικό. Προέρχεται από τη μετατροπή φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη:



Σε συγκέντρωση μέχρι 1 mg/L είναι ωφέλιμο, γιατί προλαμβάνει την τερηδόνα των δοντιών και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της αδαμαντίνης. Σε μεγαλύτερη συγκέντρωση αποτίθεται στα δόντια, προκαλώντας κηλίδες και παραμόρφωση (fluorosis). Συγκεντρώσεις F στο νερό μεγαλύτερες από 5 mg/L το καθιστούν ακατάλληλο προς πόση. Η φθορίωση του νερού, που γίνεται στις δεξαμενές ύδρευσης, χρησιμοποιώντας διάφορα φθοριούχα άλατα αποσκοπεί στο να αποκτήσει την επιθυμητή συγκέντρωση του 1 mg/L.

η) Φωσφορικά ιόντα. Βρίσκονται στο υπόγειο νερό, ανάλογα με την τιμή του pH με διάφορες μορφές: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Η παρουσία τους σχετίζεται και με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στη γεωργία, καθώς τη ρύπανση από αστικά λύματα. Μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τους σπουδαιότερους παράγοντες δημιουργίας φαινομένων ευτροφισμού.

Σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση φωσφορικών στο νερό θεωρούνται τα 5 mg/L, ενώ σαν ενδεικτικό τα 0,4 mg/L.

Στο υπόγειο νερό υπάρχουν και ιχνοστοιχεία, τα οποία αν είναι σε μικρές περιεκτικότητες είναι ευεργετικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Αντίθετα σε μεγάλες περιεκτικότητες καθίστανται επιβλαβή. Σαν τέτοια μπορούν να αναφερθούν το σελήνιο, το χρώμιο, το μαγγάνιο, το λίθιο, ο ψευδάργυρος ο χαλκός, το βάριο, το κάδμιο κ.ά.

Δεν έχει διαπιστωθεί ευεργετική δράση, αντίθετα είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία γιατί προκαλούν βλάβες, τα ιχνοστοιχεία αργίλιο (προκαλεί την ασθένεια Alzheimer), άργυρος (προκαλεί σε μεγάλες περιεκτικότητες αποχρωματισμό του δέρματος και των μαλλιών), βηρύλλιο (θεωρείται καρκινογόνο) και ο υδράργυρος (προκαλεί βλάβες στα νεφρά, στον εγκέφαλο, οπτικές διαταραχές κ.ά).

3.4. Συσχέτιση Ιόντων

Τα υπόγεια νερά έχουν μια ευρεία περιοχή χημικής σύστασης, που οφείλεται: (1) στην προέλευση, (2) τον ρυθμό εμπλουτισμού τους, (3) την

αλληλεπίδραση με ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα και λιθόσφαιρα, (4) τις ανθρώπινες δραστηριότητες και (5) τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Γενικά στα υδατικά συστήματα μεταξύ των ιόντων εμφανίζονται τρία διαφορετικά είδη συσχετίσεων (Douglas & Leo, 1977):

1. Μία ισχυρά ανταγωνιστική σχέση μεταξύ ιόντων που έχουν ίδιο φορτίο, αλλά διαφορετικό σθένος.
2. Μία ισχυρή χημική συγγένεια μεταξύ ιόντων με αντίθετα φορτία και ίδιο σθένος.
3. Μία μη ανταγωνιστική σχέση μεταξύ ιόντων με το ίδιο είδος φορτίου και ίδιο σθένος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

4.1. Το νερό ως γεωλογικός παράγοντας

Το υπόγειο νερό αποτελεί το 0,61% του συνολικού νερού στον πλανήτη μας και είναι ένας σημαντικός γεωλογικός παράγοντας. Οι δύο θεμελιώδεις αιτίες για τον ενεργό ρόλο του υπόγειου νερού είναι:

1. Η ικανότητά του να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον που το περιέχει
2. Η συστηματική χωρική κατανομή της ροής το

Αλληλεπίδραση και ροή συμβαίνουν ταυτόχρονα σε όλες τις κλίμακες του χωροχρόνου, αν και ποικίλλουν σε ρυθμό και ένταση. Έτσι τα αποτελέσματα της ροής του υπόγειου νερού γίνονται ορατά από την επιφάνεια του εδάφους έως τα μεγαλύτερα βάθη και από τη διάρκεια μιας ημέρας μέχρι την κλίμακα του γεωλογικού χρόνου.

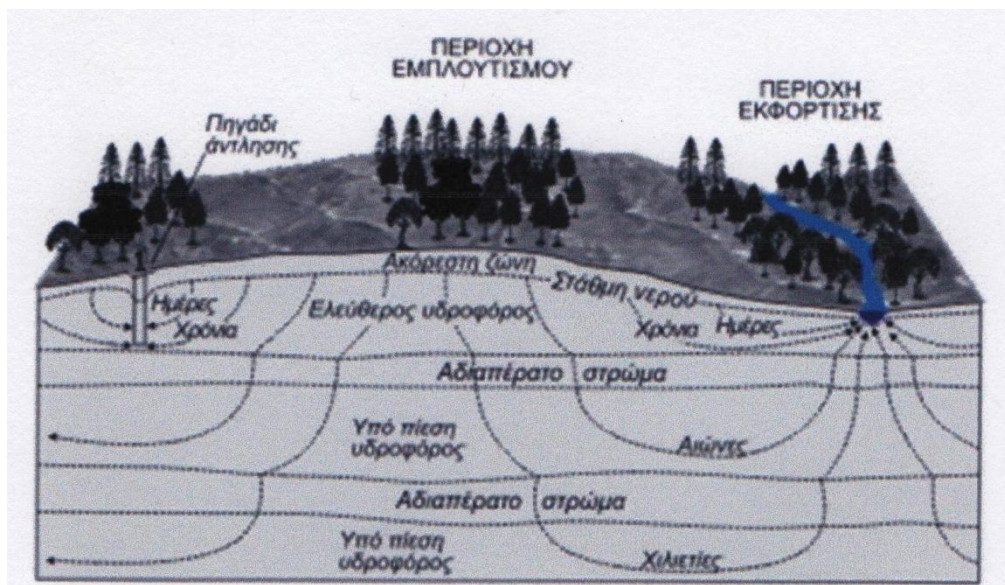
Οι ποικίλες εκδηλώσεις που προκαλούνται από την αλληλεπίδραση υπόγειων νερών και περιβάλλοντος σε μια περιοχή ονομάζονται «επιτόπια περιβαλλοντικά αποτελέσματα του υπόγειου νερού» (in situ environmental effects of groundwater).

4.2. Συστήματα υπόγειας ροής

Ένα **σύστημα υπόγειας ροής** (groundwater flow system) ορίζεται ως μια συνεχής τρισδιάστατη μονάδα υπόγειας ροής με μία περιοχή τροφοδοσίας (εμπλουτισμού) και μία ή περισσότερες περιοχές εκφόρτισης ή εκροής (Toth, 1963).

Εμπλουτισμός συμβαίνει σε περιοχές όπου το νερό της βροχόπτωσης πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους, κινείται στην ακόρεστη ζώνη και εισέρχεται στην κορεσμένη, καθώς και σε περιοχές όπου επιφανειακά στρώματα νερού τροφοδοτούν υπόγεια υδροφόρα στρώματα. **Εκφόρτιση** συμβαίνει σε πηγές, υδρορεύματα, λίμνες, θάλασσα στις παράκτιες περιοχές, καθώς και ως διαπνοή των φυτών, όπου οι ρίζες των φυτών είναι κοντά στη στάθμη του υπόγειου νερού (Σχ. 4.1).

Η σταθερότητα του συστήματος ροής είναι συνάρτηση του βάθους και της θέσης. Οι αλλαγές προσαρμόζονται πιο γρήγορα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους σε συνθήκες ελεύθερης ροής, παρά σε μεγάλα βάθη και υπό πίεση συνθήκες.



Σχήμα 4.1: Περιοχές εμπλουτισμού και εκφόρτισης .

4.3. Αλληλεπίδραση νερού και περιβάλλοντος

Η τάση για ισορροπία σε όλα τα συστήματα στη φύση είναι γενικός κανόνας και συνοδεύεται από πολλές διαδικασίες. Ως συνέπεια της ιδιότητας αυτής το υπόγειο νερό μπορεί (Toth, 1999):

- Να μεταφέρει ύλη και θερμότητα
- Να κινεί και αποθέτει ύλη
- Να παράγει και μεταβάλλει την πίεση του νερού στα πορώδη μέσα
- Να ολισθαίνει ασυνεχείς επιφάνειες.

Οι ανωτέρω δραστηριότητες του υπόγειου νερού παράγουν πολλά επιτόπου αποτελέσματα, η φύση των οποίων εξαρτάται από τις φυσικοχημικές συνθήκες της περιοχής. Σε περιοχές υψηλής χημικής και θερμικής ενέργειας ορुकτά προστίθενται στο νερό με διάλυση, οξείδωση, επίδραση οξέων κ.ά. Αντίθετα σε περιοχές χαμηλής χημικής, θερμικής και κινητικής ενέργειας το νερό τείνει να συγκεντρώνεται και να αφήνει το υπέδαφος εκφορτιζόμενο στην επιφάνεια, στις όχθες ποταμών, στον πυθμένα λιμνών, αποθέτοντας ορुकτή ύλη. Σχετικά υψηλή μηχανική ενέργεια προξενεί

κίνηση του νερού από μια θέση μεταφέροντας διαλυμένα ορυκτά και θερμότητα.

Τυπικά περιβαλλοντικά αποτελέσματα που προέρχονται από την κίνηση του υπόγειου νερού είναι τα κάτωθι:

- Αλλαγή στο υδραυλικό φορτίο κατά τη διεύθυνση ροής, από τις περιοχές εμπλουτισμού προς τις περιοχές εκφόρτισης, που καθορίζεται από τον νόμο του Darcy.
- Σχετικά ξηρές συνθήκες υγρασίας εδάφους και επιφανειακού νερού στις περιοχές εμπλουτισμού και πλεόνασμα νερού στις περιοχές εκφόρτισης.
- Συστηματικές αλλαγές στη φάση των ανιόντων από HCO_3^- σε SO_4^{2-} και σε Cl^- , κατά τη διεύθυνση ροής και το βάθος.
- Ανωμαλίες στη γεωθερμική βαθμίδα σε περιοχές ανοδικής και καθοδικής ροής.
- Χημικά οξειδωτικές συνθήκες κοντά σε περιοχές εμπλουτισμού και αναγωγικές σε περιοχές εκφόρτισης.
- Συσσώρευση των μεταφερομένων μεταλλικών συστατικών ή υδρογονανθράκων και συστατικών ανθρώπινης προέλευσης αρχικά σε περιοχές, όπου το δυναμικό ροής είναι ελάχιστο ή σε περιοχές σύγκλισης της ροής (υδραυλικές παγίδες-hydraulic traps).
- Μηχανικές αστοχίες (διάβρωση, κατολισθήσεις κ.ά.) στις περιοχές εκφόρτισης.
- Αλλαγή στον τύπο και την ποσότητα της βλάστησης, ανάλογα με τις θρεπτικές ουσίες και την υγρασία του εδάφους που επικρατούν σε διάφορα σημεία του συστήματος ροής.
- Έκπλυση του εδάφους και των πετρωμάτων κοντά στην επιφάνεια.
- Αύξηση της περιεκτικότητας αλάτων προς τον τελικό σταθμό του συστήματος ροής στις περιοχές εκφόρτισης.
- Αύξηση της αλατότητας προς τον τελικό σταθμό του συστήματος ροής στις περιοχές εκφόρτισης.

Τα ανωτέρω αναφέρονται σε βαρυντικά συστήματα ροής, αν και παρόμοιες φυσικές συνέπειες μπορεί να παραχθούν από ροές που οφείλονται σε άλλες πηγές ενέργειας, όπως: άνωση, όσμωση, θερμική μεταφορά κ.ά. Ως γνωστόν το νερό είναι νευτώνιο ρευστό με μοναδικές ιδιότητες, όπως: μεγάλη

θερμοχωρητικότητα, μεγάλη διαλυτική ικανότητα, πολικότητα μορίου, ιδιόμορφη διαστολή κ.λπ.

Το νερό διαπερνά το πορώδες τμήμα του ανώτερου φλοιού της γης και μπορεί να φθάσει μέχρι βάθος 15-20 km. Αν και το βάθος ποικίλλει το νερό είναι σε συνεχή κίνηση με πολύ διαφορετικό ρυθμό από 3,6 m/h κοντά στην επιφάνεια έως λιγότερο από $3,6 \cdot 10^{-9}$ m/h σε μεγάλα βάθη.

Διακρίνονται τρεις (3) κύριοι τύποι αλληλεπίδρασης μεταξύ υπόγειων νερών και περιβάλλοντος με πολλές επί μέρους διαδικασίες για καθέναν από αυτούς (Toth, 1999):

- Χημική αλληλεπίδραση
- Φυσική αλληλεπίδραση
- Μεταφορική αλληλεπίδραση

4.3.1. Χημικές διαδικασίες

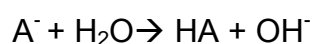
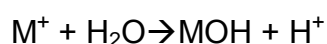
Διάλυση (dissolution) είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές διαδικασίες στη χημεία των υπόγειων νερών και μπορεί να θεωρηθεί το πρώτο βήμα στη χημική εξέλιξη του νερού. Επηρεάζει και τα αέρια και τα στερεά. Τυπικές περιοχές διάλυσης αερίων από υπόγεια νερά είναι η εδαφική ζώνη, η ακόρεστη ζώνη και η ζώνη συσσώρευσης πετρελαίου και αερίων. Αέρια που αλληλεπιδρούν με το υπόγειο νερό είναι: N_2 , O_2 , H_2 , He, Ar, CO_2 , NH_3 , CH_4 και H_2S .

Η διάλυση των αερίων καθιστά το νερό ασθενές όξινο δηλ. χημικά δραστικό. Ο βαθμός διάλυσης εξαρτάται από τη διαλυτότητα των ορυκτών, τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, την ποσότητα του νερού, τις αρχικές συγκεντρώσεις του νερού κ.ά. Τα πλέον διαλυτά πετρώματα είναι: ασβεστόλιθος, γύψος, δολομίτης, αλίτης, συλβίνης και θεωρούνται βασική πηγή των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} στο υπόγειο νερό. Τα πυριτικά και άλλα αδιάλυτα πετρώματα είναι διαλυτά σε κάποιο βαθμό κάτω από ειδικές συνθήκες και απελευθερώνουν δευτερεύοντα ιόντα ή ιχνοστοιχεία στο νερό.

Η διάλυση έχει μεγάλη σημασία στα ασβεστολιθικά πετρώματα, λόγω της μεγάλης εξάπλωσής των και των μορφών που εμφανίζουν (καρστικές μορφές).

Ενυδάτωση (hydration) είναι η είσοδος νερού στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών ή η προσκόλληση μορίων νερού στα ιόντα διαλυμένων αλάτων. Η διεργασία αυτή οδηγεί στη δημιουργία νέων ορυκτών, περισσότερο σύνθετων π.χ αιματίτη σε λειμωνίτη, ανυδρίτη σε γύψο. Παρατηρείται σε θειικά, ανθρακικά και πυριτικά άλατα, καθώς και σε μερικά οξείδια. Παίζει δε σημαντικό ρόλο σαν πρώτο βήμα της αποσάθρωσης των ορυκτών.

Υδρόλυση (hydrolysis) είναι η αντίδραση ενός ιόντος με το νερό με αποτέλεσμα τη δημιουργία OH^- και H^+ , σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Ο βαθμός υδρόλυσης είναι ανάλογος του σθένους (Z) και αντιστρόφως ανάλογος της ακτίνας (r) του ιόντος. Ο λόγος Z/r ονομάζεται **ιοντικό δυναμικό**.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εξαλλοιώσεις των πυριτικών ορυκτών κατά την υδρόλυσή τους (καολινίωση, σερικιτίωση κ.ά). Τα ορυκτά που προκύπτουν εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Τα προϊόντα εξαλλοίωσης στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές είναι πλουσιότερα σε οξείδια και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου, καθώς και σε διοξείδιο του πυριτίου (Τσιραμπίδης, 2002). Η υδρόλυση γίνεται κατά μήκος λεπτών σχισμών του πετρώματος ή παράλληλα με τα επίπεδα σχισμού των κρυστάλλων του ορυκτού.

Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής (oxidation- reduction reactions) είναι χημικές αντιδράσεις στις οποίες μεταφέρονται ηλεκτρόνια από ένα άτομο σε ένα άλλο.

Η οξείδωση επιτυγχάνεται με αποβολή e^- και η αναγωγή με πρόσληψη e^- . Η οξείδωση είναι πιο σημαντική στην ακόρεστη ζώνη, όπου υπάρχει σε αφθονία το οξυγόνο από τον ατμοσφαιρικό αέρα και το διοξείδιο του άνθρακα. Η σημασία της οξείδωσης μειώνεται γρήγορα με το βάθος. Τυπικές και σημαντικές διαδικασίες οξείδωσης είναι η οξείδωση των σουλφιδίων, κατά την οποία παράγονται ιόντα Fe^{3+} και SO_4^{2-} .

Η αναγωγή είναι σημαντική σε οργανικές αποθέσεις, που αποτελούν χημικά αναγωγικά περιβάλλοντα. Στις περιπτώσεις αυτές απομακρύνεται όλο ή μέρος του οξυγόνου από οξείδια, νιτρικά και νιτρώδη. Μπορεί να παραχθούν H_2 , H_2S , CH_4 και άλλοι υδρογονάνθρακες, S_2^- , NO_2^- , NH_4^+ , Fe^{2+} και Mn^{2+} .

Η γύψος ανάγεται από άλλες ουσίες με την επίδραση θειοβακτηρίων για το σχηματισμό θείου, ενώ το ασβέστιο της γύψου σχηματίζει άλας του ασβεστίου. Έτσι δικαιολογείται η παρουσία θείου στο θαλασσινό νερό, που προέρχεται από τη διάσπαση της γύψου.

Η απόθεση διαλυμένης ορυκτής ύλης στο νερό συμβαίνει για πολλούς λόγους, όπως:

- Αντίδραση με ιόντα του υδροφορέα για σχηματισμό αδιάλυτων αποθέσεων (σχηματισμός φθορίτη λόγω της αντίδρασης φθορίου του νερού με πετρώματα πλούσια σε ασβέστιο).
- Αλλαγές στην πίεση και τη θερμοκρασία επηρεάζοντας τη διαλυτότητα των χημικών συστατικών του νερού, όπως η απόθεση ασβεστιτικής τούφας (CaCO_3) γύρω από το στόμιο πηγών που οφείλεται στην απελευθέρωση διαλυμένου CO_2 , λόγω ελάττωσης της πίεσης και η απόθεση SiO_2 από θερμές πηγές, λόγω ελάττωσης της θερμοκρασίας.
- Οξειδωση διαλυμένων υλικών εκτεθειμένων στον ατμοσφαιρικό αέρα, συμβάλλοντας στη μείωση της διαλυτότητας όπως, η απόθεση $\text{Fe}(\text{OH})_3$ από νερά που περιέχουν ιόντα σιδήρου σε διάλυση.

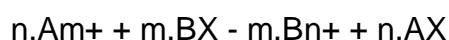
Προσρόφηση είναι η διαδικασία κατά την οποία μια ουσία προσκολλάται στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων ή στη διεπιφάνεια στερεών και νερού. Η έλξη οφείλεται σε ασθενείς δυνάμεις van der Waals. Η ικανότητα προσρόφησης των στερεών σωματιδίων των υδροφορέων αυξάνεται με την ειδική επιφάνεια. Τα σωματίδια της αργίλου, τα αδρομερέστερα σωματίδια με επικάλυψη από οργανικό υλικό και τα οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια. Συνεπώς η ικανότητα προσρόφησης σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά, σε οργανικά υλικά και σε οξειδία και υδροξειδία.

Ιοντοανταλλαγή (ion exchange) είναι η διαδικασία κατά την οποία ανταλλάσσονται ιόντα μεταξύ ρυπαντών και εδάφους, λόγω των αρνητικών επιφανειακών φορτίων που προέρχονται από τη δομή των αργιλοπηριτικών ορυκτών που υπάρχουν στο έδαφος (ηλεκτροστατική προσρόφηση). Οι πλέον σημαντικές ουσίες ικανές για ιοντοανταλλαγή είναι τα αργιλικά ορυκτά όπως: καολίνη, μοντμοριλονίτης, ιλλίτης, χλωρίτης, ζεόλιθοι.

Παράδειγμα ιοντοανταλλαγής είναι η αντικατάσταση Na^+ από Ca^{2+} και/ή Mg^{2+} στον μπεντονίτη, συμβάλλοντας στη φυσική αποσκλήρυνση του νερού.

Γενικά ιόντα με μεγαλύτερο σθένος αντικαθιστούν ιόντα με μικρότερο σθένος ($Al^{3+} > Ca^{2+} > Na^+$). Για τα ιόντα με ίδιο σθένος σημαντικό ρόλο παίζει η ενυδατωμένη ακτίνα (Νικολαΐδης, 2005).

Γενικά αν θεωρήσουμε δύο τυχαία στοιχεία A και B και X αντιστοιχεί στη στερεά φάση, τότε η αντίδραση της κατιοανταλλαγής περιγράφεται από την εξίσωση:



όπου m, n είναι τα σθένη των στοιχείων A και B.

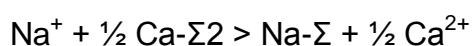
Η σταθερά ισορροπίας της ανωτέρω αντίδρασης ισούται με:

$$K = \frac{[B]^m \cdot [AX]^n}{[A]^n \cdot [BX]^m}$$

όπου [A] είναι η ενεργότητα ή ενεργή συγκέντρωση (effective concentration) της ουσίας A. Η ανωτέρω σταθερά K είναι γνωστή και ως **συντελεστής εκλεκτικότητας** (selectivity coefficient) και χαρακτηρίζει την ικανότητα των ορυκτών να ανταλλάσσουν ιόντα με το υπόγειο νερό.

Ο ρόλος της ιοντοανταλλαγής είναι σημαντικός στη διαμόρφωση της ποιότητας των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφορέων. Το γλυκό νερό είναι κατά κανόνα οξυανθρακικό ασβεστούχο ($Ca^{2+}-HCO_3^-$) και το θαλασσινό χλωριονατριούχο (Na^+-Cl^-).

Όταν διεισδύσει θαλασσινό νερό στην ενδοχώρα λαμβάνει χώρα ιοντοανταλλαγή (Apello & Postma, 1994):



όπου Σ είναι η στερεά φάση στην οποία λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή (ιοντοανταλλάκτης).

Η ιοντοανταλλαγή οδηγεί σε απελευθέρωση Ca^{2+} και δέσμευση του Na^+ . Το υπόγειο νερό μετατρέπεται από Ca- HCO_3 σε Na-Cl υδροχημικό τύπο. Το αντίθετο συμβαίνει κατά τη διάρκεια τεχνητού εμπλουτισμού με γλυκό νερό σε υφάλμυρο υδροφόρο ορίζοντα, όπου μετατρέπεται σε Na- HCO_3 τύπο (freshening). Στους παράκτιους καρστικούς υδροφόρους γίνεται δολομιτίωση (αντικατάσταση Ca^{2+} από Mg^{2+}).

Η προσρόφηση και η ιοντοανταλλαγή είναι δύο σημαντικές διαδικασίες φυσικής απορρύπανσης του υπόγειου νερού, ελέγχοντας την κινητικότητα των

ιόντων και βαρέων μετάλλων στο υπέδαφος (προσρόφηση) και την έκπλυση των κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ από το έδαφος (ιοντοανταλλαγή).

4.3.2. Φυσικές διαδικασίες

Οι φυσικές διαδικασίες συνδέονται με:

- **Ολισθήσεις**. Η παρουσία του υπόγειου νερού ελαττώνει την ενεργό τάση μεταξύ των κόκκων, μειώνει τη διατμητική αντοχή και συνεπώς την ευστάθεια των πρανών. Σαν αποτέλεσμα κινήσεις εδαφικής ύλης μπορεί να προκληθούν κατά μήκος ασυνεχειών με μεγέθη που κυμαίνονται από επανατοποθετήσεις κόκκων μέχρι ολισθήσεις. Η διαδικασία είναι πιο αποτελεσματική σε περιοχές, όπου ευρείες μεταβολές στο ύψος των βροχοπτώσεων προκαλούν μεγάλες διακυμάνσεις στη στάθμη του υπόγειου νερού. Το νερό μειώνει τη συνοχή των γεωλογικών σχηματισμών και το συντελεστή τριβής ανάμεσα στις επαπτόμενες επιφάνειες με αποτέλεσμα τη μείωση της ευστάθειας των πρανών. Τα ανωτέρω σε συνδυασμό με ανθρώπινες παρεμβάσεις (πλημμελής κατασκευή τεχνικών έργων) οδηγούν σε φαινόμενα, όπως: ολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων, καθίζησης, ρευστοποίησης, λασπορροών, ερπυσμούς εδαφών, κατολισθήσεων.

Η διατμητική αντοχή, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.4, είναι αυτή που αντιστέκεται στη θραύση και/ή στην ολίσθηση του εδάφους κατά μήκος μιας επιφάνειας (επίπεδο θραύσης). Τα ανωτέρω μεγέθη συνδέονται με την εξίσωση του Coulomb:

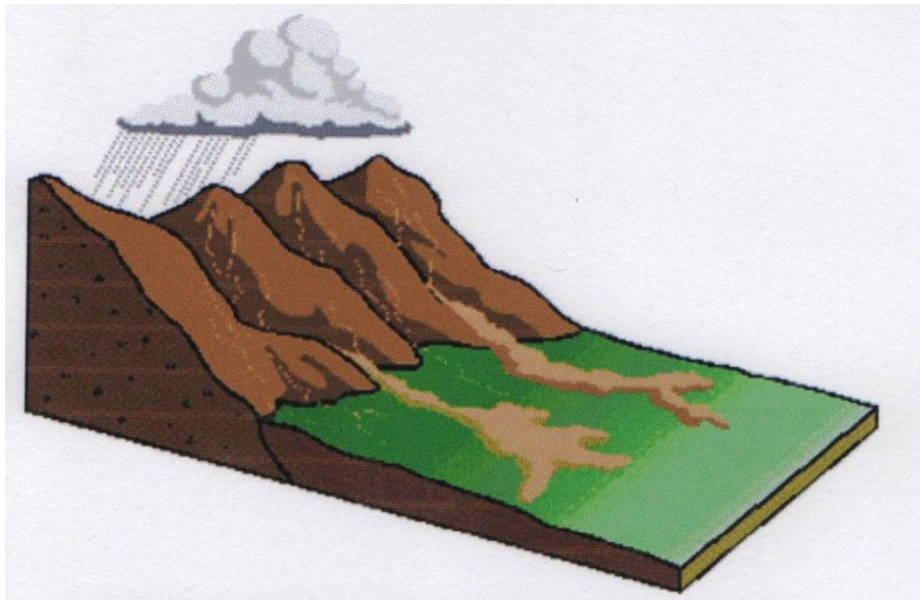
$$\tau = c + (\Sigma - P) \tan \phi$$

όπου: τ η διατμητική αντοχή ανά μονάδα επιφανείας, c η συνοχή ανά μονάδα επιφανείας, Σ η ολική κάθετη τάση στο επίπεδο διάτμησης που οφείλεται στο βάρος των στερεών και υγρών, P η υδροστατική πίεση και ϕ η γωνία τριβής.

Για αδρομερή, μη συνεκτικά εδάφη η συνοχή c είναι μηδενική. Η γωνία τριβής ϕ εξαρτάται από τη σχετική πυκνότητα των εδαφών. Καθώς οι περισσότερες κατολισθήσεις σχετίζονται με την αύξηση της υδροστατικής πίεσης σημαίνει ότι απαιτείται επιφανειακή και υπόγεια αποστράγγιση ή αποχέτευση για την αποτροπή τους.

- **Μεταβολές στην πίεση του νερού των πόρων**. Σχετικά υψηλές ή αυξητικές πιέσεις του νερού των πόρων είναι χαρακτηριστικό στα τμήματα εκφόρτισης των υπόγειων συστημάτων ροής. Μείωση ή αύξηση της πίεσης

του νερού των πόρων (ή πίεσης πόρων, pore pressure) επιδρά στη διαλυτότητα των αερίων, στο βαθμό κορεσμού των αερίων και στην αντοχή και ακεραιότητα του γεωλογικού σχηματισμού. Η αλλαγή της πίεσης του νερού των πόρων στα βαρυτικά συστήματα ροής είναι μια δυναμική διεργασία. Σύμφωνα με τον Terzaghi (1950) αυτές οι αλλαγές οδηγούν στην αύξηση των ενεργών τάσεων στις περιοχές εμπλουτισμού, ενώ μειώνονται στις περιοχές εκφόρτισης. Το αποτέλεσμα είναι η αυξημένη τρωτότητα της επιφάνειας του εδάφους στη διάβρωση, κατολισθήσεις και άλλες μορφές εδαφικής κίνησης σε περιοχές εκφόρτισης (Σχ. 4.2).



Σχήμα 4.2: Εδαφικές κινήσεις λόγω της επίδρασης του νερού .

4.3.3. Μεταφορικές ή κινητικές διαδικασίες

Η **μεταφορά νερού** στα συστήματα ροής είναι η πλέον θεμελιώδης διαδικασία του υπόγειου νερού. Εκτός από τη λειτουργία του ως μέσο μεταφοράς και τον ενεργητικό ρόλο στο υπεδάφιο περιβάλλον, το νερό αποτελεί επίσης μια συνιστώσα αυτού του περιβάλλοντος. Με τη βοήθεια των συστηματικών δρόμων ροής οι υδατικές μάζες κατανέμονται ομοιόμορφα σε ένα βαρυτικό πεδίο ροής και έτσι επηρεάζουν τοπικά, διαφοροποιώντας τις συνθήκες υγρασίας, μεταξύ περιοχών εισροών και περιοχών εκροών. Η διαδικασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως το υπεδάφιο μέρος του υδρολογικού κύκλου και ως εκ τούτου ένα βασικό κλειδί στη γεωγραφική κατανομή των σωμάτων νερού, τα χημικά χαρακτηριστικά τους, τον τύπο και το εύρος των

διακυμάνσεων της στάθμης του υπόγειου νερού και στις πολλές οικολογικές επιπτώσεις που συνδέονται με αυτές τις συνθήκες.

Η **μεταφορά υδατικής και μη υδατικής ύλης** από τα υπόγεια συστήματα ροής είναι σημαντική ανάμεσα στις υπεδάφειες γεωλογικές διαδικασίες. Μια μεγάλη ποικιλία ύλης σε διάφορες μορφές μεταφέρεται από την υπόγεια ροή, περιέχοντας υδατικά διαλύματα οργανικών και ανόργανων ιόντων, ύλη σε κολλοειδή μορφή, αιωρούμενους αδρομερείς κόκκους, αέρια σε φυσαλίδες ή εν διαλύσει, υδρογονάνθρακες, ιούς και βακτήρια. Η σημασία της μεταφοράς των υλικών αυτών από το υπόγειο νερό είναι μεγάλη και συμβάλλει στη μετακίνηση ορυκτών από το έδαφος και τα πετρώματα, στη μεταφορά θρεπτικών συστατικών στα επιφανειακά σώματα νερού, στην απόθεση μεταλλικών και μη μεταλλικών ορυκτών και υδρογονανθράκων. Η ροή του υπόγειου νερού συμπαρασύρει το ευδιάλυτο συνδετικό υλικό των πετρωμάτων, ελαττώνοντας τη συνοχή και την ευστάθεια των πρηνών.

Η **μεταφορά θερμότητας** από την κίνηση του υπόγειου νερού είναι μια από τις πλέον ορατές διαδικασίες. Το νερό μπορεί να περιέχει και έτσι μεταφέρει θερμότητα εξαιτίας της ειδικής ικανότητας θερμότητας. Εάν υπάρχει θερμική διαφορά μεταξύ νερού και γειτονικού περιβάλλοντος, τότε μεταφέρεται θερμότητα προς την κατεύθυνση της χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, που περιλαμβάνουν τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του κορεσμένου μέσου, της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ νερού και περιβάλλοντος και την ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού. Ο μεγαλύτερος ρυθμός ανταλλαγής θερμότητας σχετίζεται με την ταχύτερη μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ νερού και περιβάλλοντος.

4.4. Υδρογεωλογικό περιβάλλον

Υδρογεωλογικό περιβάλλον (hydrogeologic environment) είναι ένα σύστημα γεωλογικών, κλιματικών και μορφολογικών παραμέτρων, που καθορίζουν τα αρχικά χαρακτηριστικά του καθεστώτος του υπόγειου νερού (groundwater regime) σε μια δοσμένη περιοχή.

Οι έξι (6) κύριοι παράμετροι του καθεστώτος του υπόγειου νερού είναι:

1. το περιεχόμενο νερό στα πετρώματα

2. η γεωμετρία του συστήματος ροής
3. η χημική σύσταση του νερού
4. η ειδική παροχή
5. η θερμοκρασία
6. οι μεταβολές όλων των ανωτέρω παραγόντων με τον χρόνο

Οι παράμετροι του καθεστώτος υπόγειου νερού ελέγχονται από τις τρεις συνιστώσες του υδρογεωλογικού περιβάλλοντος: γεωλογία- μορφολογία- κλίμα.

Γεωλογία	Μορφολογία	Κλίμα
Λιθολογικά και στρωματογραφικά χαρακτηριστικά Τεκτονικά στοιχεία (ρηγμάτωση, καρστ, διαρρήξεις κ.λπ.)	Μέγεθος, σχήμα τοπογραφικών εξάρσεων και ταπεινώσεων Γεωμορφικά χαρακτηριστικά	Θερμοκρασία Βροχοπτώσεις Εξάτμιση Υγρασία

Πίνακας 4.1: Παράμετροι που καθορίζουν το καθεστώς του υπόγειου νερού

Το κλίμα καθορίζει τις ποσότητες νερού σε μια περιοχή, καθώς και την κατανομή τους στο χρόνο.

Η μορφολογία καθορίζει την ενεργειακή κατάσταση του νερού για κίνηση.

Η γεωλογία καθορίζει τον ρυθμό ροής, τις ποσότητες νερού που αποθηκεύονται στο υπέδαφος και το χημισμό του νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

5.1. Ρύπανση και Μόλυνση

Η ποιότητα των υπόγειων νερών, καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι εκ των οποίων είναι:

- Η αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων
- Η απόθεση ορυκτών
- Η οργανική ύλη (έκλυση CO₂, αναγωγή οξειδίων Fe, NO₃, SO₄, μεθανογένεση)
- Η παρουσία βλάστησης (πρόσληψη καλίου, φωσφόρου, αερίων από την ατμόσφαιρα)
- Οι παράμετροι του υδρολογικού κύκλου (μεγάλη εξάτμιση στους αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες αυξάνει τη συγκέντρωση αλάτων)
- Αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής
- Ανθρώπινες δραστηριότητες (χρήση φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων στη γεωργία, διάθεση αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος, διαρροές από χωματερές, διαφυγές ρυπαντών κ.ά).

Η καθαρότητα των φυσικών νερών έχει ιδιαίτερη σημασία για το περιβάλλον, μιας και το νερό αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής. Η χρήση του νερού και διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες υποβαθμίζουν ποιοτικά το νερό.

Ρύπανση (pollution) θεωρείται οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού. Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60 της Ε.Ε για την πολιτική των νερών, ρύπανση ορίζεται: η, συνεπεία ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας που μπορούν να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή την ποιότητα των υδατικών οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα, συντελούν στη φθορά υλικής ιδιοκτησίας, ή επηρεάζουν δυσμενώς ή παρεμβαίνουν σε λειτουργίες αναψυχής ή σε λοιπές νόμιμες χρήσεις του

περιβάλλοντος.

Η **μόλυνση** (contamination) περιορίζεται στη ρύπανση εκείνη που αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Η μόλυνση έχει μικροβιακό χαρακτήρα και συνδέεται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ρυπαντής ή ρύπος ή ρυπαντική ουσία είναι κάθε διαλυτή (υδρόφιλη π.χ. ανόργανα άλατα) ή αδιάλυτη (υδρόφοβη, π.χ. υδρογονάνθρακες, PCBs, διαλύτες κ.λπ.) στο νερό, ουσία, η οποία όταν εισάγεται στο περιβάλλον από ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές, που με διάφορους τρόπους καταλήγουν στα νερά είναι:

- 1) Βαρέα μέταλλα (Hg, Pd, Cd κ.ά.)
- 2) Τοξικά στοιχεία και ενώσεις (As, Se, CN⁻ κ.ά.)
- 3) Ανόργανες ενώσεις (NO³⁻, PO₄³⁻, NO²⁻ κ.ά.)
- 4) Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.).
- 5) Ραδιενεργές ουσίες
- 6) Παθογόνοι μικροοργανισμοί (βακτήρια και ιοί)

Ποιοτική υποβάθμιση των νερών συμβαίνει επίσης λόγω θερμικής αλλοίωσης από νερά ψύξης των βιομηχανιών και από υφαλμύριση του γλυκού νερού στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες. (Κουμαντάκης, 1983)

5.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων

Οι κυριότερες φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων είναι:

- Διαλυτότητα

Είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη, σε ορισμένες συνθήκες. Τα ευδιάλυτα μεταφέρονται πιο εύκολα από τα επιφανειακά νερά.

- Πτητικότητα

Είναι η ικανότητα που έχουν τα μόριά τους να διαφεύγουν από την επιφάνεια του υγρού και να μεταβαίνουν στην αέρια φάση.

- Προσροφητικότητα

Εκφράζει την ικανότητα προσρόφησης μιας ουσίας από τα σωματίδια του εδάφους.

- Βαθμός αποσύνθεσης

Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αποσυντεθεί μια ουσία (παρασιτοκτόνο) σε άλλες ενώσεις.

- Συντελεστής κατανομής

Περιγράφει τον τρόπο κατανομής ενός ρύπου μεταξύ δύο μέσων, π.χ. στερεού-υγρού, ατμών-υγρού.

- Πίεση των ατμών

Είναι η πίεση που ασκούν οι ατμοί ενός υγρού, όταν το υγρό βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του και εκφράζεται με το νόμο του Raoult. Η σταθερά Henry (H) συνδέει τη μερική πίεση (P_{μ}) μιας πτητικής ουσίας σε ισορροπία πάνω από διάλυμα, με τη συγκέντρωσή της (C) στο διάλυμα: $P_{\mu} = H \cdot C$ (νόμος Henry). Από αυτήν προκύπτει ότι η διαλυτότητα αερίου εντός υγρού (gr/L) υπό σταθερή θερμοκρασία είναι ανάλογη με την πίεση του αερίου σε ισορροπία με το υγρό.

- Δείκτης βιοσυγκέντρωσης

Εκφράζει την ποσότητα μιας ουσίας που μπορεί να συσσωρευθεί στους υδρόβιους μηχανισμούς.

- Τοξικότητα

Είναι η πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, όταν εκτεθούν στους ρύπους. Η έκθεση γίνεται μέσω της αναπνοής, της διατροφής και της επιδερμίδας.

Η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρα δόση (LD50), που είναι η δόση (mg/kg σωματικού βάρους) στην οποία επιβιώνει μόνο το 50% των οργανισμών που εκτίθενται σε αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν η έκθεση γίνεται με την αναπνοή, η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρο συγκέντρωση (LC50), που είναι η συγκέντρωση του ρύπου σε ορισμένο όγκο αέρα που εισπνέεται, στην οποία επιβιώνει μόνο το 50% των οργανισμών.

Τοξικοί ρύποι στα επιφανειακά νερά είναι: βαρέα μέταλλα (Hg, Cd, Pb, Cr κ.ά), οργανικές ενώσεις (παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, απορρυπαντικά, πολυχλωριωμένα διφαινύλια PCBs, διοξίνες), τοξικά αέρια (Cl_2 , NH_3), τοξικά ανιόντα (CN^-), οξέα και αλκάλια.

Οι ρύποι εισάγονται στον οργανισμό μέσω της πεπτικής οδού, με την αναπνοή και μέσω του δέρματος. Συσσωρεύονται κυρίως στο λίπος (PCBs), τα οστά (Pb, F), τα νεφρά (Cd) και το πλάσμα του αίματος. (Χριστούλας, 1991)

5.3. Πηγές ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης ταξινομούνται ανάλογα με:

(α) Γεωμετρία

- Σημειακές, όταν προέρχονται από μια μοναδική θέση (ΧΥΤΑ, χωματερές, βόθροι, υπόγειες δεξαμενές)
- Γραμμικές, όταν οι πηγές ή οι αιτίες της ρύπανσης παρουσιάζουν μία επικρατέστερη γραμμική διάταξη (δρόμοι, αύλακες)
- Διάχυτες, όταν η πηγή ρύπανσης κατέχει μία εκτεταμένη περιοχή (νιτρορρύπανση, όξινη βροχή)

(β) Ρυθμός εκπομπής

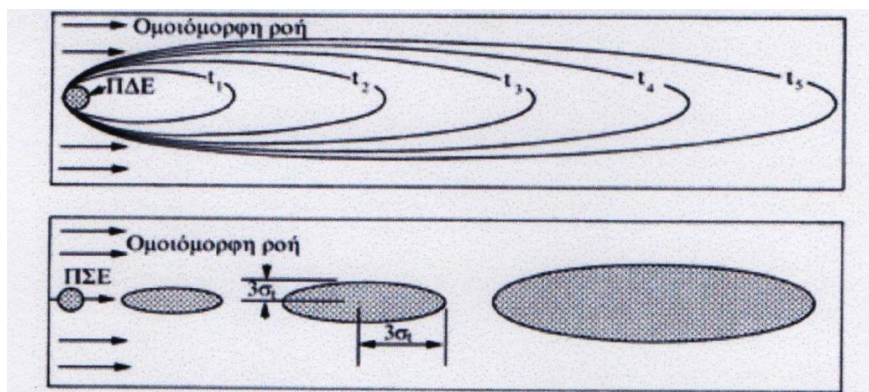
- συνεχούς εκπομπής
- στιγμιαίας εκπομπής

Οι περισσότερες πηγές ρύπανσης του γεωπεριβάλλοντος δηλ. του εδάφους και των υπόγειων νερών, προέρχονται από τις κάτωθι δραστηριότητες:

1. Απόρριψη υγρών και στερεών αποβλήτων (οικιακά και δημόσια λύματα, περιλαμβάνουν τα υγρά και τα στερεά απόβλητα των οικισμών και πόλεων και τα υπολείμματα αποπαγοποίησης των οδοστρωμάτων, σκουπίδια κ.ά.)
2. Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων (περιλαμβάνουν τα οργανικά απόβλητα, τα απόβλητα από επεξεργασία τροφίμων, σκουπιδιών, παλιών αντικειμένων, κ.α)
3. Χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων
4. Προϊόντα μεταλλευτικής δραστηριότητας (περιλαμβάνουν τα απόβλητα που προέρχονται από μεταλλευτικές βιομηχανίες, εξόρυξη μεταλλευμάτων, εξόρυξη και διύλιση πετρελαίου, χημικές βιομηχανίες και άλλες δραστηριότητες)
5. Διάθεση πυρηνικών αποβλήτων

Στις περιπτώσεις που η ρύπανση των υπόγειων νερών οφείλεται σε φυσικά αίτια, αυτό αποδίδεται: στην επίδραση ευδιάλυτων πετρωμάτων (γύψος, ορυκτό αλάτι κ.ά), στην έντονη εξάτμιση, που προκαλεί ανύψωση του υπόγειου νερού και απόθεση αλάτων, στην οξείδωση των πετρωμάτων και στη διείσδυση της θάλασσας.

Το γεωμετρικό σχήμα της ρύπανσης ονομάζεται **πλούμιο** ή θύσανος (plume). Στο Σχ. 5.1 φαίνεται το πλούμιο από μια σημειακή πηγή ρύπανσης.



Σχήμα 5.1: Πλούμιο ρύπανσης σε ισότροπο υδροφόρο από σημειακή πηγή συνεχούς (επάνω) και στιγμιαίας (κάτω) εκπομπής ρυπαντή (Καλλέργης 2000).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια του εδάφους, έχουν ως αποτέλεσμα τη τεχνητή υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού. Με τη πάροδο του χρόνου και εξαιτίας της αύξησης των ρυπογόνων αυτών δραστηριοτήτων η μόλυνση επεκτείνεται εκτός από τα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά, όπου είναι και πιο δύσκολος ο εντοπισμός και η αντιμετώπιση της. Η μόλυνση αποτελεί απαγορευτικό παράγοντα για τη χρήση του νερού, εξαιτίας των κινδύνων που προκαλεί στη δημόσια υγεία, μέσω της τοξικότητας ή της μετάδοσης ασθενειών.

Οι πηγές και οι αιτίες της ρύπανσης των υπόγειων νερών συνδέονται στενά με τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης προέρχεται από την απόρριψη των αποβλήτων πάνω ή μέσα στο έδαφος. Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι απόρριψης των αποβλήτων είναι η τοποθέτησή τους:

- σε λεκάνες διήθησης
- στην επιφάνεια του εδάφους
- σε ορύγματα και τάφρους διήθησης
- σε ξερά υδατορεύματα

- σε σκουπιδοτόπους
- σε αβαθείς γεωτρήσεις απόρριψης
- σε αβαθείς γεωτρήσεις έκχυσης

Οι πηγές ρύπανσης, ανάλογα με το χρονικό διάστημα που προκαλούν υποβάθμιση της ποιότητας των νερών, διακρίνονται σε ενεργές και πιθανές.

Ενεργές είναι αυτές οι δραστηριότητες που προκαλούν αναπόφευκτη τη ρύπανση των υπόγειων νερών, όπως ο διασκορπισμός χλωριούχου νατρίου, ουρίας και ευδιάλυτων οργανικών και ανόργανων λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων σε αγροτικές καλλιέργειες.

Πιθανές είναι οι πηγές ρύπανσης που ανφέρονται δραστηριότητες όπου η διαρροή και η ρύπανση θα συμβούν κάτω από απρόβλεπτες συνθήκες. Τέτοιες είναι:

- εγκαταστάσεις αποθήκευσης υδρογονανθράκων και πετροχημικών προϊόντων, καθώς και εγκαταστάσεις διύλισης και συστήματα διανομής.
- εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διανομής υγρών και στερεών τοξικών ενώσεων, στους χώρους τόσο παραγωγής όσο και χρήσης.
- εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων.
- μεταλλευτικές εγκαταστάσεις

Η ρύπανση του επιφανειακού νερού συνδυαζόμενη και με την υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου νερού μεγιστοποιεί το πρόβλημα έλλειψης καθαρού (μη μολυσμένου νερού). Συνοπτικά παρακάτω αναφέρονται οι αιτίες υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού.

➤ Ανάπτυξη, χρήση και επαναχρησιμοποίηση νερού:

- επιστροφές από νερό άρδευσης
- Επιφανειακή στράγγιση
- Διήθηση
- Επικοινωνία υδροφόρων, λόγω κακής κατασκευής ή εγκατάλειψης γεώτρησης
- Εξάντληση υδροφόρων, λόγω υπεράντλησης
- Διείσδυση της θάλασσας
- Άνοδος νεαρού ή συγγενετικού νερού λόγω υπεράντλησης
- Μόλυνση από επιφανειακά νερά λόγω κακής κατασκευής γεωτρήσεων

- Φυσικές αιτίες : Εισροές ή διηθήσεις μεταλλικών νερών από πηγές ή από υδατορεύματα
- Άλλες αιτίες :
 - Επιταχυνόμενη διάβρωση
 - Διαπνοή των φυτών και έντονη εξάτμιση (Σούλιος, 1996 & 2004)

Αναλυτικά οι κυριότερες πηγές ρύπανσης περιγράφονται παρακάτω.

5.3.1. Αστικές πηγές ρύπανσης

Μία από τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι τα στερεά και υγρά απόβλητα των οικιακών και εμπορικών δραστηριοτήτων των πόλεων και οικισμών.

Στερεά απόβλητα: αποτελούνται από τρόφιμα, χαρτί, γυαλί, πλαστικά, φυτικές ύλες, υφάσματα, ξύλο, ελαστικά κ.ά. Πιθανόν πολλές φορές να περιέχουν και μικρές ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων, όπως: χρώματα, ορυκτέλαια, απορρυπαντικά κ.λπ. Σε πολλές χώρες, λόγω εφαρμογής προγραμμάτων ανακύκλωσης σε χαρτί, μέταλλα, γυαλί τα απορρίμματα περιέχουν μικρές ποσότητες των υλικών αυτών. Τα απορρίμματα περιέχουν και ποσότητα νερού, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 25-60%. Τα στραγγίσματα ή διασταλάζοντα (leachates) από χώρους διάθεσης ή ταφής στερεών αποβλήτων είναι πλούσια σε ενώσεις του αζώτου, χλωριόντα, μόλυβδο, σίδηρο κ.ά. και μπορεί να αποτελέσουν σημαντική αιτία ρύπανσης και μόλυνσης των υπόγειων νερών .

Η χρησιμοποίηση των φυσικών πόρων του πλανήτη μας από τους ανθρώπους και τα ζώα δημιουργεί άχρηστα στερεά κατάλοιπα, τα οποία αποτελούν τα απορρίμματα.

Η παραγωγή των απορριμμάτων αυξάνει αναλογικά με την αύξηση των καταναλωτικών αγαθών. Έχει υπολογιστεί ότι στη βόρεια Αμερική αντιστοιχούν καθημερινά 3 κιλά στερεών σκουπιδιών ανά κάτοικο. Στην Απτική υπολογίζεται ότι κατά μέσο όρο 1,14 κιλά καθημερινά ανά κάτοικο, ενώ ο ρυθμός αύξησης των παραγόμενων απορριμμάτων εκτιμάται σε 0,8% - 1%. Στην Ελλάδα παράγονται ετησίως 3,1 εκατομμύρια τόνοι σκουπιδιών, συνολικού όγκου 17,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Ο συνολικός αριθμός των χώρων απόρριψης είναι περίπου 5000. (Μαρκαντωνάτος,1990)

ΧΩΡΑ	ΒΑΡΟΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ
Αυστρία	620
Βρετανία	348
Γερμανία	350
Ισπανία	322
Λουξεμβούργο	445
Πορτογαλία	257
Σουηδία	374
Φιλανδία	624
Βέλγιο	342
Γαλλία	360
Ελλάδα	296
Ιταλία	348
Ολλανδία	497

Πίνακας 5.1: Ετήσια παραγωγή οικιακών απορριμμάτων, το 1990, σε kg/κάτοικο στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η σύνθεση των οικιακών απορριμμάτων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΥΛΙΚΟ	ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ %	
	Ελλάδα	ΕΕ
Ζυμώσιμα οργανικά	49	25-42,1
Χαρτί	20	22,3-51
Γυαλί (φιάλες , βάζα)	4,5	3-10,4
Μέταλλα	4,5	2-8
Αδρανή (κεραμικά , πέτρες, πορσελάνη , στάχτη)	3	0,5-4,6
Πλαστικά (φιάλες νερού, σακούλες , αφρώδη)	8,5	3,6-10,3
Ύφασμα - ξύλο - λάστιχα- δέρμα	5	2-4
Υπόλοιπα (πάνες μωρών κ.α)	5,5	3-26,1

Πίνακας 5.2: Ενδεικτική σύνθεση οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα και στις χώρες της Ε.Ε

Η απόθεση των στερεών αποβλήτων (απορρίμματα) πρέπει να γίνεται σε ειδικούς χώρους (σκουπιδότοπους) οι οποίοι ανάλογα με τις τεχνικές που εφαρμόζονται διακρίνονται σε :

- Απλούς : Όπου τα σκουπίδια αποτίθενται σε σωρούς χωρίς καμία άλλη ενέργεια.
- Χώρους υγειονομικής ταφής : Είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των φυσικών μέσων που χρησιμοποιούνται για την απόθεση των απορριμμάτων στο έδαφος με ταυτόχρονη μείωση του όγκου των απορριμμάτων με συμπίεση και κάλυψη των ποσοτήτων που προστίθενται καθημερινά με εδαφικά υλικά. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει δοθεί η χρησιμοποίηση τέτοιων χώρων, όπου ο σχεδιασμός γίνεται μετά από μελέτη τόσο του υπεδάφους, όσο και των υδρογεωλογικών συνθηκών.

Οι χωματερές ανάλογα με τα κριτήρια επιλογής τους διακρίνονται στις πιο κάτω κατηγορίες:

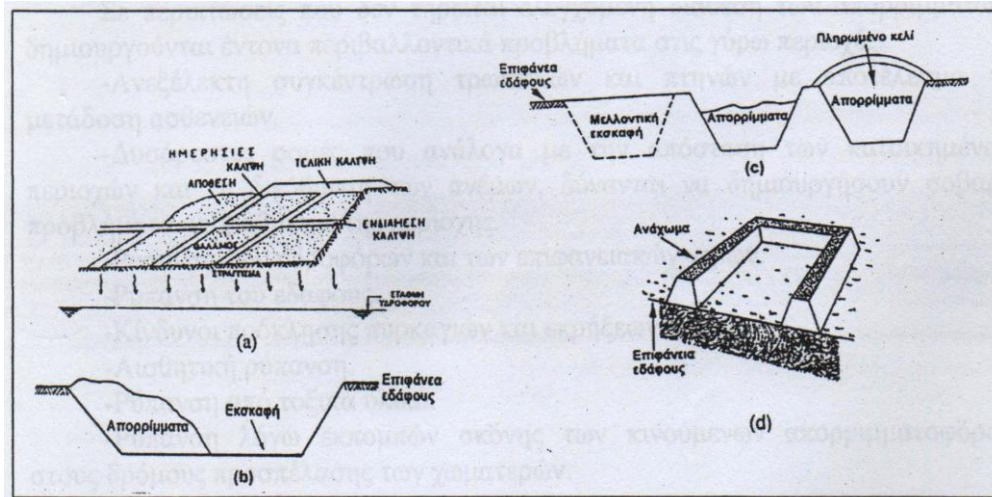
A) Από γεωλογικής και υδρογεωλογικής άποψης:

- Χωματερή φυσικής εξασθένησης της ρύπανσης ή φυσικά ελεγχόμενη (η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εναπόκειται στις φυσικές διεργασίες)
- Επενδεδυμένη ή τεχνικά διαμορφωμένη ή χωματερή τύπου φακέλου (επενδύεται η υπόβαση με φυσικούς ή τεχνητούς φραγμούς, ώστε να ελέγχεται και να συλλέγεται το στράγγισμα).
- Χωματερή κορεσμένης ζώνης (κατασκευάζονται στην ζώνη κορεσμού, όταν το πάχος της ακόρεστης ζώνης είναι πολύ μικρό).

B) Επιφανειακές χωματερές

- Χωματερή ανοικτής εκσκαφής
- Χωματερή τύπου κελιού ή ορύγματος (η εκσκαφή ανοίγεται προοδευτικά ανά κελί ή ανά όρυγμα)
- Επιφανειακή χωματερή ή ανάχωμα
- Χωματερή τύπου ράμπας

- Χωματερή τύπου χαράδρας ή φυσικής – τεχνητής ταπείνωσης (χρησιμοποίηση χαράδρων, παλιών δανειοθαλάμων, παλιών λατομείων κ.α. με σοβαρές όμως περιβαλλοντικές επιπτώσεις)



Σχήμα 5.2: Κατακόρυφη τομή χωματερής (α): χωματερή ανοικτής εκσκαφής, (β): χωματερή ορύγματος / κελιού, (c),(d): επιφανειακή χωματερή αναχώματος.

Γ) Υπόγειες χωματερές

➤ Ανάλογα με τη φύση των απορριμμάτων:

- Κατηγορία 1: (τα τοξικά βιομηχανικά απόβλητα που είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία πρέπει να θάβονται σε περιοχές με ελάχιστο πάχος 15 μέτρα στεγανών υλικών πάνω από τον υδροφόρο και κοντινότερης απόστασης από το έργο υδρομάστευσης 2 χιλιομέτρα).
- Κατηγορία 2 : (τα αστικά απορρίμματα προτείνεται να θάβονται πάνω σε στεγανοποιημένο έδαφος και να επικαλύπτονται καθημερινά με στεγανό έδαφος).

➤ Ανάλογα με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις:

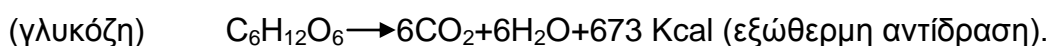
- α) Χωματερή τύπου αντιδραστήρα
- β) Χωματερή τελικής αποθήκευσης
- Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)
- Χωματερές απορριμμάτων διαλογής (υποδέχονται τα στερεά απόβλητα που έχουν προέρθει από διαλογή –μπάζα-, μη συμπεριλαμβανομένων οργανικών υλικών.

Σε περιπτώσεις που δεν τηρείται ελεγχόμενη διάθεση των απορριμμάτων, δημιουργούνται έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα στις γύρω περιοχές:

- Ανεξέλεγκτη συγκέντρωση τρωκτικών και πτηνών με αποτέλεσμα τη μετάδοση ασθενειών.
- Δυσάρεστες οσμές που ανάλογα με την απόσταση των κατοικημένων περιοχών και τη διεύθυνση των ανέμων, δύναται να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα υποβάθμισης της περιοχής.
- Ρύπανση των υδροφόρων και των επιφανειακών νερών.
- Ρύπανση του εδάφους.
- Κίνδυνοι πρόκλησης πυρκαγιών και εκρήξεων.
- Αισθητική ρύπανση.
- Ρύπανση από τοξικά υλικά.
- Ρύπανση λόγω εκπομπών σκόνης των κινούμενων απορριμματοφόρων στους δρόμους προσπέλασης των χωματερών.

Τα αστικά απόβλητα περιέχουν σε μεγάλη αναλογία εύσηπτα υλικά, που υπόκεινται σε βιοαποσύνθεση, στην αρχή κάτω από αεροβικές και στη συνέχεια κάτω από αναεροβικές συνθήκες. Η όλη διεργασία συνοδεύεται από αύξηση της θερμοκρασίας της μάζας των απορριμμάτων και παραγωγή CO₂ και CH₄. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ο κυριότερος παράγοντας καταστροφής των παθογόνων μικροοργανισμών που βρίσκονται στον όγκο των απορριμμάτων και μέσω των παραγόμενων υγρών μπορούν να περάσουν στα υπόγεια νερά.

Η ενέργεια για την αύξηση της θερμοκρασίας προέρχεται από την αεροβική ζύμωση π.χ.:



Για κλιματολογικές συνθήκες αντίστοιχες με της Ελλάδας, οι μέγιστες συνθήκες θερμοκρασίας που αναπτύσσονται είναι περίπου στους 60⁰C.

Κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης, παράγεται ένα υγρό “έκκριμα”, που αυξάνεται σε όγκο με την έκπλυση των απορριμμάτων και την ανάμιξη του με το νερό βροχής. Το υγρό αυτό που παράγεται από τους σκουπιδότοπους μπορεί να περάσει εύκολα στα υπόγεια νερά, όταν ο χώρος επικοινωνεί με τον υδροφόρο ορίζοντα (π.χ. παρουσία υδροπερατών πετρωμάτων στη βάση του σκουπιδότοπου).

Η ποσότητα του “εκκρίματος” που παράγει κάθε σκουπιδότοπος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων της περιοχής, την υδραυλική

αγωγιμότητα του εδάφους που χρησιμοποιείται για κάλυψη, την εξάτμιση και άλλα.

Τα περισσότερα στερεά απόβλητα όταν μεταφέρονται στους χώρους απόθεσης, έχουν μικρότερο ποσοστό υγρασίας από αυτό που μπορούν να συγκρατήσουν,

Έτσι δεν αρχίζει αμέσως η παραγωγή εκκρίματος αλλά υπολογίζεται ότι απαιτούνται 70 – 120mm κατείσδυσης ανά μέτρο πάχους απορριμμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση παραγωγής εκκρίματος μέχρι να κορεστούν τα απορρίμματα σε υγρασία.

Στις ξηρές περιοχές το πρόβλημα δεν είναι τόσο έντονο αφού το παραγόμενο έκκριμα είναι μικρό και η διήθηση του προς τα υπόγεια νερά επιβραδύνεται σημαντικά όταν υπάρχουν σχετικά στεγανά υλικά στη βάση του σκουπιδότοπου.

Στις περισσότερες υγρές περιοχές το πρόβλημα ελαχιστοποιείται με σωστό σχεδιασμό και εφαρμογή τεχνικών που παρεμποδίζουν τη διήθηση του εκκρίματος. Μια συνηθισμένη πρακτική είναι ο αποκλεισμός της επαφής των νερών της βροχής με τα απορριπτόμενα υλικά, με κάλυψη τους με έδαφος.

Η χημική σύσταση του “εκκρίματος” εξαρτάται από τη φύση των απορριμμάτων, την ηλικία του χώρου απόθεσης, τις κλιματολογικές συνθήκες κ.α. Για υγρά – θερμά κλίματα εκτιμάται ότι απαιτείται διάστημα 5-10 χρόνων για παραγωγή σταθερών, σημαντικών ποσοτήτων εκκρίματος.

Γενικά τα εκκρίματα περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικού άνθρακα που σε ποσοστό 80% ή και μεγαλύτερο βρίσκεται σε μορφή πτητικών λιπαρών οξέων (χαρακτηριστική οσμή). Με την πάροδο του χρόνου οι ενώσεις αυτές μετατρέπονται σε ενώσεις μεγαλύτερου μοριακού βάρους, κυρίως σε υδρογονάνθρακες.

Επίσης περιέχονται μεγάλες ποσότητες ανόργανων συστατικών που αυξάνουν κατά πολύ το TDS του εκκρίματος. Η μεγάλη σκληρότητα οφείλεται κυρίως στο CO_2 που παράγεται από την βιοαποσύνθεση που στα νερά σχηματίζει H_2CO_3 που ευνοεί τη διάλυση Ca (από τα περιβάλλοντα).

Οι οργανικές ενώσεις προέρχονται κυρίως από αποσύνθεση πλαστικών και άλλων βιομηχανικών ουσιών που υπάρχουν στα απόβλητα. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις όπου ανιχνεύθηκαν περισσότερες από 40 οργανικές ενώσεις σε νερό υδροφόρου, που είχε ρυπανθεί από σκουπιδότοπο.

Οι συγκεντρώσεις θεικών, χλωριδίων και αμμωνίας φυσιολογικά είναι υψηλές και φτάνουν σε τιμές αιχμής 1- 2 χρόνια μετά την απόθεση, ενώ μετά από μερικές δεκαετίες μειώνονται ακανόνιστα, συχνά με εποχιακές διακυμάνσεις που σχετίζονται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας και το βαθμό κατείσδυσης. (Σκορδίλης, 1993)

Συστατικό	Συγκέντρωση mg/lt
K ⁺	200-1000
Na ⁺	200-1200
Ca ²⁺	100-3000
Mg ²⁺	100-1500
Cl ⁻	300-3000
SO ²⁻	10-1000
Ολικός Fe	1-1000
Mn	0,01-100
Cu	<10
Ni	0,01-1
Zn	0,1-100
Pb	<5
Hg	<0,2
NO ₃ ⁻	0,1-10
NH ₄ ⁻	10-1000
P(σαν PO ₄)	1-100
Οργανικό N	10-1000
Ολικός διαλυμένος οργανικός C	200-30000
COD χημικά απαιτούμενο οξυγόνο	1000-90000
BOD βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο	21000-30000
TDS	5000-40000
PH	4-8
Σκληρότητα	200-7600(mg/l CaCO ₃)
Αλκαλικότητα	500-10000(mg/l CaCO ₃)

Πίνακας 5.3: Συνηθισμένες συγκεντρώσεις διάφορων συστατικών εκκρίματος από χώρους υγειονομικής ταφής.

Τοπικά μέσα στα απόβλητα μπορεί να εμφανιστεί διαλυτοποίηση μετάλλων, πολλά όμως από αυτά προσροφώνται στο οργανικό υλικό ή καθιζάνουν σαν θειικές ενώσεις και ακινητοποιούνται.

Τα εμπορικά απόβλητα έχουν συνήθως παρόμοια σύσταση με τα οικιακά. Μπορεί όμως να περιέχουν ακόμη και ποσότητες πετρελαίου και άλλων υδρογονανθράκων. Πολλά από αυτά εκρέουν χωρίς να έχουν υποστεί αποσύνθεση.

Όταν στους ίδιους χώρους αποτίθενται και βιομηχανικά απόβλητα, κυρίως χημικές ουσίες χωρίς επεξεργασία ή συσκευασία σε στεγανά δοχεία, προστίθενται στο έκκριμα ποσότητες βαρέων μετάλλων, παρασιτοκτόνων, κυανιούχων, κ.α. τοξικών ουσιών, που επιβαρύνουν ακόμα περισσότερο το έκκριμα.

Οι Qasim και Burchical έδειξαν ότι “βαθείς” χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, παράγουν έκκριμα με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις BOD(βιολογικά διασπούμενου οξυγόνου), αμμωνιακού και οργανικού αζώτου, χλωρικών αλάτων, σιδήρου και μαγνησίου από αντίστοιχους “ρήχους” χώρους. Γενικά οι συγκεντρώσεις των ρύπων ανά μονάδα βάρους ταφής, μειώνονται με την αύξηση του βάθους. Η πρακτική της κάλυψης με αδιαπέρατο ή ημιπερατό υλικό μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση της σταθεροποίησης του εκκρίματος εξαιτίας της ελάττωσης του ρυθμού βιοαποσύνθεσης. Έτσι αυξάνεται ο χρόνος αποκατάστασης του χώρου ταφής.

Ο ρυθμός παραγωγής εκκρίματος επηρεάζεται και από τον τρόπο απόθεσης των αποβλήτων. Απόθεση απορριμμάτων με τη μορφή σφαίρας μεγάλης πυκνότητας δημιουργεί έκκριμα με σημαντικά χαμηλότερες περιεκτικότητες σε BOD, διαλυμένα στερεά, νιτρικά και θειικά άλατα, σε σχέση με το έκκριμα που παράγεται από χαλαρά συσσωρευμένα όσο και απόσυμπιεσμένα απορρίμματα είναι σχετικοί για TOC, TDS και σίδηρο, με μόνη διαφοροποίηση στα 2 πρώτα χρόνια έκκρισης, που οι ρυθμοί των χαλαρών είναι διπλάσιοι.

Γενικά οι σκουπιδοτόποι αποτελούν πολύ σοβαρό κίνδυνο για τα υπόγεια νερά, όταν δεν λαμβάνονται τα απαιτούμενα μέτρα. Το πρόβλημα

δημιουργείται τόσο από τα διαλυμένα στο έκκριμα συστατικά, όσο και από τις υψηλές τιμές BOD, υποβαθμίζοντας την ποιότητα του υπόγειου νερού, τόσο της κορεσμένης, όσο και της ακόρεστης ζώνης πάνω από τις οποίες έχουν αποτεθεί.

Οικιακά λύματα (domestic sewage): ονομάζονται γενικά τα υγρά απόβλητα των κατοικιών, ιδρυμάτων ή άλλων εγκαταστάσεων μιας περιοχής, που είναι συνδεδεμένες με τις λειτουργίες της πόλης (ζαχαροπλαστεία, μαγειρεία, πλυντήρια). Αποτελούνται κατά μεγάλο ποσοστό από νερό, που περιέχει οργανικά και ανόργανα προϊόντα. Η δυσάρεστη οσμή τους οφείλεται στο οργανικό υλικό που υφίσταται αναερόβια βακτηριακή δράση. Το χρώμα των αποβλήτων είναι ενδεικτικό της ηλικίας και της προέλευσής τους. Τα οργανικά υλικά στα λύματα είναι συνήθως: χαρτιά, ούρα, κόπρανα, σαπούνια, απορρυπαντικά, υπολείμματα τροφών, έλαια, λίπη. Τα ανόργανα συστατικά είναι: αμμωνία, άλατα του αμμωνίου, άργιλος κ.ά. Η ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και από χώρα σε χώρα. Η μέση ημερήσια παραγόμενη ποσότητα κυμαίνεται από 150-500 L/άτομο.

Η διάθεση λυμάτων στους αποδέκτες δημιουργεί έντονα προβλήματα ρύπανσης, όπως: ευτροφισμό, ρύπανση υπόγειων υδροφορέων, ελάτπωση της ικανότητας αυτοκαθαρισμού των νερών, καταστροφή των βιοκοινωνιών τους κ.ά. Επειδή στη σύγχρονη κοινωνία η κατανάλωση νερού έχει αυξηθεί κατά πολύ οι μικροοργανισμοί που ζουν στη θάλασσα (αποδομητές) δεν προλαβαίνουν να διασπάσουν τις μεγάλες ποσότητες οικιακών λυμάτων που καταλήγουν εκεί. Μερικές φορές μάλιστα δεν μπορούν να διασπάσουν κάποιες ενώσεις, όπως π.χ. χρώματα, απορρυπαντικά, κ.λπ.

Σε μικρούς οικισμούς οι σηπτικές δεξαμενές και οι απορροφητικοί βόθροι είναι οι πιο κοινοί τρόποι διάθεσης των οικιακών λυμάτων. Η συλλογική συγκέντρωση των λυμάτων και η μεταφορά τους σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού έχει σαν σκοπό την κατάλληλη επεξεργασία-καθαρισμό των λυμάτων για να επαναχρησιμοποιηθούν ή να διατεθούν ακίνδυνα σ' ένα υδατικό αποδέκτη ή στο έδαφος απαλλαγμένα από τα βλαβερά συστατικά. Ως "βλαβερά" συστατικά των λυμάτων θεωρούνται:

- α) τα αιωρούμενα στερεά
- β) τα οργανικά συστατικά

γ) οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φωσφόρος)

Ο βαθμός καθαρισμού μιας εγκατάστασης καθορίζεται από το ποια από τα προαναφερθέντα "βλαβερά" συστατικά απομακρύνει. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα συστατικά απομακρύνονται σχεδόν πάντα, οπότε ο καθαρισμός χαρακτηρίζεται πρωτοβάθμιος. Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός (βιολογικός) αποσκοπεί στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των παθογόνων μικροοργανισμών.

Τα αστικά λύματα επιβαρύνουν τους υδατικούς πόρους με βιοαποικοδομήσιμα υλικά και με θρεπτικά συστατικά που προκαλούν ευτροφίες. Πολλές λίμνες και κλειστοί κόλποι παρουσιάζουν προβλήματα ευτροφισμού με σημαντικές μεταβολές στο οικοσύστημά τους. Ο τριτοβάθμιος καθαρισμός αποσκοπεί στην απομάκρυνση με χημικούς τρόπους και των θρεπτικών στοιχείων (P, N), τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του ευτροφισμού.

Η ποιότητα των λυμάτων, άρα και το δυναμικό της ρύπανση, εξαρτώνται από το βαθμό επεξεργασίας που έχουν υποστεί.

Οι εκπομπές λυμάτων ή αποβλήτων είναι γνωστές σαν φυσικές ή ακατέργαστες, όταν δεν έχουν υποστεί καμία επεξεργασία και ως πρωτογενείς, όταν η επεξεργασία τους είναι πρωτογενής, (απομάκρυνση επιπλέοντων και αιωρούντων με καθίζηση και συγκράτηση σε λεκάνες). Δευτερογενείς ονομάζονται όταν εκτός από την πρωτογενή επεξεργασία έχουν υποστεί και δευτερογενή, (βιολογική επεξεργασία με τη βοήθεια βακτηρίων για τη διάσπαση αιωρούμενων οργανικών ενώσεων, η οποία γίνεται με αερισμό ή με χρησιμοποίηση αμμοφίλων ή χαλικοφίλων). Τριτογενείς ονομάζονται όταν πέρα από τις προηγούμενες επεξεργασίες έχουν υποστεί και τριτογενή επεξεργασία (σύνολο φυσικών, χημικών και βιομηχανικών διεργασιών, καθίζηση φωσφορικών, διάσπαση αμμωνίας, απαζώτωση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, χλωρίωση κ.λ.π.)

Οι πρωτογενείς και η δευτερογενείς επεξεργασίες απομακρύνουν το 40 – 50% των οργανικών ενώσεων, δηλαδή του συνολικού BOD κατά 80 – 90%. Τα δευτερογενή όμως απόβλητα εξακολουθούν να περιέχουν πάνω από το μισό των αζωτούχων και των ενώσεων φωσφόρου, που περιέχονται στα ακατέργαστα απόβλητα.

Οι δευτερογενείς εκπομπές αποβλήτων, αν δεν απολυμανθούν, περιέχουν πολυάριθμους παθογόνους μικροοργανισμούς (βακτήρια, ιούς, πρωτόζωα, παράσιτα).

Στις βιομηχανικές περιοχές είναι πιθανή η εισαγωγή στα υγρά λύματα βαρέων μετάλλων, όπως As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn και Hg. Τα περισσότερα από αυτά καταλήγουν στις λάσπες και συνήθως συγκρατούνται κατά την πρωτογενή επεξεργασία. Η αναερόβια διάσπαση, που λαμβάνει χώρα σε ειδικές δεξαμενές, σε αυξημένη θερμοκρασία, παράγει ένα σταθερό προϊόν, που συχνά χρησιμοποιείται ως λίπασμα και διασπέρνεται σε καλλιεργούμενες ή δασικές εκτάσεις. Η διασπορά αυτή προκαλεί μεταφορά αζώτου, φωσφόρου κ.α. συστατικών στο έδαφος, κάνοντας το πιο γόνιμο, προκαλεί όμως υποβάθμιση των υπόγειων νερών καθώς οι ρύποι από τα υγρά και τη λάσπη κατεισδύουν με τη βοήθεια των νερών άρδευσης ή της βροχής και φτάνουν στον υδροφόρο.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται η αύξηση της συγκέντρωσης διαλυμένων αλάτων, κατά την μετατροπή του πόσιμου νερού σε λύματα.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΣΕ mg/l	ΜΕΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ mg/l
TDS	100-300	730
BOD	25	25
B	0,1-0,4	-
SiO ₃	15	50
Na	40-70	135
PO ₄	8	8
K	7-15	15
Οργανικά	52	55
Mg	3-6	25
Ca	6-16	60
NH ₄ σαν N	16	16
NO ₃ σαν N	20-40	3
NO ₂ σαν N	0,3	0,3

SO ₄	15-30	100
Cl	20-50	130
HCO ₃	100	300
Αλκαλικότητα (CaCO ₃)	100-150	250
CO ₂	0	0
Σκληρότητα (CaCO ₃)	70	270

Πίνακας 5.4: Συνηθισμένος βαθμός αύξησης διαλυμένων αλάτων, κατά τη μετατροπή του νερού οικιακής χρήσης σε οικιακά λύματα

Οι εκπομπές των αποβλήτων διακρίνονται σε υγρές (υγρά απόβλητα) και στερεές (λάσπη).

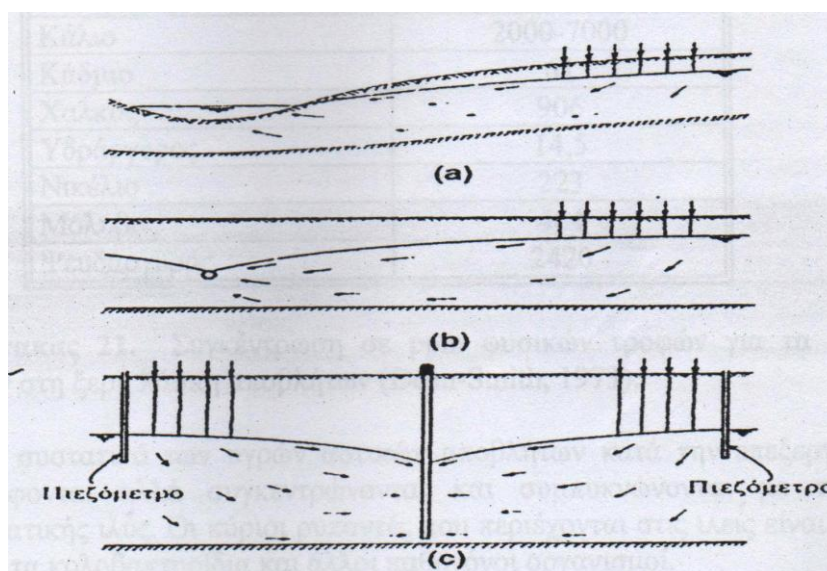
α) **Υγρά απόβλητα:** προέρχονται από τις οικιακές, τις βιομηχανικές χρήσεις του νερού, ή τις απορροές των όμβριων υδάτων. Στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες, τα πιο πολλά από αυτά τα υγρά μίγματα υπόκεινται σε κάποια επεξεργασία και μετά ρίχνονται στα δίκτυα στράγγισης ή αποχέτευσης των επιφανειακών νερών.

Ύστερα από δευτερογενή επεξεργασία τα λύματα χρησιμοποιούνται για άρδευση. Στο Michigan των ΗΠΑ στα μέσα της δεκαετίας του 70' γινόταν διασπορά στην επιφάνεια του εδάφους περίπου 130 εκατομμύρια lt την ημέρα.

Άλλες χρήσεις των επεξεργασμένων λυμάτων είναι ο τεχνητός εμπλουτισμός υδροφόρων, ο περιορισμός της διείσδυσης της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές και η επιφανειακή ροή.

Κατά την άρδευση, τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για κατάκλυση, ψεκασμό ή για άρδευση με χαντάκια. Αρκετό ποσοστό των αποβλήτων χάνεται με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Στη μέθοδο του τεχνητού εμπλουτισμού, χρησιμοποιείται η κατάκλυση σε λεκάνες και ο ψεκασμός. Σε αυτή τη περίπτωση σχεδόν το σύνολο των επεξεργασμένων αποβλήτων φτάνει στους υδροφόρους. Στη μέθοδο της επιφανειακής ροής, τα απόβλητα ψεκάζονται πάνω στην επιφάνεια κεκλιμένων αναβαθμίδων και αφήνονται να ρέουν πάνω στη καλλιεργημένη επιφάνεια προς τις τάφρους στράγγισης. Στη μέθοδο αυτή ένα ποσοστό των επεξεργασμένων αποβλήτων απορρέει στην επιφάνεια του εδάφους, άλλο εξατμίζεται και άλλο διηθείται.

Όταν τα επεξεργασμένα απόβλητα χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφόρων πρέπει να αποβάλλονται τελείως τα βακτήρια, οι ιοί, τα ιχνοστοιχεία, τα βαρέα μέταλλα και όλα τα χημικά συστατικά που είναι βλαβερά για τον άνθρωπο. Μεγάλη προσοχή χρειάζεται και στην τοποθεσία κατασκευής γεωτρήσεων απόρριψης, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μόλυνσης των χρησιμοποιούμενων υδρογεωτρήσεων.



Σχήμα 5.3: Απόληψη αναγεννημένων (επεξεργασμένων αποβλήτων μετά την απόρριψη τους σε υδροφόρο (τεχνητός εμπλουτισμός) (a): μέσω υδατορεύματος, (b): στραγγιστηρίων, (c): υδρογεωτρήσεων.

β) Λάσπη: η ξερή λάσπη που προέρχεται συνήθως από τα λύματα, περιέχει περίπου 5% στερεά και συχνά χρησιμοποιείται ως λίπασμα ή κλιματιστικής εδάφους.

Άλλοι μέθοδοι απόρριψης, εκτός από την αποχέτευση τους μαζί με τα υγρά απόβλητα, είναι το κάψιμο και η απόθεση σε χώρους ταφής ή στη θάλασσα. Η λάσπη περιέχει συνήθως οργανικές ενώσεις με φυτικά κατάλοιπα και μέταλλα, αλλά και παθογόνα βακτήρια και ιούς, η ξερή λάσπη περιέχει 3-6% N_2 , τα 2/3 του οποίου βρίσκονται σε οργανικές ύλες. Όταν οι τελευταίες απορριφθούν στο έδαφος αποσυντήθονται με ταυτόχρονη απελευθέρωση N_2 .

Οι ποσότητες λάσπης που μπορούν να αποτεθούν στο έδαφος, ως λίπασμα, χωρίς τον κίνδυνο μόλυνσης του υπόγειου νερού, εξαρτώνται από την περιεκτικότητά τους σε N_2 , ενδεικτικά συνίσταται η χρησιμοποίηση τέτοιων ποσοτήτων να μην είναι μεγαλύτερη από τα διπλάσιο των αναγκών των φυτών σε N_2 . Η προσθήκη ασβέστη στο έδαφος, αδρανοποιεί τον Zn και άλλα

μέταλλα που μπορεί να συγκεντρωθούν σε σημαντικές ποσότητες. Οι ποσότητες της παραγόμενης από τα λύματα λάσπης στα αστικά κέντρα ανέρχεται κατά μέσο όρο από 0,15-0,4 m³ το 24ωρο ανά άτομο.

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ
Ολικό άζωτο	35000-64000
Οργανικό άζωτο	20000-45000
Φώσφορος	8000-45000
Κάλιο	2000-7000
Κάδμιο	61
Χαλκός	906
Υδράργυρος	14,5
Νικέλιο	223
Μόλυβδος	404
Ψευδάργυρος	2420

Πίνακας 5.5: Συγκέντρωση σε ppm φυσικών τροφών για τα φυτά και μετάλλων στη ξερή λάσπη αποβλήτων

Τα συστατικά των υγρών αστικών αποβλήτων κατά την επεξεργασία δεν καταστρέφονται αλλά συγκεντρώνονται και συμπυκνώνονται με τη μορφή υπολειμματικής ιλύς. Οι κύριοι ρυπαντές που περιέχονται στις ιλείς είναι τα βαρέα μέταλλα, τα κολοβακτηρίδια και άλλοι παθογόνοι οργανισμοί.

Η επιλογή των χώρων απόθεσης της ιλύς πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά, ώστε να προστατεύεται ο εκάστοτε υδροφόρος ορίζοντας από τη μόλυνση. Τα κριτήρια για την επιλογή της θέσης διάθεσης των αποβλήτων είναι τα εξής:

- Η γειτνίαση με έργα υδροληψίας (γεωτρήσεις, πηγάδια κ.τ.λ)
- Ο τύπος και το πάχος των εδαφών
- Η φυσική κλίση του εδάφους
- Τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους
- Η γεωλογία της περιοχής
- Η διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού

Η ίλυ απαγορεύεται να αποτίθεται σε περιοχές όπως:

- Λεκάνες και τάφροι στις κοιλάδες που κατακλύζονται από τις πλημμύρες
- Θέσεις πάνω από ασβεστόλιθους ή ζώνε διάρρηξης.
- Εγκαταλελειμμένα λατομεία, δανειοθάλαμοι άμμου και ίλεος, καταβόθρες, υγρότοποι.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην επιφανειακή διάθεση της ίλυσ είναι δύο:

- Χωματερές – λεκάνες και τάφροι: η συγκέντρωση της ίλυσ γίνεται σε μικρή επιφάνεια, ώστε να απομονώνονται οι τοξικές ουσίες και να αποφεύγεται η είσοδος τους στο περιβάλλον. Στη κατηγορία αυτή ανήκει και η απόθεση των ιλών στον πυθμένα της θάλασσας.
- Διασπορά στην επιφάνεια του εδάφους με ψεκασμό, έκχυση υδαρής λάσπης, καύση κ.λ.π. : οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην διασπορά της ίλυσ, ώστε να αραιωθούν οι ρυπαντές και να μην φτάσουν σε επικίνδυνα επίπεδα.

γ) **Διαρροές – διηθήσεις από τους υπονόμους.** Οι υπόνομοι αν και πρέπει να κατασκευάζονται στεγανοί, πολλές φορές λόγω ατελειών κατασκευής ή από προκληθείσες ζημιές μετά την κατασκευή, παρουσιάζουν φαινόμενα διαρροών ή διηθήσεων προς το υπέδαφος. Τα αιωρούμενα όμως στερεά των λυμάτων τείνουν να φράξουν τις ρωγμές των υπονόμων και τους πόρους του εδάφους γύρω από αυτούς, λόγω των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν. Η διήθηση δηλαδή, από μικροανοίγματα των υπονόμων είναι συνήθως ασήμαντη.

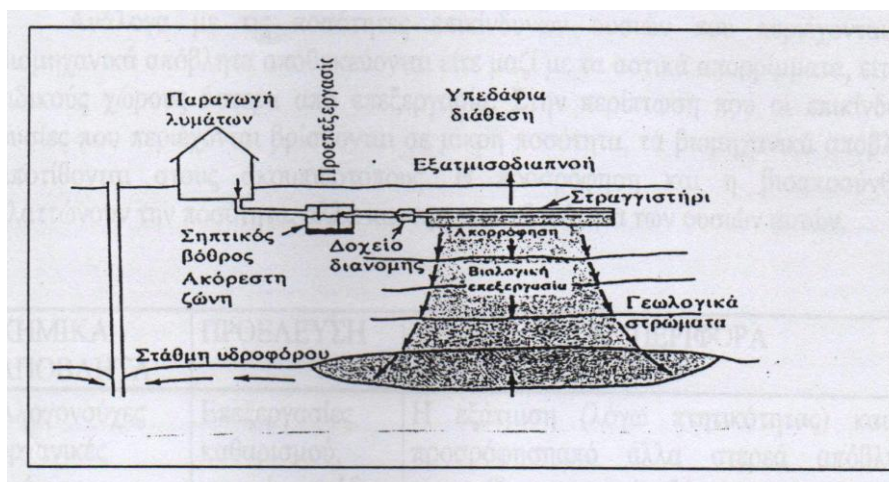
Το πρόβλημα της μόλυνσης των υπόγειων νερών είναι έντονο στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης μη στεγανών υπονόμων ή εγκαταλελειμμένων γεωτρήσεων και πηγαδιών, που φέρνουν σε άμεση επικοινωνία τους υδροφόρους και τα λύματα.

δ) **Σηπτικοί και απορροφητικοί βόθροι.** Η δημιουργία μεγάλων αστικών κέντρων, χωρίς υποδομή κεντρικού δικτύου αποχέτευσης, οδήγησε στην αναγκαστική κατασκευή βόθρων. Όπως προαναφέρθηκε η παραγωγή λυμάτων ανά κάτοικο το 24ωρο είναι της τάξης του 0,15-0,4 m³. Η τροφοδοσία των βόθρων καθημερινά αναμένεται δηλαδή, να είναι πολύ μεγάλη.

Κατασκευάζονται δύο τύποι βόθρων. Οι σηπτικοί και οι απορροφητικοί. Στους σηπτικούς βόθρους συγκεντρώνεται λάσπη, με αποτέλεσμα τα λύματα να περιέχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου. Τα λύματα τους κατεισδύουν στο έδαφος με ένα στραγγιστικό αγωγό. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, ο τελευταίος δεν συναντάται, επομένως ο σηπτικός βόθρος μετατρέπεται σε απορροφητικό, δηλαδή με πορώδη τοιχώματα. Προκειμένου να επιτευχθεί αερόβια αποσύνθεση και άλλες αντιδράσεις μείωσης των ρύπων, απαιτείται ύπαρξη ακόρεστης ζώνης, πάχους 1-2 m κάτω από τον στραγγιστικό αγωγό του σηπτικού βόθρου. Ο σηπτικός βόθρος πρέπει να είναι απόλυτα στεγανός, ώστε να διαχωρίζονται τα κλάσματα που επιπλέουν από εκείνα που καθιζάνουν. Η εισαγωγή του ρευστού μέρους των λυμάτων στη βιολογικά ενεργή ζώνη του εδάφους, γίνεται πορώδες, δηλαδή να αποτελείται από φυσικό φίλτρο (άμμο, χαλίκια).

Ο απορροφητικός βόθρος είναι ένας μεγάλος θαμμένος θάλαμος με πορώδες τοιχώματα, ο οποίος έχει σχεδιαστεί κατάλληλα για να υποδέχεται και να διηθεί ανεπεξέργαστα λύματα.

Οι απορροφητικοί βόθροι αποτελούν σημαντική πηγή μόλυνσης των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων, όπου η στάθμη των υδροφόρων είναι ψηλά και δεν υπάρχει δυνατότητα παρεμβολής σημαντικού πάχους πετρωμάτων ανάμεσα στον πυθμένα του βόθρου και στον υδροφόρο.



Σχήμα 5.4: Αποχέτευση οικιακών λυμάτων σε σηπτικό βόθρο.

5.3.2. Βιομηχανική ρύπανση

Βιομηχανικά απόβλητα ονομάζονται τα υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών, που δεν περιέχουν απόβλητα από χώρους εξυπηρέτησης του προσωπικού. Τα βιομηχανικά απόβλητα είναι αποτέλεσμα της χρήσης νερού στη βιομηχανία, που έχει εμπλουτισθεί με διάφορα συστατικά σε μικρές ή μεγάλες συγκεντρώσεις και διακρίνονται σε βιολογικά και μη βιολογικά.

1. Τα βιολογικά περιλαμβάνουν τα απόβλητα των εργοστασίων παραγωγής τροφίμων, παραγωγής χαρτιού και επεξεργασίας υφαντικών ινών.
2. Τα μη βιολογικά είναι απόβλητα χημικών βιομηχανιών και περιέχουν ρυπαντές όπως: οξέα, βάσεις, χλώριο, κυανιούχα, μέταλλα, άλατα, υδρογονάνθρακες, φωσφορικά.

Τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα σε σύγκριση με τα αστικά λύματα παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά: Περιέχουν τοξικά στοιχεία, εμφανίζουν δυσκολία επεξεργασίας και μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποβλήτων διαφόρων βιομηχανιών.

Ένα μέρος των βιομηχανικών αποβλήτων χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα (hazardous) και απαιτούνται αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί για τη διάθεσή τους στο γεωπεριβάλλον. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και άλλα απόβλητα, όπως τα νοσοκομειακά.

Ο όρος **τοξικά** (toxic) χρησιμοποιείται για απόβλητα που περιέχουν ουσίες που προκαλούν σοβαρές βλάβες ή και θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Γενικά, τα επικίνδυνα απόβλητα κατατάσσονται στις κάτωθι τέσσερις κατηγορίες (Καββαδάς, 1996):

1. Ανόργανα απόβλητα σε διάλυση ή αιώρηση που περιέχουν βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, υδράργυρος), αρσενικό, κάδμιο και κυανίδια.
2. Οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα (Aqueous Phase Liquids-APLs)
Ανήκουν τα απόβλητα της φαρμακευτικής βιομηχανίας, της βιομηχανίας γεωργικών φαρμάκων, διαλύτες, χρώματα.
3. Οργανικά μη υδατοδιαλυτά απόβλητα (Non-Aqueous Phase Liquids-NAPLs)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα λιπαντικά, ελαιοχρώματα, ελαιώδεις διαλύτες, προϊόντα πετρελαίου. Τα μη αναμείξιμα εξ' αυτών με πυκνότητα μικρότερη του νερού **LNAPLs** (βενζίνη, πετρέλαιο κ.ά) επιπλέουν στο νερό

και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, διαχεόμενα μόνον οριζόντια. Οι υδρογονάνθρακες έχουν τη δυνατότητα να παραμένουν επί πολύ χρόνο στην επιφάνεια των υπόγειων νερών, προσδίνοντας δυσάρεστη οσμή.

Τα βαρύτερα **DNAPLs** (χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες) κινούνται κατακόρυφα στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη και εγκαθίστανται πάνω στο αδιαπέρατο υπόβαθρο, ρυπαίνοντας έτσι τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες σε βάθος.

4. Απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύος και στερεών.

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται απόβλητα διύλιστηρίων και απόβλητα καθαρισμού των δεξαμενών πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών. Τα βιομηχανικά απόβλητα υποβάλλονται σε επεξεργασία για να απαλλαγούν από τους ρυπαντές και να διατεθούν εν συνεχεία στο περιβάλλον ή να επαναχρησιμοποιηθούν.

Στερεά απόβλητα: Η σύσταση των βιομηχανικών αποβλήτων ποικίλει ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχονται. Έτσι μεταλλουργικές μονάδες δημιουργούν κυανιούχα απόβλητα, ηλεκτρικές βιομηχανίες πλούσια σε Hg, βιομηχανίες χαρτιού πλούσια σε σουλφίδια, ενώ πετροχημικές δημιουργούν στερεά απορρίμματα πλούσια σε πολυχλωριωμένα διφαινύλια, φαινόλες και πίσσα.

Ανάλογα με τις ποσότητες επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται τα βιομηχανικά απόβλητα αποθηκεύονται είτε μαζί με τα αστικά απορρίμματα, είτε σε ειδικούς χώρους ύστερα από επεξεργασία. Στην περίπτωση που οι επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται βρίσκονται σε μικρή ποσότητα, τα βιομηχανικά απόβλητα αποτίθενται στους σκουπιδοτόπους. Η προσρόφηση και η βιοαποσύνθεση ελαττώνουν την ποσότητα, αλλά και την επικινδυνότητα των ουσιών αυτών. (Πανώρας & Ηλίας, 1999)

ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ
Αλογονούχες οργανικές ουσίες	Επεξεργασίες καθαρισμού, χημικές μονάδες	Η εξάτμιση και η προσρόφηση από άλλα στερεά απόβλητα περιορίζουν την είσοδο τους στα υπόγεια νερά

Κυανιούχες ενώσεις	Μεταλλουργία σιδήρου	Οι περισσότερες ενώσεις είτε είναι πτητικές όπως HCN, είτε κατακρεμνίζονται με μορφή σιδηροκυανιούχων ενώσεων $[Fe(CN)_6]^{+4}$
Βαρέα μέταλλα Cr,Zn,Hg,Pb,Cd	Μεταλλουργικές και χημικές βιομηχανίες	Τα κατιόντα βαρέων μετάλλων, ελέγχονται από τη δυσδιαλυτότητα τους σαν σουλφίδια, ανθρακικά, υδροξείδια ή φωσφορικά και από την προσρόφηση. Οι ανιονικές μορφές είναι πολύ κινητικές και περνούν εύκολα στο υπόγειο νερό
Φαινόλες	Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί ενέργειας, χημικές βιομηχανίες οργανικών ενώσεων	Είναι σχετικά διαλυτές στο υπόγειο νερό, υφίστανται αργή βιοαποικοδόμηση είναι αμφίδρομα προσροφημένες (εκρόφηση)
PCBs (πολυχλωριωμένα διφαινύλια)	Ηλεκτρικές συσκευές, γεννήτριες	Ευδιάλυτοι στους υδρογονάνθρακες, όχι όμως και στο νερό. Η βιοαποικοδόμηση τους παρεμποδίζεται σε αναερόβιες συνθήκες. Υφίστανται ισχυρή προσρόφηση. Στους χώρους απόθεσης είναι σχετικά αδρανείς και δεν περνούν στο έκκριμα σε υψηλές συγκεντρώσεις
Οξέα	Χημικές διεργασίες	Προκαλούν επαναφορά στο έκκριμα προροφημένων ρύπων και διαλύουν ιζήματα, προκαλώντας υποβίβαση ποιότητας των υπόγειων νερών. Εμποδίζουν τις μικροβιολογικές δράσεις και ελευθερώνουν επιβλαβή αέρια.
Ορυκτέλαια	Λιπαντικά βιομηχανικών μονάδων	Προσροφούνται από την εδαφική κάλυψη. Εξαιτίας διαφοράς στην πυκνότητα επιπλέουν στο υπόγειο νερό.
Οργανικές ενώσεις	Χρώματα και χημικές μονάδες	Μερικές προσροφούνται από τα υλικά του σκουπιδοτόπου και άλλες υφίστανται βιοαποικοδόμηση, σε εδάφη με άμμο και χαλίκια.

Πίνακας 5.6: Συμπεριφορά μερικών συνηθισμένων χημικών αποβλήτων στους χώρους απόθεσης.

Υγρά απόβλητα: Οι κυριότερες χρήσεις του νερού στη βιομηχανία, είναι η ψύξη. Η επεξεργασία, η παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων και οι εργασίες καθαρισμού. Η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται ποικίλει ανάλογα με το είδος της βιομηχανίας και τη χρήση. Έτσι οι βιομηχανίες τροφίμων παράγουν υγρά απόβλητα με υψηλό BOD και αιωρούμενα στερεά με χαρακτηριστική οσμή και γεύση. Οι υφαντουργίες έχουν αλκαλικές εκροές με πολλά αιωρούμενα στερεά. Τα απόβλητα των βυρσοδεψιών περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων χλωριδίων, σουλφιδίων και χρωμίου.

Οι κύριες εκροές από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς είναι τα νερά ψύξης, τα οποία φυσιολογικά δεν περιέχουν διαλυμένα συστατικά. Όμως η μείωση του όγκου και η αύξηση της θερμοκρασίας, κατά μέσο όρο 10°C , που έχουν σαν αποτέλεσμα τη συμπύκνωση και τον τετραπλασιασμό των διαλυμένων αλάτων που περιέχουν. Η αύξηση όμως της θερμοκρασίας προκαλεί απώλειες οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, που μπορεί να οδηγήσουν σε μερική καθίζηση διαλυμένων ανθρακικών αλάτων.

Αν το θερμό νερό αποθεθεί στο έδαφος, αυξάνεται η διάλυση των συστατικών του. Ανάμιξη του θερμού νερού με υπόγειο μικρότερης θερμοκρασίας και αλατότητας μπορεί να ενισχύει την επανακαθίζηση ενώσεων μέσα στους πόρους του πετρώματος και να μειώσει τη διαπερατότητα του.

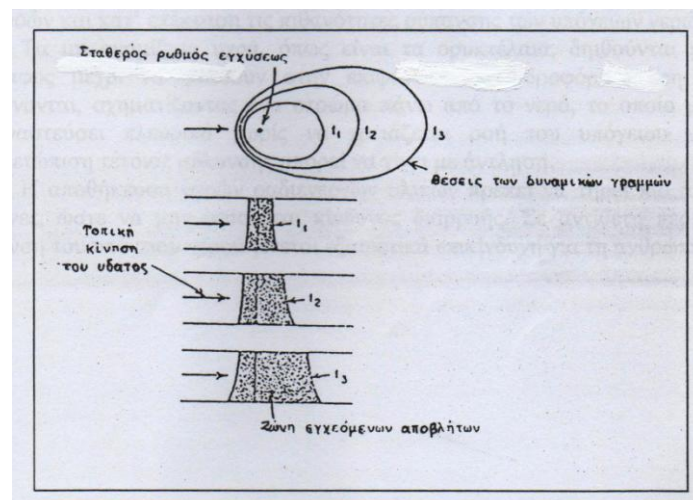
Ο συνδυασμός της υψηλότερης θερμοκρασίας και του εμπλουτισμού σε θρεπτικά συστατικά, μπορεί να ενισχύσει τη δράση των βακτηρίων και των ιών και να προκαλέσει προβλήματα σε γεωτρήσεις.

Η απόρριψη βλαβερών και τοξικών βιομηχανικών αποβλήτων, συχνά, γίνεται με τη χρήση βαθιών γεωτρήσεων έκχυσης, με τις οποίες τα ρευστά οδηγούνται σε βαθύτερους αλμυρούς και μη χρησιμοποιήσιμους υδροφόρους ορίζοντες.

Οι υδρογεωτρήσεις απόρριψης των βιομηχανικών αποβλήτων έχουν βάθος από 200-4000 μέτρα και η έκχυση τους γίνεται κυρίως σε ψαμμίτες, ανθρακικά πετρώματα και βασάλτες. Οι πιέσεις που χρησιμοποιούνται κατά την έκχυση, είναι μικρότερες από $7 \times 10 \text{ kN/m}^2$, και ο ρυθμός έκχυσης 500-1400 l/min. Η έκχυση των αποβλήτων δημιουργεί ένα ύβωμα (αντίθετο του κώνου κατάπτωσης) στην πιεζομετρική επιφάνεια, το οποίο εκτείνεται ασυμμετρικά προς την κατεύθυνση της ροής του υπόγειου νερού. Η επέκταση του

ανεστραμμένου κώνου, γίνεται πολύ πιο γρήγορα από την επέκταση της ζώνης των αποβλήτων. Η διεπεφάνεια, ανάμεσα στο νερό του υδροφόρου και στα απόβλητα είναι μία μεταβατική ζώνη που δημιουργείται με το μηχανισμό της διασποράς. (Λέκκας, 2001)

Ο κίνδυνος μόλυνσης των ανωτέρων υδροφόρων προέρχεται από την ύπαρξη γειτονικών γεωτρήσεων ή πηγαδιών που βρίσκονται σε λειτουργία και φτάνουν στο βάθος του ανεστραμμένου κώνου. Ένα άλλο πρόβλημα είναι και η πρόκληση σεισμικών δονήσεων, εξαιτίας της αυξανόμενης πίεσης των πόρων κατά μήκος ρηγμάτων από έκχυση αποβλήτων σε πολύ βαθιές γεωτρήσεις. Οι δονήσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν ρωγμάτωση σχηματισμών, με αποτέλεσμα την μετακίνηση των αποβλήτων προς τις γειτονικές περιοχές προκαλώντας αυξημένους κινδύνους ρύπανσης.



Σχήμα 5.5: Έκχυση αποβλήτων σε πηγάδια απόθεσης. Επέκταση της ζώνης αποβλήτων, για χρόνους $t_1 > t_2 > t_3$.

Για την αποφυγή κινδύνου ρύπανσης των υπερκείμενων υδροφόρων από βαθιές εκχύσεις πρέπει:

- πριν την κατασκευή τους να γίνεται υδρογεωλογικός έλεγχος των υπερκείμενων αλλά και των υποκείμενων στρωμάτων, ώστε να σιγουρεύεται η αδιαπερατότητά τους.
- Η κατασκευή της γεώτρησης να γίνεται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν διαρροές των αποβλήτων πάνω και γύρω από την επένδυση.
- Να γίνεται συνεχής έλεγχος της ζώνης έκχυσης, αλλά και των τοπικών υδροφορέων.

- Να στεγανοποιούνται γειτονικές εγκαταλελειμμένες γεωτρήσεις και πηγάδια.
- Οι επιβαλλόμενες πιέσεις έκχυσης να μην ρωγματώνουν υδραυλικά τα περιβάλλοντα στρώματα.

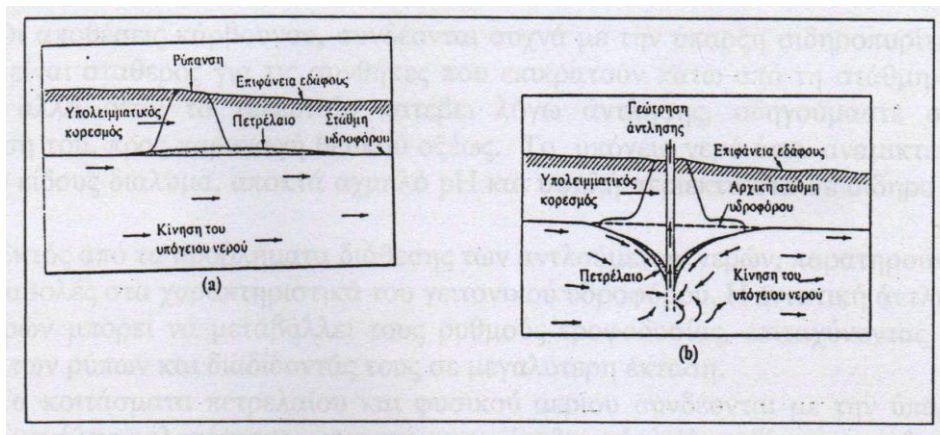
5.3.3. Διαφυγές από δεξαμενές κι αγωγούς

Η αποθήκευση στο υπέδαφος καυσίμων και χημικών προϊόντων μπορεί να προκαλέσει ρύπανση των υδροφόρων οριζόντων σε περίπτωση ατυχήματος στις υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης ή στους υπόγειους αγωγούς μεταφοράς και διανομής.

Η υπόγεια αποθήκευση των καυσίμων, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων της, προτιμάτε στα πρατήρια υγρών καυσίμων. Η ευρεία χρήση όμως αυτής της μεθόδου αυξάνει τις πιθανότητες διαρροών και κατ' επέκταση τις πιθανότητες ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Τα μη αναμίξιμα υγρά, όπως είναι τα ορυκτέλαια, διηθούνται μέσα στο υπέδαφος μέχρι να φτάσουν στην επιφάνεια του υδροφόρου. Στη συνέχεια απλώνονται, σχηματίζοντας ένα στρώμα πάνω από το νερό, του οποίου μπορεί να μεταναστεύσει πλευρικά χωρίς να χρειάζεται ροή του υπόγειου νερού. Η αντιμετώπιση τέτοιας μόλυνσης μπορεί να γίνει με άντληση.

Η αποθήκευση υγρών ραδιενεργών υλικών πρέπει να τηρεί πιο αυστηρούς κανόνες, ώστε να μην υφίσταται κίνδυνος διαρροής. Σε αντίθετη περίπτωση η ρύπανση του υπόγειου νερού γίνεται εξαιρετικά επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. (Κόλλιας, 1993)



Σχήμα 5.6: Μόλυνση του υδροφόρου από πετρέλαιο και αντιμετώπιση της μόλυνσης με άντληση νερού. (a): πετρέλαιο που επιπλέει πάνω στο υπόγειο νερό. (b): το πετρέλαιο στον κώνο ταπείνωσης της άντλησης.

5.3.4. Μεταλλευτική δραστηριότητα

Τα **απόβλητα μεταλλευτικής δραστηριότητας** (mining waste) παράγονται κατά την εξόρυξη ορυκτών πόρων σε ανθρακορυχεία, μεταλλεία και αποτελούνται από ένα ετερογενές μίγμα νερού και κονιοροτοποιημένου ορυκτού και πιθανά περιέχουν και βαρέα μέταλλα, ως παραπροϊόντα. Με τις διαδικασίες αποκάλυψης των μεταλλευμάτων αφαιρείται ο προστατευτικός εδαφικός μανδύας και έτσι οι πιθανοί ρύποι οδηγούνται κατευθείαν στους υδροφόρους ορίζοντες. Συχνά οι μεταλλευτικές εργασίες επεκτείνονται κάτω από την επιφάνεια του υπόγειου νερού και απαιτείται στράγγιση. Το νερό αυτό είναι πλούσιο σε μέταλλα, γνωστό ως όξινο νερό μεταλλείου. Οι εκσκαφές μετά το πέρας της εκμετάλλευσης χρησιμοποιούνται συνήθως σαν χώροι απόθεσης απορριμμάτων με πιθανή ρύπανση των υπόγειων νερών. Οι αποθέσεις τους, λόγω της μικρής διατμητικής αντοχής είναι ασταθείς και παρουσιάζουν μεγάλες καθιζήσεις. Στην Ελλάδα το πρόβλημα εντοπίζεται στην παραγόμενη τέφρα των λιγνιτορυχείων (Μεγαλόπολη, Πτολεμαΐδα). Σε περιπτώσεις που τα παραγόμενα απόβλητα των ορυχείων ή διάφορα παραπροϊόντα (εξόρυξη λατομικών ορυκτών) δεν είναι επικίνδυνα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά για επιχωματώσεις κ.λπ.

Οι μεταλλευτικές δραστηριότητες, είτε επιφανειακές είτε υπόγειες, μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση στο υπόγειο νερό. Το είδος της μόλυνσης εξαρτάται, εκτός από τον τρόπο εξόρυξης, από το είδος υλικού που εξάγεται.

Η εξόρυξη αδρανών υλικών (ασβεστόλιθου, βαρύτη, γύψου) από τα λατομεία, δεν επιβαρύνει ιδιαίτερα την ποιότητα του υπόγειου νερού. Μεταβάλλεται κατά μικρό ποσοστό η χημική του σύσταση, συνήθως αυξάνονται τα αιωρούμενα στερεά, εξαιτίας του 'ξεπλύματος' των μετώπων από επιφανειακά ή όμβρια νερά.

Ο κίνδυνος ρύπανσης όμως από την μεταλλευτική δραστηριότητα είναι πολλαπλός, κυρίως στα μεταλλεία σιδήρου, χαλκού, ψευδάργυρου και μολύβδου. Τα στερεά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από σιδηροπυρίτη,

σχιστόλιθους και ψαμμόλιθους. Τα εκκρίματα τους έχουν χαμηλό pH και είναι πλούσια σε θειικά, σίδηρο και διαλυμένα αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά, όπως ιόντα σιδήρου, θειικά αλλά και βαρέα μέταλλα. Η μη ελεγχόμενη απορροή μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη ρύπανση των υδροφόρων.

Στην περίπτωση που οι μεταλλευτικές εργασίες λαμβάνουν χώρα κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, απαιτείται άντληση του νερού για την προστασία των μετώπων εργασίας και μείωσης των σχετικών προβλημάτων. Το αντλούμενο νερό, που είναι γνωστό σαν το "όξινο νερό μεταλλείου", έχει χαμηλό pH και υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, αργιλίου και θειικών. Σήμερα σε αντίθεση με τα παλαιότερα χρόνια, οι απορροές αυτές επεξεργάζονται, ώστε να εξουδετερωθούν τα βλαβερά συστατικά, ενώ το νερό ανακυκλώνεται σε εργασίες του μεταλλείου.

Οι αποθέσεις κάρβουνου, συνδέονται συχνά με την ύπαρξη σιδηροπυρίτη, ο οποίος είναι σταθερός για τις συνθήκες που επικρατούν κάτω από τη στάθμη του νερού, αλλά όταν το τελευταίο κατέβει λόγω άντλησης, οδηγούμαστε στην οξείδωση του, προς παραγωγή θειικού οξέως. Το υπόγειο νερό όταν αναμιχτεί με τέτοιου είδους διάλυμα, αποκτά χαμηλό pH και υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και θειικά.

Εκτός από τα προβλήματα διάθεσης των αντλούμενων νερών, παρατηρούνται και μεταβολές στα χαρακτηριστικά του γειτονικού υδροφόρου. Η εντατική άντληση των νερών μπορεί να μεταβάλλει τους ρυθμούς τροφοδοσίας, επιταχύνοντας την κίνηση των ρύπων και διαδίδοντάς τους σε μεγαλύτερη έκταση.

Τα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου συνδέονται, με την ύπαρξη νερού μεγάλης αλατότητας, γνωστό ως "σαλαμούρες" πεδίων πετρελαίου. Αποτελείται από μεγάλες συγκεντρώσεις Na, NH_4^+ , B, Cl, SO_4^- , ίχνη μετάλλων και πολύ υψηλό TDS. Παλιότερα οι σαλαμούρες απορρίπτονταν σε λεκάνες εξάτμισης ή ρεματιές. Και στις δύο περιπτώσεις εκτός από τη ρύπανση των υπόγειων νερών που ήταν σημαντική, προκαλώνταν και νέκρωση των εδαφών για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Σήμερα η απόρριψη της σαλαμούρας γίνεται με έκχυση σε βαθιές γεωτρήσεις που βρίσκονται σε σχηματισμούς γεωλογικά απομονωμένους από τους υπερκείμενους υδροφόρους. Στις γεωτρήσεις έκχυσης τοποθετείται διπλή σωλήνωση ώστε να αποφευχθούν τυχόν διαρροές. Όμως στην

περίπτωση που υπάρχουν εγκαταλελειμμένες και όχι βουλωμένες γειτονικές γεωτρήσεις ο κίνδυνος μόλυνσης των υπερκείμενων υδροφόρων από την άνοδο της εκχυμένης σαλαμούρας είναι μεγάλος.

Παρόμοια προβλήματα συναντώνται και στην υδραυλική εξόρυξη των εβαποριτών. Τα προβλήματα από μεταλλευτικές δραστηριότητες μπορεί να συνδέονται, δηλαδή, και με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο εξόρυξης. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η μέθοδος εξόρυξης με λιθογόμωση, όταν το υλικό λιθογόμωσης περιέχει ρύπους και το μεταλλείο βρίσκεται κάτω από τη στάθμη των υπόγειων νερών.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η μόλυνση των υπόγειων υδροφορέων μπορεί να γίνει και από μη ενεργά, εγκαταλελειμμένα μεταλλεία ύστερα από διήθηση των επιφανειακών ή όμβριων νερών. (Γείτονας, 1996).

5.3.5. Ραδιενεργά απόβλητα

Τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της χρήσης πυρηνικών καυσίμων σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας δημιουργήθηκε η ανάγκη της απομόνωσης των ραδιενεργών αποβλήτων από τη βιόσφαιρα. Τα απόβλητα προέρχονται από τις διαδικασίες παραγωγής καυσίμου και από τα υπολείμματα της χρήσης του. Ο χρόνος ημιζωής ορισμένων ραδιενεργών στοιχείων φτάνει σε εκατοντάδες χρόνια, ενώ η επίδραση τους στο περιβάλλον είναι καταστροφική.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή ενέργειας στους πυρηνικούς σταθμούς από την εύρεση και την εξόρυξη της πρώτης ύλης (ουράνιο), το άλεσμα και την κατανάλωση του στους αντιδραστήρες, την επανεπεξεργασία του και τέλος την στερεοποίηση και την ταφή των αποβλήτων.

Τα παραπροϊόντα που παράγονται κατά την εξόρυξη και το άλεσμα του ουρανίου τοποθετούνται σε επιφανειακά ορύγματα ή σε επιχώματα. Στην σύνθεση τους περιέχουν ισότοπα των ουρανίου, θορίου και ραδίου. Η απόπλυση των αποθέσεων τους από το νερό της βροχής δημιουργεί έντονο πρόβλημα μόλυνσης στους υποκείμενους υδροφόρους.

Κατά την λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων στερεά ραδιενεργά απόβλητα, με τη μορφή καταλοίπων και από τη διαδικασία της απορρύπανσης παράγονται παραπροϊόντα ιοντικής ανταλλαγής. Τα απόβλητα στο σύνολο τους περιέχουν πολλά ραδιενεργά υλικά και

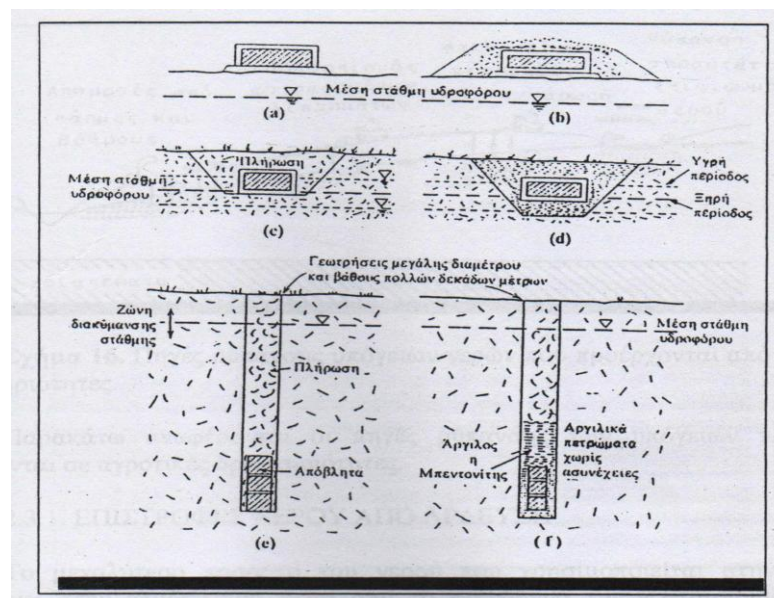
χρειάζονται πολλές εκατοντάδες χρόνια μέχρι να μετατραπούν σε υλικά χαμηλής ραδιενέργειας.

Το καύσιμο των αντιδραστήρων (ράβδοι από στερεό οξείδιο του ουρανίου) ύστερα από μια χρονική περίοδο χρήσης πρέπει να αντικαθίσταται. Συνήθως υφίσταται επεξεργασία ώστε να αφαιρεθεί το μεγαλύτερο μέρος του πλουτωνίου που περιέχει.

Τα ραδιενεργά απόβλητα συνήθως τοποθετούνται σε κιβώτια από σκυρόδεμα ή χάλυβα πριν τον ενταφιασμό σε κατάλληλα επιλεγμένες θέσεις όπως είναι:

- τα βαθιά αλατούχα κοιτάσματα
- τα βαθιά κρυσταλλικά μαγματικά πετρώματα
- τα βαθιά σχιστολιθικά πετρώματα
- οι παχιές ακόρεστες ζώνες

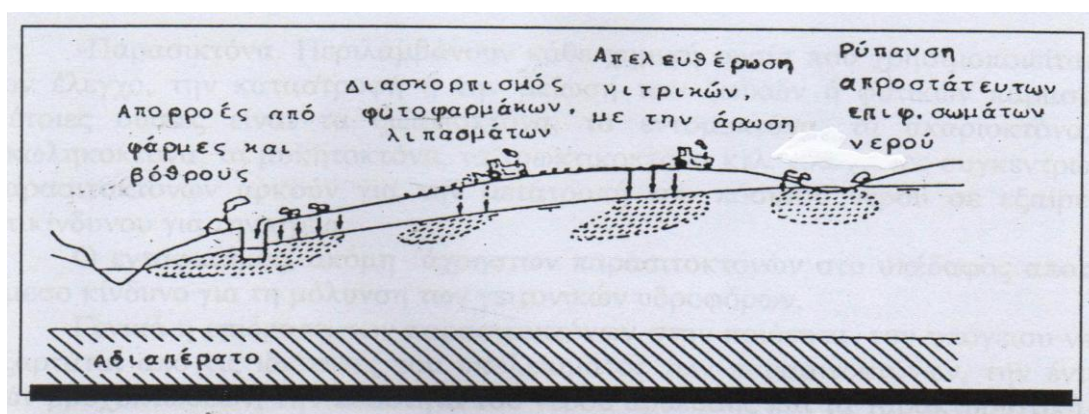
Οι παραπάνω θέσεις θα πρέπει να βρίσκονται μακριά από κατοικημένες περιοχές, δεν εμφανίζουν σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα και να είναι προφυλαγμένες από τη διάβρωση. (Γεωργιάδης, Καλλέργης, Φερεντίνος, 2004)



Σχήμα 5.7: Σχηματική παράσταση των μεθόδων ενταφιασμού ραδιενεργών αποβλήτων χαμηλής ραδιενέργειας σε περιοχή με ρηχό υδροφόρο. (α) και (β) επιφανειακή αποθήκευση, (γ) και (δ) ενταφιασμός σε μικρό βάθος, (ε) και (ζ) ενταφιασμός σε γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου.

5.3.6. Αγροτική ρύπανση

Η αύξηση του πληθυσμού της γης σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των γεωπονικών επιστημών, άλλαξαν τον παραδοσιακό τρόπο γεωργικής εκμετάλλευσης της γης. Τα αποτελέσματα των παραπάνω ήταν η αύξηση της γεωργικής, αλλά και της κτηνοτροφικής παραγωγής, η μείωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ρυπογόνες ουσίες. Η περιβαλλοντική μόλυνση συνίσταται τόσο στην ρύπανση του εδάφους, όσο και στην μόλυνση επιφανειακών και υπόγειων νερών.



Σχήμα 5.8: Πηγές ρύπανσης υπόγειων νερών που προέρχονται από αγροτικές δραστηριότητες.

Απόβλητα γεωργικής δραστηριότητας. Το νερό που επιστρέφει από τις αρδεύσεις διηθείται παρασέρνοντας διαλυμένες ουσίες στα υπόγεια νερά. Έτσι στοιχεία που περιέχονται στα λιπάσματα οδηγούνται στο υπόγειο νερό, ειδικά σε περιπτώσεις διαπερατών εδαφικών σχηματισμών. Οι πλέον επικίνδυνοι ρύποι είναι τα νιτρικά ιόντα, τα οποία έχουν μεγάλη ευκινησία και μετακινούνται εύκολα από την ακόρεστη ζώνη στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Στην ακόρεστη ζώνη οι διαλυμένες ουσίες κινούνται κατακόρυφα προς την υπόγεια στάθμη και στην κορεσμένη ζώνη η υδραυλική κλίση προκαλεί την οριζόντια κίνηση του υπόγειου νερού και των ρύπων που περιέχονται σε αυτό.

Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση των νιτρικών ιόντων έχει οδηγήσει σε πλήρη υποβάθμιση πολλούς υδροφόρους ορίζοντες, κυρίως φρεάτιους σε πολλές περιοχές της χώρας μας.

Σημαντικές ποσότητες νερού από αυτές που χρησιμοποιούνται για άρδευση (περίπου το 10%) επιστρέφουν και τροφοδοτούν τον υποκείμενο

υδροφόρο ορίζοντα (irrigation return flow). Το νερό αυτό είναι εμπλουτισμένο σε άλατα, τα οποία προστίθενται με τη διαδικασία της διάλυσης κατά την άρδευση ή στα άλατα των λιπασμάτων. Επικρατούντα ιόντα στην επιστρεφόμενη αρδευτική ροή είναι Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- . Το νερό αυτό αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης των υπόγειων νερών, ειδικά στις περιοχές, όπου εφαρμόζεται εντατική άρδευση. Τα φυτοφάρμακα (εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, παρασιτοκτόνα) που χρησιμοποιούνται εντατικά στη γεωργία τις τελευταίες δεκαετίες αποτελούν σημαντικούς ρύπους για τα υπόγεια νερά. Τα στερεά απόβλητα κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων (κοπριάς) είναι πλούσια σε νιτρικά και διαλυμένα άλατα και αποτελούν πιθανές πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Παρακάτω αναφέρονται οι πηγές ρύπανσης των υπόγειων νερών που οφείλονται σε αγροτικές δραστηριότητες. (Γεωργιάδης, Καλλέργης, Φερεντίνος, 2004)

5.3.7. Επιστροφές νερού από άρδευση

Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται στην άρδευση διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μέσα από το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Το υπόλοιπο νερό καταλήγει στο επιφανειακό στραγγιστικό δίκτυο ή τροφοδοτεί τον υποκείμενο υδροφόρο. Το επιστρεφόμενο νερό έχει τριπλάσια έως δεκαπλάσια αλατότητα από το αρχικά χρησιμοποιούμενο νερό της άρδευσης. Τα επικρατέστερα ιόντα στα επιστρεφόμενα αρδευτικά νερά είναι τα Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- . Η αύξηση της αλατότητας οφείλεται στην διάλυση αλάτων στο νερό που προέρχονται από τη συμπύκνωση τους κατά την εξατμισοδιαπνοή, αλλά και από τα άλατα των λιπασμάτων και των βελτιωτικών του εδάφους.

Τα λιπάσματα είναι κυρίως ενώσεις του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου. Τα φωσφορικά και τα καλιούχα λιπάσματα προσροφούνται εύκολα από τους κόκκους του εδάφους και σπάνια δημιουργούν προβλήματα ρύπανσης. Αντίθετα όμως, το διαλυμένο στο νερό άζωτο που δεν χρησιμοποιείται από τα φυτά προσροφάται από το έδαφος μολύνοντας και αυτό, αλλά και τον υποκείμενο υδροφόρο.

Στις ξηρές και στις ημίξηρες περιοχές, όπου η άρδευση είναι εντονότερη, το επιστρεφόμενο αρδευτικό νερό αποτελεί μία από τις κύριες αιτίες ρύπανσης των απόγειων υδροφορέων. (Γεωργιάδης, Καλλέργης, Φερεντίνος, 2004)

5.3.8. Φυτοφάρμακα

Ένα σημαντικό πρόβλημα για τα υπόγεια νερά δημιουργείται από τα υπολείμματα των φυτοφαρμάκων που φτάνουν στους υδροφόρους. Τα φυτοφάρμακα είναι χημικές ενώσεις, που ανάλογα με τη χρήση τους διακρίνονται σε:

- **Παρασιτοκτόνα.** Περιλαμβάνουν κάθε χημική ουσία που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο, την καταστροφή ή την μείωση των ζωικών ή φυτικών παρασίτων. Τέτοιες ουσίες είναι τα ζιζανιοκτόνα, τα εντομοκτόνα, τα ακαριοκτόνα, τα σκωληκοκτόνα, τα μυκητοκτόνα, τα τρωκτικοκτόνα κ.τ.λ. Ελάχιστες συγκεντρώσεις παρασιτοκτόνων αρκούν για την μετατροπή του πόσιμου νερού σε εξαιρετικά επικίνδυνου για την υγεία.

Ο ενταφιασμός, ακόμη άχρηστων παρασιτοκτόνων στο υπέδαφος αποτελεί άμεσο κίνδυνο για τη μόλυνση των γειτονικών υδροφόρων.

Γενικά η επίδραση των παρασιτοκτόνων στην ποιότητα του υπογείου νερού εξαρτάται από τις ιδιότητες του υπολείμματος των παρασιτοκτόνων, την ένταση των βροχοπτώσεων, την ποιότητα του νερού άρδευσης και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

- αντιβιοκτόνα
- αυξητικές ορμόνες φυτών.

5.3.9. Κτηνοτροφικά απόβλητα

Οι κίνδυνοι μόλυνσης των υπόγειων νερών από κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες συνίσταται στη μεγάλη ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται εξαιτίας της συγκέντρωσης μεγάλου αριθμού ζώων σε περιορισμένο χώρο.

Το νερό της βροχής διαλύει πολλά συστατικά των αποβλήτων και διηθούμενο στο έδαφος τα οδηγεί προς τους υπόγειους υδροφόρους, στην περίπτωση υδροπερατών στρωμάτων. Παρατηρείται λοιπόν, η αύξηση σε άζωτο και νιτρικά, BOD και σε βακτήρια.

Η επιλογή θέσεων εγκατάστασης κτηνοτροφικών μονάδων γίνεται με τα ίδια κριτήρια με αυτή των σκουπιδοτόπων.

5.3.10. Απόβλητα αγροτικών βιομηχανιών

Οι πιο διαδεδομένες αγροτικές βιομηχανίες, κυρίως για την Ελλάδα είναι τα ελαιουργεία. Είναι μονάδες που εργάζονται εποχιακά, με έντονους ρυθμούς, παράγοντας σημαντικές ποσότητες αποβλήτων.

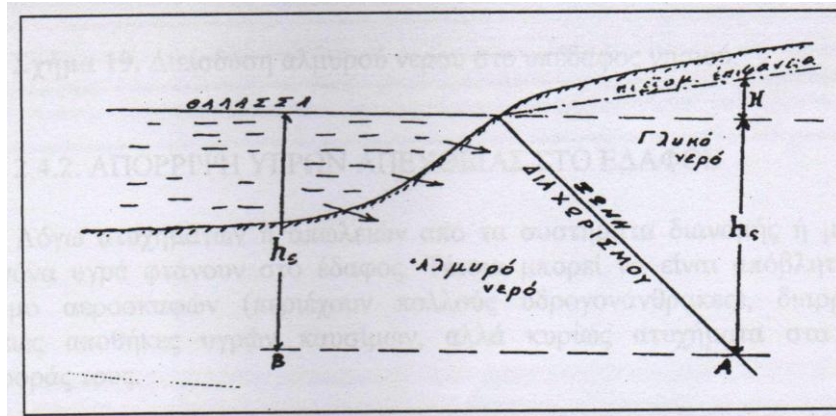
Εκτιμάται ότι μονάδα με παραγωγική ικανότητα 1000kg/h παράγει συνολικά 1450lt/h υγρών αποβλήτων. Είναι ένα σκούρο κόκκινο, ελαφρώς όξινο υγρό μ χαρακτηριστική οσμή και θολή εμφάνιση. Η ανεξέλεγκτη απόρριψη του σε επιφανειακά νερά ή ανοίγματα δημιουργεί σοβαρά προβλήματα ρύπανσης των υπόγειων νερών. (Λαμπράκης, Τηνιακός, 1997)

5.3.11. Άλλες πηγές ρύπανσης

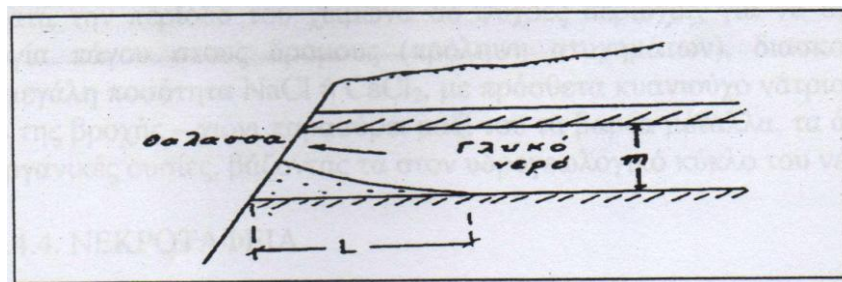
➤ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Η διείσδυση της θάλασσας λαμβάνει χώρα σε παράκτιους και νησιωτικούς υδροφόρους. Οφείλεται στην μεγαλύτερη τιμή του υδραυλικού φορτίου του θαλασσινού νερού από του υπόγειου νερού. Στην επαφή γλυκού και αλμυρού νερού δημιουργείται μία ζώνη αναμίξεως με υφάλμυρο νερό, η οποία αποτελεί και την επιφάνεια διαχωρισμού τους. Η θέση της στο χώρο δεν είναι σταθερή. Επηρεάζεται ελαφρά από τις διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας, αλλά περισσότερο από την στάθμη των υπόγειων υδροφόρων. Η άντληση μεγάλων ποσοτήτων νερού από πηγάδια και γεωτρήσεις που βρίσκονται κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια οδηγεί στην πτώση του υδραυλικού φορτίου των γλυκών νερών με αποτέλεσμα τη διείσδυση της θάλασσας και τη μετατροπή του γλυκού νερού αρχικά σε υφάλμυρο και ύστερα σε αλμυρό.

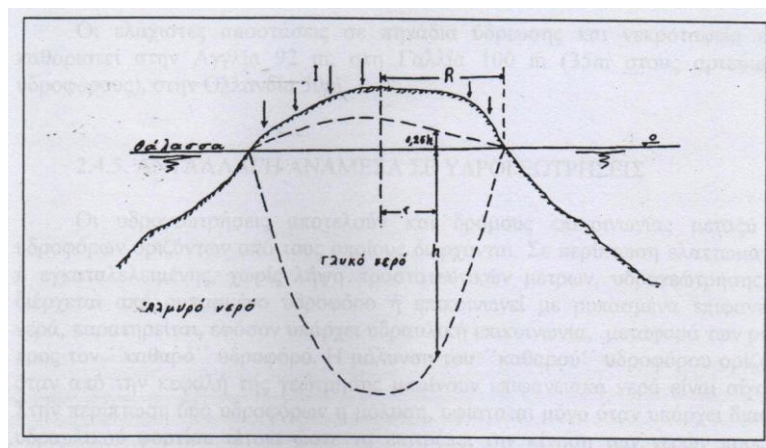
Η αντιμετώπιση του προβλήματος είναι πολύ δύσκολη και απαιτεί λήψη ειδικών μέτρων. Η πρόληψη όμως, με σωστή διαχείριση των υπόγειων νερών είναι η πιο ενδεδειγμένη λύση προβλημάτων. (Περγιαλιώτης, Παπαδάκου, 1998):



Σχήμα 5.9: Σχηματική παράσταση διείσδυσης αλμυρού νερού στο εσωτερικό μιας παραλιακής ζώνης, ελεύθερου υδροφόρου.



Σχήμα 5.10: Διείσδυση αλμυρού νερού σε υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα προς τη χέρσο σε βάθος L από τον πυθμένα της θάλασσας.



Σχήμα 5.11: Διείσδυση αλμυρού νερού στο υπέδαφος νησιού.

➤ ΑΠΟΡΡΙΨΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΤΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ

Λόγω ατυχημάτων ή απωλειών από τα συστήματα διανομής ή μεταφοράς ρυπογόνα φτάνουν στο έδαφος. Τέτοια μπορεί να είναι απόβλητα από το πλύσιμο αεροσκαφών, διαρροές από υπόγειες αποθήκες υγρών καυσίμων, αλλά κυρίως ατυχήματα στα οχήματα μεταφοράς τους.

➤ ΑΠΟΠΑΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ

Κατά την περίοδο του χειμώνα σε ψυχρές περιοχές, για να αποφευχθεί η δημιουργία πάγου στους δρόμους, διασκορπίζεται αυτούς μεγάλη ποσότητα NaCl ή CaCl₂, με πρόσθετα κυανιούχο νάτριο και σίδηρο. Το νερό της βροχής – χιόνι παρασύρει μαζί του τα βαρέα μέταλλα, τα άλατα και τις άλλες οργανικές ουσίες, βάζοντας τα στον υδρογεωλογικό κύκλο του νερού.

➤ **ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΑ**

Τα νεκροταφεία συνήθως βρίσκονται σε υδροπερατά πετρώματα και αποτελούν εστία μόλυνσης των υπόγειων νερών. Η αποσύνθεση των πτωμάτων δημιουργεί ρευστά πλούσια σε COD, Cl₂So₄, HCO₃ κ.α. Πρέπει κατά την επιλογή της θέσης των νεκροταφείων να προτιμούνται περιοχές με βαθύ υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος να μην είναι αξιοποιήσιμος.

Οι ελάχιστες αποστάσεις σε πηγάδια ύδρευσης και νεκροταφεία έχουν καθοριστεί στην Αγγλία 92 m, στη Γαλλία 100 m, στην Ολλανδία 50 m.

Η ποιοτική σύσταση των ρύπων από τα νεκροταφεία χαρακτηρίζεται από αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριόντων, θειικών, ενώσεων αζώτου (NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻), COD και παθογόνων μικροοργανισμών. Η ποσότητα των υγρών στραγγισμάτων από νεκροταφεία ανέρχεται σε 400 L/έτος/τάφο. Το υπέδαφος ενός νεκροταφείου πρέπει να εκπληρώνει τις κάτωθι προϋποθέσεις:

1. Να είναι χαλαρό και όχι βραχώδες, ώστε να είναι εύκολος ο ενταφιασμός
2. Ο υποκείμενος υδροφόρος ορίζοντας να είναι σε μεγάλο βάθος
3. Το έδαφος πρέπει να είναι υδροπερατό και καλά αεριζόμενο, ώστε η αποσύνθεση να γίνεται γρήγορα. Στα αργιλικά εδάφη η διατήρηση των πτωμάτων είναι μακρόχρονη.
4. Δεν πρέπει να λιμνάζουν νερά, γι' αυτό πρέπει να κατασκευάζεται επιφανειακό δίκτυο αγωγών για την αποχέτευση των ομβρίων υδάτων.
5. Το ανάγλυφο της περιοχής να είναι σχετικά ομαλό και η εδαφική επιφάνεια επίπεδη, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος κατολισθήσεων και ερπυσμού του εδαφικού μανδύα.
6. Απαιτείται η κατασκευή ενός περιφερειακού στραγγιστηρίου βάθους >2 m.

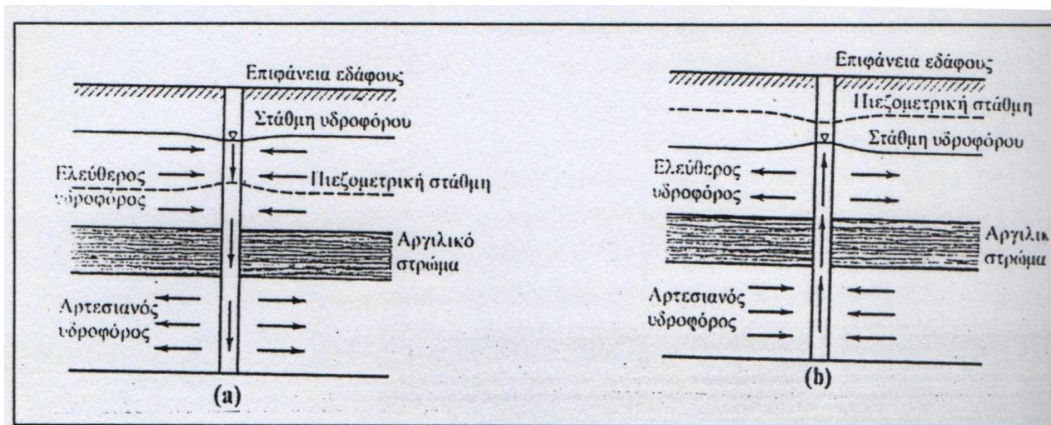
7. Σε όλη την έκταση του νεκροταφείου πρέπει να κατασκευάζεται ένα δίκτυο στράγγισης 2,5 m βαθύτερα από τον πυθμένα των μελλοντικών τάφων, ώστε να συλλέγονται τα μολυσμένα νερά.
8. Η δενδροφύτευση του χώρου του νεκροταφείου συμβάλλει στην αποσύνθεση των αζωτούχων ενώσεων.
9. Η χωροθέτηση του νεκροταφείου πρέπει να εξετάζεται σχολαστικά σε σχέση με πηγές ύδρευσης, υδρορεύματα, οικισμούς, νοσοκομεία, δημόσιους χώρους κ.λπ.

Η διαδικασία για την ίδρυση νέων κοιμητηρίων καθορίζεται με υπουργική απόφαση (Αριθ. 26882/5769, Εφ. της Κυβερνήσεως, τεύχος 4, Αρ. φύλλου 838/23-10-998) και απαιτείται μελέτη γεωλογικής καταλληλότητας, υδρογεωτεχνική μελέτη και μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. (Φάττα, 2005)

➤ **ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ**

Οι υδρογεωτρήσεις αποτελούν και δρόμους επικοινωνίας μεταξύ των υδροφόρων οριζώντων από τους οποίους διέρχονται. Σε περίπτωση ελαττωματικής ή εγκαταλελειμμένης, χωρίς λήψη προστατευτικών μέτρων, υδρογεώτρησης που διέρχεται από ρυπασμένο υδροφόρο ή επικοινωνεί με ρυπασμένα επιφανειακά νερά, παρατηρείται, εφόσον υπάρχει υδραυλική επικοινωνία, μεταφορά των ρύπων προς τον “καθαρό” υδροφόρο. Η μόλυνση του “καθαρού” υδροφόρου ορίζοντα, όταν από την κεφαλή της γεώτρησης μπαίνουν επιφανειακά νερά είναι σίγουρη. Στην περίπτωση δύο υδροφόρων η μόλυνση, υφίσταται μόνο όταν υπάρχει διαφορά υδραυλικού φορτίου τέτοια ώστε να επιτρέπει την κίνηση των νερών προς τον καθαρό υδροφόρο.

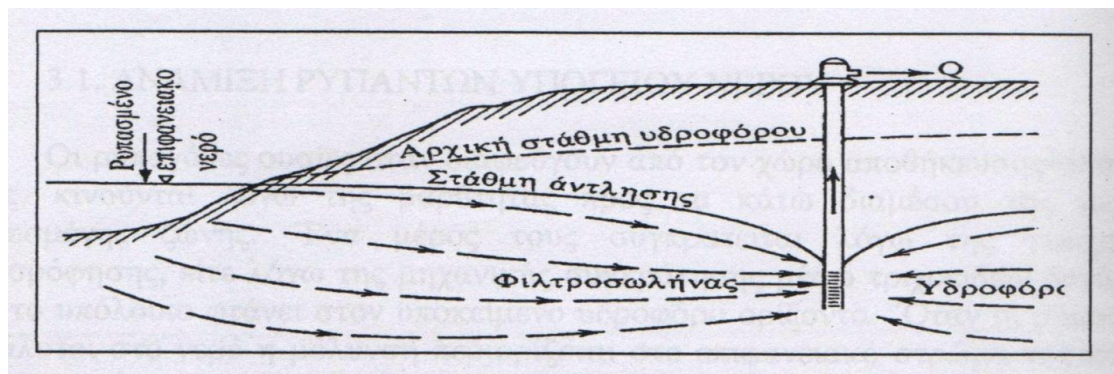
Προς αποφυγή των παραπάνω οι γεωτρήσεις θα πρέπει να ταπώνονται και να βουλώνονται υδατοστεγώς κατά το ανώτερο τουλάχιστον τμήμα τους.



Σχήμα 5.12: Ρύπανση υδροφόρου από εγκαταλελειμμένη γεώτρηση.
 (α) Υδροστατική επιφάνεια πάνω από την πιεζομετρική επιφάνεια
 (β) Πιεζομετρική επιφάνεια πάνω από την υδροστατική επιφάνεια

➤ **ΜΟΛΥΣΜΕΝΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ**

Ο εμπλουτισμός των υδροφόρων οριζόντων γίνεται κυρίως από τα επιφανειακά νερά είτε φυσικά με κατείσδυση είτε επαγωγικά από τις γειτονικές του υδρογεωτρήσεις, εξαιτίας της υποβάθμισης της στάθμης του υδροφόρου που προκαλούν. Ρυπασμένα λοιπόν, επιφανειακά νερά, εμπλουτίζουν τον υδροφόρο και με ρύπους.



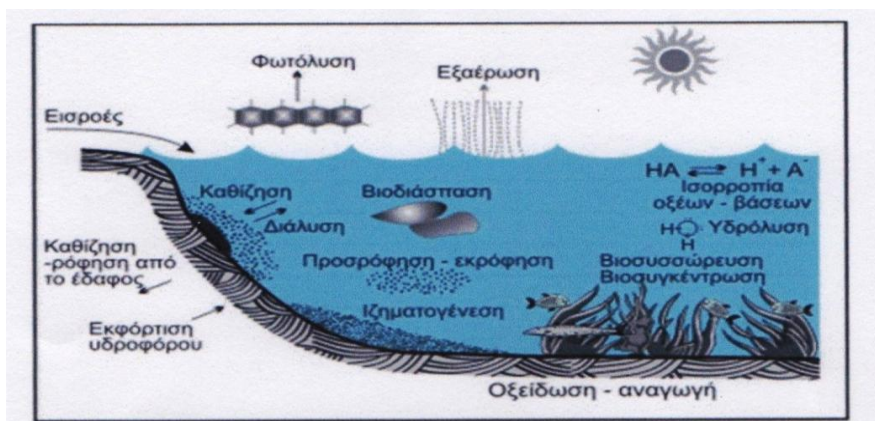
Σχήμα 5.13: Ρύπανση γεώτρησης από παρακείμενο υδατόρευμα

Στον Πίνακα 5.7 αναφέρονται οι κυριότεροι τρόποι ρύπανσης των νερών, το είδος των ρύπων και η επίδραση της ρύπανσης στο περιβάλλον και στο Σχήμα 5.14 παρουσιάζεται ένα παραστατικό διάγραμμα, όπου αποτυπώνονται οι κυριότερες διαδικασίες μεταφοράς των ρύπων στο υδατικό περιβάλλον.

Πηγή	Είδος ρύπου	Επίδραση
Χημικές βιομηχανίες Μεταλλουργεία	Cu, Pb, Zn, Cd, Hg Co, Cr, Ag, As, CN	Συσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Χημικές βιομηχανίες Βιομηχανίες τροφίμων Φαρμακευτικές βιομηχανίες Χαρτοποιεία	Φαινόλες, Αμμωνία Απορρυπαντικά, Ίνες χαρτιού	Ελαττώνουν το οξυγόνο Φαινόμενα ευτροφισμού Τοξικά προϊόντα (αμμωνία, φαινόλες) Ελάττωση της οικολογικής ποικιλότητας

Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)	Βαρέα μέταλλα, Αέρια Οργανικές ενώσεις, Ανόργανες ενώσεις	Ρύπανση υπόγειων υδροφόρων
Αγροτικές δραστηριότητες	Λιπάσματα, Εντομοκτόνα Παρασιτοκτόνα	Αύξηση νιτρικών ιόντων Καρκινογένεσεις
Κτηνοτροφικές δραστηριότητες Σφαγεία	Άζωτο, Φωσφόρος Βακτήρια, Μύκητες	Ρύπανση και μόλυνση υπόγειων και επιφανειακών νερών
Όξινη βροχή	Οξειδία S και N	Καταστροφή καλλιεργιών, δασών κ.λπ.
Πυρηνικοί σταθμοί	Ραδιενέργεια στο νερό	Γενετικές αλλοιώσεις Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Διύλιστήρια Διαρροές υδρογονανθράκων	Υδρογονάνθρακες Πετρέλαιο, Άσφαλτος	Καταστροφή πανίδας και χλωρίδας Εμποδίζουν την οξυγόνωση του νερού
Μεταλλευτικές Δραστηριότητες	Αιωρούμενα στερεά, Ορυκτές ενώσεις Όξινα απόβλητα	Ρύπανση αέρα και υπόγειων νερών Καθιζήσεις εδάφους
Ενεργειακοί σταθμοί Βιομηχανίες	Θερμό νερό	Θανάτωση των αυγών των ψαριών Ελάττωση του O ₂ , αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των οργανισμών
Διείσδυση της θάλασσας	Άλατα	Καταστροφή παράκτιων υδροφόρων οριζόντων

Πίνακας 5.7: Πηγές ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών



Σχήμα 5.14: Μεταφορά ρυπαντών στο υδατικό περιβάλλον.

5.4. Επιπτώσεις - Ανίχνευση της ρύπανσης

Γενικά η ρύπανση του επιφανειακού και υπόγειου νερού έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και ανιχνεύεται με έναν ή συνδυασμό περισσότερων τρόπων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- Από την περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα

Μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων δημιουργούν προβλήματα στους χρήστες (αλλοίωση της γεύσης, αύξηση της διαβρωτικότητας, δυσμενείς επιπτώσεις στην καλλιέργεια κ.ά.).

- Από την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς

Τα απόβλητα κυρίως αστικής και κτηνοτροφικής προέλευσης είναι φορείς παθογόνων μικροοργανισμών, που είναι υπεύθυνοι για τη διάδοση επικίνδυνων λοιμώξεων σε ανθρώπινους οργανισμούς.

- Από τα αιωρούμενα στερεά

Τα αιωρούμενα και κolloειδή στερεά υλικά μειώνουν τη διέλευση του ηλιακού φωτός, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία επιβίωσης της υδρόβιας πανίδας και χλωρίδας. Τα αιωρούμενα στερεά υλικά προκαλούν επίσης σημαντικά προβλήματα στα δίκτυα μεταφοράς του νερού και στις δεξαμενές.

- Από την περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο

Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες.

- Από το φαινόμενο του ευτροφισμού-άνθηση του νερού

Ευτροφισμός είναι η συνθήκη που επικρατεί σε εμπλουτισμένα με θρεπτικά συστατικά επιφανειακά υδροσυστήματα, στα οποία παρατηρείται υπερβολική βιολογική δραστηριότητα, ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου και αύξηση των φυκών και αλγών του νερού. Τα θρεπτικά συστατικά είναι κυρίως ενώσεις του P και N, που προέρχονται από τα απόβλητα αστικής, γεωργο-κτηνοτροφικής και βιομηχανικής προέλευσης. Η ανάπτυξη των αλγών (φύκη, φυτοπλαγκτόν, κ.ά.) μπορεί να γίνει ραγδαία με αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή του υδάτινου οικοσυστήματος.

Η εμφάνιση των νερών είναι θολή, φαιοπράσινη και δίνουν την εικόνα του βρώμικου. Η απότομη αύξηση φυτικών οργανισμών σε μια λίμνη, λόγω μεγάλης προσφοράς θρεπτικών συστατικών ονομάζεται και **άνθηση του**

νερού (water bloom). Ο ευτροφισμός μπορεί να μετατρέψει μια λίμνη σε έλος και στη συνέχεια σε στεριά.

- Από την περιεκτικότητα σε τοξικά μέταλλα και ενώσεις

Η παρουσία τοξικών στοιχείων στα νερά σχετίζεται με ανθρώπινες δραστηριότητες (απόβλητα). Περιεκτικότητες των στοιχείων αυτών άνω των επιτρεπτών ορίων έχει ως αποτέλεσμα τον θάνατο της υδρόβιας ζωής ή τη συσσωρευτική συγκέντρωση στους υδρόβιους οργανισμούς και διαμέσου της τροφικής αλυσίδας την άμεση επίδραση στον άνθρωπο.

- Από τη θερμική αλλοίωση

Μεγάλες ποσότητες φυσικών νερών χρησιμοποιούνται σαν ψυκτικό μέσο στη βιομηχανία (θερμοηλεκτρικά και πυρηνικά εργοστάσια) και αποβάλλονται μετά τη χρήση τους στους ποταμούς ή τη θάλασσα θερμότερα. Αυτό προκαλεί αρνητικές επιδράσεις όπως: μείωση διαλυμένου οξυγόνου, αύξηση της ταχύτητας των χημικών αντιδράσεων, υπέρμετρο πολλαπλασιασμό των βακτηριδίων, μείωση της ικανότητας αντίστασης των υδροχαρών οργανισμών κ.λπ.

- Από την περιεκτικότητα σε ραδιενεργές ουσίες

Οι πυρηνικές δοκιμές, οι εναέριες δοκιμές και χρήσεις ατομικών όπλων, οι πυρηνικές εφαρμογές στη βιομηχανία και την ιατρική αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές απελευθέρωσης ραδιενεργών ουσιών στο περιβάλλον.

- Υφαλμύριση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων

Οι παράκτιοι υδροφόροι ορίζοντες, κάτω από φυσικές συνθήκες, αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα. Οι έντονες αντλήσεις στις παράκτιες περιοχές ελαττώνουν ή αναστρέφουν τη φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα με συνέπεια τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Ο συντελεστής Revelle, η ιοντική ισχύς και διάφοροι λόγοι είναι παράμετροι με τις οποίες ανιχνεύεται η θαλάσσια διείσδυση. (Τσίσινας, 1985)

5.5. Μόλυνση των υδροφόρων από μικροοργανισμούς

Οι πιο σημαντικοί μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και τα παράσιτα. Κυριότερη πηγή μικροβιακής μόλυνσης είναι τα λύματα, λόγω των εντερικών περιττωμάτων. Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι οι ασθένειες τύφος, γαστρεντερίτιδα, διάρροια, χολέρα,

ηπατίτιδα κ.ά. Κατά την επεξεργασία των λυμάτων απομακρύνεται σημαντικός αριθμός παθογόνων μικροοργανισμών (97-100% με δευτεροβάθμια επεξεργασία).

Οι μικροοργανισμοί ανάλογα με το περιβάλλον που διαβιούν, διακρίνονται σε (Καλλέργης, 2000): θεرمόφιλους (45-250 °C), ψυχρόφιλους (-36 έως -15 °C), οξινόφιλους (pH<5), αλκαλιόφιλους (8,5<pH<11,5), αερόβιους (παρουσία O₂), αναερόβιους (απουσία O₂), αλόφιλους (NaCl 2,8-6,2 M).

Η επιβίωση των βακτηρίων στο υπόγειο νερό επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, τη θερμοκρασία, την υγρασία, το pH, την πίεση και τη συγκέντρωση θρεπτικών. Επιπλέον το πάχος και η φύση της ακόρεστης ζώνης ελέγχουν καθοριστικά την ανάπτυξη μικροβίων. Η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού καθορίζει τον χρόνο παραμονής αυτών στον υδροφόρο. Στην ακόρεστη ζώνη επικρατούν αερόβιες συνθήκες, ενώ στην κορεσμένη αναερόβιες συνθήκες.

Στα επιφανειακά στρώματα αφθονεί η οργανική ύλη από την οποία εξασφαλίζουν τροφή τα μικρόβια, ενώ στα βαθύτερα στρώματα απουσιάζει η οργανική ύλη. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μη επιβίωση αυτότροφων μικροβίων στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα.

Οι σπουδαιότερες μικροβιολογικές παράμετροι για την ανθρώπινη υγεία είναι:

- α) Οργανισμοί-δείκτες (κολοβακτήρια, στρεπτόκοκκοι)
- β) Παθογόνοι μικροοργανισμοί (σαλμονέλα, εντερομύκητες)

Η μεταφορά αυτών επηρεάζεται από την ταχύτητα κίνησης του υπόγειου νερού, τις ιδιότητες και το φορτίο του πορώδους μέσου. Η μεταφορά βακτηρίων στους υδροφορείς γίνεται με ελεύθερη μετακίνηση στα διάκενα, με διακοπτόμενη μετακίνηση κατά την οποία προσκολλώνται, αποκολλώνται και μετακινούνται εναλλάξ και τέλος με χημειοτακτισμό (chemotactic), κατά τον οποίο τα μικρόβια κινούνται εκλεκτικά από θέσεις με υψηλή συγκέντρωση σε κάποια χημική ουσία σε θέσεις με χαμηλή συγκέντρωση. (Στουρνάρας, 1996)

5.6. Αλληλεπίδραση ρυπαντών κι εδάφους - Φυσική απορρύπανση

Οι ρυπαντικές ουσίες ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά με διάφορους τρόπους όπως:

1. Με απευθείας κατείσδυση στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες από ρυπαντές που αποτίθενται επιφανειακά ή ενταφιάζονται σε μικρό βάθος.
2. Με διήθηση στο υπέδαφος από ρυπαντές που απορρίπτονται στα επιφανειακά νερά (ποτάμια, χείμαρροι).

Οι ρυπαντές μεταφέρονται στο σύστημα ροής των υπόγειων νερών με την επίδραση της υδραυλικής κλίσης και την υδροδυναμική διασπορά. Η διάδοση των ρύπων επηρεάζεται από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες (πυκνότητα, ιξώδες, θερμοκρασία κ.λπ.), που καθορίζουν την κινητικότητα και τη διάχυσή τους.

Οι ρυπαντές κινούμενοι στην ακόρεστη ζώνη, υφίστανται τη διαδικασία του φυσικού αυτοκαθαρισμού με αποτέλεσμα τη μείωση ή και εξουδετέρωση του ρυπαντικού τους φορτίου. Η φυσική αυτή διαδικασία απορρύπανσης είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των ρυπαντών με το έδαφος και περιλαμβάνει τους εξής μηχανισμούς:

Προσρόφηση (adsorption) είναι η διαδικασία κατά την οποία μια χημική ουσία προσκολλάται (δεσμεύεται) στην επιφάνεια των στερεών σωμάτων (αργιλικά ορυκτά).

Απορρόφηση (absorption) είναι η διαδικασία εκείνη κατά την οποία η χημική ουσία περνάει στο εσωτερικό των στερεών σωμάτων (Appelo & Postma, 1994). Η προσρόφηση και η απορρόφηση είναι δύο μορφές της ρόφησης (sorption), (Σχ. 5.15).

Με την προσρόφηση μπορούν να δεσμευθούν βαρέα μέταλλα (Pb, Hg, Ag), ιχνοστοιχεία (As, Se), μέταλλα (Cr, Cu), χημικές ενώσεις (οργανικοί διαλύτες, κυανίδια), ιόντα (NH₄⁺). Η προσρόφηση των μετάλλων και των ιόντων γίνεται με την επίδραση ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ των κατιόντων και των αρνητικά φορτισμένων αργιλικών στρώσεων. Μπορεί επίσης να επιτευχθεί προσρόφηση με καθίζηση του ιόντος μετάλλου ή των κυανιδίων με μορφή αλάτων π.χ. το Cr μπορεί να προσροφηθεί από υδροξείδιο του σιδήρου και να καθιζήσει ως αδιάλυτη ένωση σιδήρου.

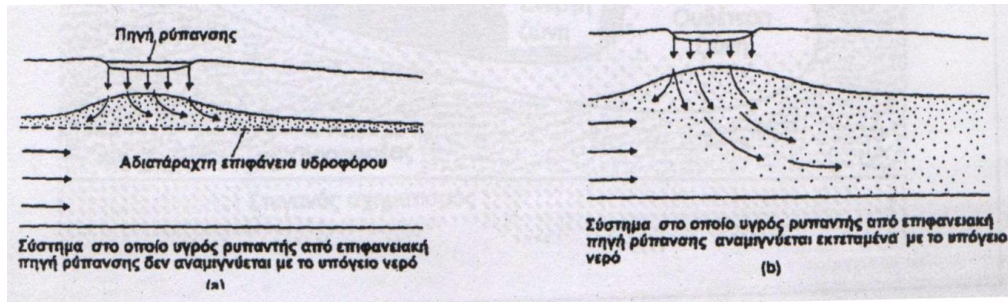


Σχήμα 5.15: Σχηματική παράσταση διαδικασιών ρόφησης (Appelo & Postma, 1994).

Ιοντοανταλλαγή (ion exchange) είναι η διαδικασία κατά την οποία ανταλλάσσονται ιόντα μεταξύ των ρυπαντών και του εδαφικού υλικού. Έτσι ιχνοστοιχεία όπως π.χ. το As μπορεί να δεσμευθεί στην επιφάνεια του ιλλίτη ή του μοντμοριλονίτη, αντικαθιστώντας ιόντα Ca^{2+} . Οι βάσεις ως πρωτονιοδέκτες (H^+) μπορούν να μετατραπούν σε θετικά φορτισμένα ιόντα (NH_4^+) και να αντικαταστήσουν άλλα ιόντα στην επιφάνεια των αργιλικών φύλλων. Τα οξέα μπορεί να ανταλλάξουν πρωτόνια (H^+) με τα κατιόντα της επιφάνειας των διπλών στρώσεων ή το Al^{+3} , Mg^{2+} και Si_4^+ του αργιλικού πλέγματος και να αδρανοποιηθούν (Appelo & Postma, 1994).

5.7. Ανάμιξη ρυπαντών υπόγειου νερού

Οι ρυπογόνες ουσίες όταν διαφεύγουν από τον χώρο αποθήκευσης-απόθεσής τους, κινούνται λόγω της βαρύτητας προς τα κάτω δια μέσου της μερικώς κορεσμένης ζώνης. Ένα μέρος τους συγκρατείται λόγω της γεωχημικής προσρόφησης, είτε λόγω της μηχανικής συγκράτησης μέσω τριχοειδών δυνάμεων και το υπόλοιπο φτάνει στον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα. Όταν οι ρύποι είναι αδιάλυτοι στο νερό η μόλυνση περιορίζεται στο επιφανειακό στρώμα της και στη βάση της ακόρεστης (μηδενική ανάμιξη). Στην περίπτωση που οι ρύποι αναμιγνύονται με το υπόγειο νερό, παρασύρονται από αυτό μολύνοντας όλο τον υδροφόρο (πλήρης ανάμιξη). Κατά την κίνησή τους υπόκεινται σε ποικίλες μηχανικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που έχουν σαν αποτέλεσμα εκτός από την επέκταση της ρύπανσης, την αραιώση των ρύπων και την βαθμιαία εξασθένηση του ρυπαντικού φορτίου. (Κουϊμτζής, 1994)



Σχήμα 5.16: Περιπτώσεις ανάμιξης υπόγειου νερού με υγρό ρυπαντή (a):μηδενική ανάμιξη, (b):πλήρης ανάμιξη.

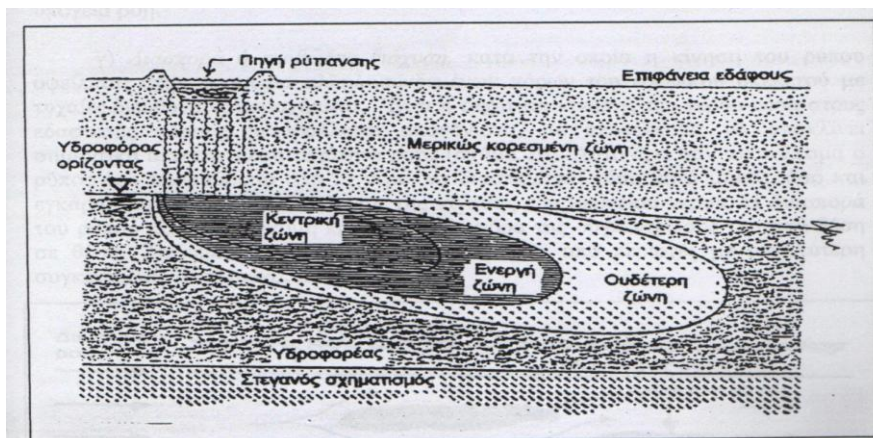
5.8. Φυσικοί μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων

Όταν οι ρύποι φτάσουν στον υδροφόρο ορίζοντα και αναμιχθούν με το υπόγειο νερό, μεταφέρονται από αυτό στον υπόλοιπο υδροφόρο. Κατά τη μεταφορά τους δημιουργούνται οι εξής ζώνες επιρροής των ρύπων :

-**Κεντρική ζώνη**, είναι η περιοχή που δέχεται τις ρυπογόνες ουσίες και έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση.

-**Ενεργή ζώνη**, είναι η περιοχή που έχουν μεταφερθεί οι ρύποι μέσω των μηχανισμών που αναφέρονται παρακάτω.

-**Ουδέτερη ζώνη**, είναι η περιοχή του υδροφόρου που δεν έχει μολυνθεί από τους ρύπους.



Σχήμα 5.17: Κίνηση ρύπων μέσα στο έδαφος.

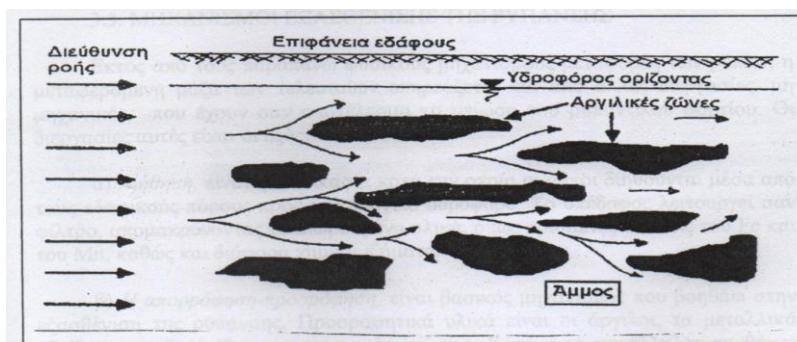
Η μεταφορά των ρύπων μέσα στο έδαφος γίνεται είτε με διάλυση, είτε με αιώρηση μέσα στο νερό μέσω των ακόλουθων μηχανισμών:

α) **Μεταγωγή ή υδραυλική μεταφορά**, κατά την οποία ο ρύπος ακολουθεί την κίνηση του υπόγειο νερού που ωφείλεται στην υδραυλική κλίση, δηλαδή

μετακινείται από περιοχές υψηλής ενέργειας σε περιοχές με χαμηλότερη ενέργεια. Κατά τη μεταγωγή η συγκέντρωση του ρύπου σε μία συγκεκριμένη θέση μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, καθώς από τη θέση αυτή διέρχονται νέα μόρια νερού με διαφορετική συγκέντρωση ρύπων. Κατά τη μεταγωγή όμως συγκεκριμένου όγκου νερού η συγκέντρωση των ρύπων δεν μεταβάλλεται καθώς ο όγκος μετακινείται παρακολουθώντας τη ροή, λόγω της αρχής διατήρησης της μάζας του ρύπου εντός του όγκου. Στην περίπτωση που η υδραυλική κλίση είναι μηδενική, δηλαδή δεν έχουμε υπόγεια ροή, η μεταγωγή δεν προκαλεί μεταφορά των ρύπων μέσα στο υδροφόρο.

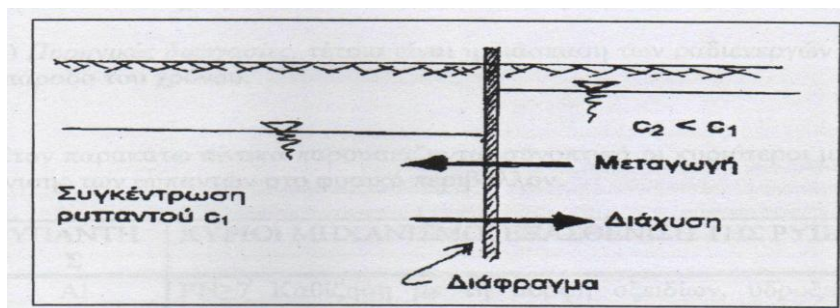
β) **Διάχυση ή μοριακή διάχυση**, κατά την οποία ο ρύπος διαχέεται μέσα στο υπόγειο νερό, λόγω διαφοράς της συγκέντρωσής του από θέση σε θέση. Η κίνηση του ρύπου γίνεται δηλαδή, από τις περιοχές με μεγαλύτερη συγκέντρωση προς τις περιοχές με χαμηλότερη, ώστε να εξισωθούν τελικά οι συγκεντρώσεις. Σύμφωνα με αυτόν τον μηχανισμό, η διάχυση του ρύπου δεν εξαρτάται από την κίνηση του υπόγειου νερού, επομένως διάχυση έχουμε και στην περίπτωση που δεν υπάρχει υπόγεια ροή.

γ) **Διασπορά ή τυρβώδης διάχυση**, κατά την οποία η κίνηση του ρύπου οφείλεται στην παρουσία αλληλοσυνδεμένων πόρων του εδαφικού σκελετού με τυχαίες διευθύνσεις και σχήματα. Έτσι η ταχύτητα κίνησης του νερού μέσα στους εδαφικούς πόρους μεταβάλλεται ακανόνιστα, με αποτέλεσμα να αποκλίνει σημαντικά από την μέση ταχύτητα ροής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο ρύπος που παρασύρεται από το νερό, να διασπείρεται τόσο κατά μήκος, όσο και εγκάρσια προς τη μέση διεύθυνση της κίνησης του υπόγειου νερού. Η διασπορά του ρύπου εξαρτάται ακόμη και από τη διαφορά της συγκέντρωσής του από θέση σε θέση. Έχουμε δηλαδή, διασπορά των ρύπων από περιοχές με μεγαλύτερη συγκέντρωση σε περιοχές με μικρότερη.



Σχήμα 5.18: Υδροδυναμική διασπορά της ρύπανσης κατά την κίνηση του υπόγειου νερού, διαμέσου των εδαφικών πόρων.

Οι παραπάνω μηχανισμοί μεταφοράς των ρύπων δρούν συνήθως ταυτόχρονα και πολλές φορές και ανταγωνιστικά. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μία τέτοια περίπτωση που ο μηχανισμός της μεταγωγής προκαλεί κίνηση του ρύπου από τα δεξιά προς τα αριστερά, δηλαδή προς την περιοχή χαμηλότερης συγκέντρωσης. (Καλλέργης, 2001)



Σχήμα 5.19: Ανταγωνιστική δράση των μηχανισμών μεταγωγής και διάχυσης ρύπων στο υπόγειο νερό.

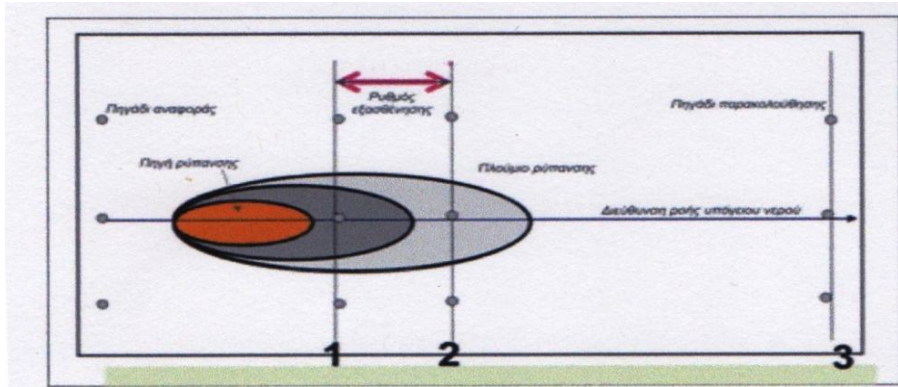
5.9. Μηχανισμοί εξασθένησης της ρύπανσης

Λόγω της μεγάλης ικανότητας αυτοκαθαρισμού του εδάφους και λόγω μιας σειράς διαδικασιών στην ακόρεστη ζώνη παρατηρείται μείωση του ρυπαντικού φορτίου και αναγέννηση του ρυπασμένου νερού. Το σύνολο των διαδικασιών αυτών συνιστά την ικανότητα εξασθένησης του ρυπαντικού φορτίου. Στην ακόρεστη ζώνη υπάρχει περίσσεια οργανικής ύλης και οξυγόνου και παρατηρούνται κυρίως αερόβιες αντιδράσεις με αποτέλεσμα τη μείωση του BOD, τη μετατροπή του αζώτου και της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα με τη δράση βακτηρίων.

Η ακόρεστη ζώνη φιλτράρει επίσης το νερό, λόγω της βραδείας κίνησης που έχει στη ζώνη αυτή και απομακρύνει τα βακτήρια και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα μικρά σε μέγεθος βακτήρια προσροφώνται σε αργιλικά ορυκτά, σε οργανικές ουσίες και σε ιόντα του εδάφους. Ο χρόνος επιβίωσης των βακτηρίων στο έδαφος κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες έως μερικούς μήνες, ενώ οι ιοί του εντέρου ζουν από 1-6 μήνες. Το έδαφος που αποτελεί το ανώτερο στρώμα της ακόρεστης ζώνης εμφανίζει αυξημένη βιολογική δραστηριότητα που συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης.

Ο ρυθμός εξασθένησης της ρύπανσης κατά τη μετανάστευση αυτής στην κορεσμένη ζώνη εκφράζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου στη

μονάδα του χρόνου (Σχ. 5.20) και εξαρτάται από το είδος του ρύπου και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.



Σχήμα 5.20: Επέκταση του πλούμιου ρύπανσης στην κορεσμένη ζώνη (Wohnlich, 2005).

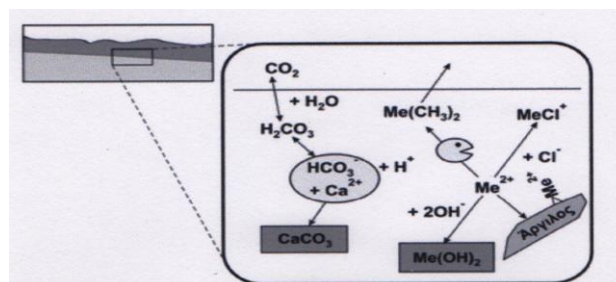
Τα νιτρικά όταν φθάσουν στην κορεσμένη ζώνη κινούνται με το υπόγειο νερό, χωρίς να υφίστανται εξασθένηση.

Τα κυανίδια μπορεί να αποδομηθούν υπό αερόβιες συνθήκες σε αμμωνία, άζωτο ή νιτρικά άλατα.

Τα φωσφορικά προσροφώνται και κατακρημνίζονται κατά την κίνησή τους στην ακόρεστη ζώνη μαζί με ιόντα Ca, Fe, Al.

Τα μεταλλικά ιόντα δεσμεύονται στα αργιλικά ορυκτά, τα υδροξειδία και το οργανικό υλικό (Σχ. 5.21). Στον Πίνακα παρουσιάζονται οι μηχανισμοί εξασθένησης των κυριότερων ρυπαντών στο φυσικό περιβάλλον. Αποδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται σε αερόβιες συνθήκες στα όρια των πλουμίων ρύπανσης. Επίσης οι μικροβιακοί οργανισμοί των υπόγειων νερών έχουν τη δυνατότητα δέσμευσης ανόργανων στοιχείων (N, C, P, S) και ορισμένων ιχνοστοιχείων για τη σύνθεση των κυττάρων τους (Αντωνόπουλος, 2001).

Η ύπαρξη ακόρεστης ζώνης, πάχους μερικών μέτρων, αποτελούμενη από λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα υλικά προστατεύει ικανοποιητικά τους υδροφόρους από τη μόλυνση.



Σχήμα 5.21: Αντιδράσεις μετάλλων στο έδαφος (Wohnlich, 2005).

Συνοψίζοντας, τις μη μηχανικές αυτές διεργασίες, που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου, έχουμε:

α) **Διήθηση**, είναι η διαδικασία κατά την οποία οι ρύποι διηθούνται μέσα από τους εδαφικούς πόρους προς το υπόγειο υδροφόρο. Το υπέδαφος λειτουργεί σαν φίλτρο, απομακρύνοντας τα αιωρούμενα υλικά, όπως ορισμένες ενώσεις του Fe και του Mn, καθώς και διάφορα χημικά ιζήματα.

β) Η **απορρόφηση-προσρόφηση**, είναι βασικός μηχανισμός που βοηθάει στην εξασθένηση της ρύπανσης. Προσροφητικά υλικά είναι οι άργιλοι, τα μεταλλικά οξειδία και υδροξειδία και οργανικές ενώσεις. Κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να προσροφηθούν και να απορροφηθούν όλοι οι ρύποι, εκτός των χλωριώντων, ενώ τα νιτρικά και τα θειικά απορροφούνται σε μικρές ποσότητες. Βέβαια το μέγεθος της προσρόφησης εξαρτάται εκτός από τον τύπο του ρύπου και από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του διαλύματος και των εδαφικών υλικών. Η προσροφητική ικανότητα των υλικών του υπεδάφους, για τις περισσότερες ανόργανες ουσίες είναι πεπερασμένη, κάτι που δεν ισχύει για τις βιοδιασπόμενες ουσίες, τα βακτήρια και την αμμωνία.

γ) **Χημικές διεργασίες**, κατά τις οποίες έχουμε απόθεση των ρύπων με μορφή ιζήματος (καθίζηση), οξειδωση – αναγωγή ρύπων ανάλογα με τις υδροχημικές συνθήκες του υπόγειου νερού και των εδαφικών σχηματισμών που οδηγούν στην απόθεση αδιάλυτων ιχνομετάλλων και στην έκκλιση αερίων.

δ) **Πυρηνικές διεργασίες**, τέτοια είναι η διάσπαση των ραδιενεργών ισωτόπων με την πάροδο του χρόνου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότεροι μηχανισμοί εξασθένησης των ρυπαντών στο φυσικό περιβάλλον. (Αντωνόπουλος, 2001)

α/α	ΡΥΠΑΝΤΗΣ	ΚΥΡΙΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
1	Al	PH \geq 7 Καθίζηση με τη μορφή οξειδίων, υδροξειδίων και πυριτικών αλάτων PH $<$ 7 Είναι ευδιάλυτο. Χαμηλής γενικώς κινητικότητας στις αργίλους
2	NH ₄	Κατιοντική ανταλλαγή, αμφίδρομη βιολογική μετετροπή σε νιτρικά ή και οργανικό άζωτο. Μέτρια κινητικότητα σε αργιλικά εδάφη.
3	As	Καθίζηση, προσρόφηση. Σε αερόβιο περιβάλλον αντιδρά με Fe, Ca, Al και

		δημιουργεί αρσενιούχες ενώσεις.
4	Ba	Προσρόφηση, ιοντοανταλλαγή, καθίζηση.
5	Be	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή.
6	B	Προσρόφηση, καθίζηση, ανάλογα με την παρουσία Al και Fe ³⁺ . Μεγάλη κινητικότητα στις αργίλους.
7	Cd	Καθίζηση, προσρόφηση.
8	Ca	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή. Υψηλή κινητικότητα στο αργιλικό έδαφος.
9	COD	Βιολογικός μετασχηματισμός σε CH ₄ και SO ₂ . Σχετικά ευκίνητο σε αργιλικό έδαφος. Στους ΧΥΤΑ η αποσύνθεσή του γίνεται αναερώβια. Έντονη μικροβιολογική δραστηριότητα για pH~ 7.
10	Cl	Αραιώση μόνο. Υψηλή κινητικότητα σε όλα τα εδάφη και υπό όλες τις συνθήκες.
11	Cr	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή και προσρόφηση.
12	Cu	Προσρόφηση, ιοντοανταλλαγή και χημική καθίζηση, ελεγχόμενες από το Ph του εδάφους. Η εξασθένιση είναι συνάρτηση του τύπου του εδάφους.
13	Κυανιούχα	Μόνο προσρόφηση και ανάλογα με το Ph του εδάφους. Είναι πολύ ευκίνητα σε αργιλικά εδάφη.
14	F	Ανιοντική ανταλλαγή. Υψηλή κινητικότητα σε αργιλικά εδάφη. Η διαλυτότητά του αυξάνει τόσο στα όξινα, όσο και στα αλκαλικά εδάφη.
15	Fe	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή, προσρόφηση, βιολογική δέσμευση.
16	Pb	Προσρόφηση, κατιοντική ανταλλαγή, καθίζηση.
17	Mg	Κατιοντική ανταλλαγή, καθίζηση.
18	Mn	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή
19	Hg	Προσρόφηση, καθίζηση, οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που οδηγούν σε εξαέρωση. Μεγάλη κινητικότητα στο έδαφος.
20	Ni	Προσρόφηση, καθίζηση.
21	NO ₃	Βιολογικός μετασχηματισμός (απονιτρίωση) σε αναγωγικό περιβάλλον και παρουσία πηγής άνθρακα. Πολύ ευκίνητο στο έδαφος.
22	PCBs	Προσρόφηση και βιοδιάσπαση. Η προσρόφηση μεγαλώνει όσο μικραίνει η κοκκομετρία.
23	K	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή. Μέτρια κινητικότητα σε αργιλικά εδάφη.
24	Se	Προσρόφηση, ανιοντική ανταλλαγή.
25	Na	Κατιοντική ανταλλαγή. Μικρές συγκεντρώσεις ιόντων, μετακινούνται στο έδαφος χωρίς να απομακρύνονται.

26	SO ₄	Ανιοντική ανταλλαγή.
27	Ιοι	Μικρή κινητικότητα στο έδαφος. Η απομάκρυνσή τους γίνεται κυρίως στα πρώτα μέτρα της ακόρεστης ζώνης, ιδιαίτερα όταν το έδαφος είναι αργλικό, το Ph είναι μικρό και με παρουσία κατιόντων.
28	Πτητικές οργανικές ενώσεις	Βιολογική δέσμευση και αραίωση πάντως σε μικρή έκταση.
29	Zn	Προσρόφηση, κατιοντική ανταλλαγή ελεγχόμενες από το Ph.

Πίνακας 5.8: Μηχανισμοί εξασθένησης ορισμένων ρυπαντών στο φυσικό περιβάλλον.

5.10. Εξέλιξη του ρυπαντικού φορτίου μετά την αναίρεση του αιτίου της ρύπανσης

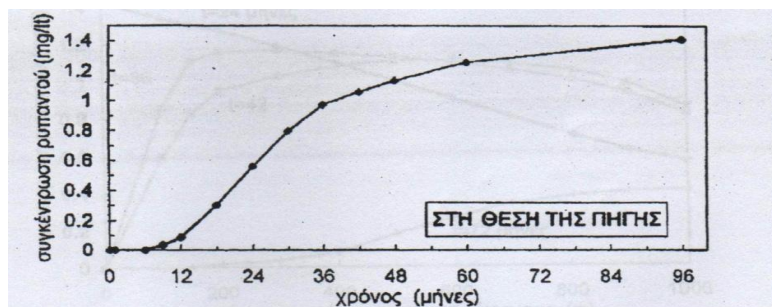
Όταν διαπιστωθεί αυξημένο ρυπαντικό φορτίο σε σημείο εκμετάλλευσης υδροφορέων, η πρώτη μέριμνα είναι να εντοπιστεί η εστία μόλυνσης, ώστε να ανααιρεθεί. Έχει παρατηρηθεί ότι ακόμη και η πλήρης και άμεση αναίρεση του φορτίου της ρύπανσης δεν έχει άμεση επιρροή στο ρυπαντικό φορτίο του σημείου εκμετάλλευσης. Πολλές φορές το τελευταίο συνεχίζει να αυξάνει επί μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την αναίρεση του αιτίου ρύπανσης. Αυτό οφείλεται στην μικρή ταχύτητα μεταφοράς του ρυπαντικού φορτίου μέσα στους εδαφικούς πόρους.

Ακόμη σε πολλές περιπτώσεις ο εντοπισμός της πηγής της ρύπανσης είναι αδύνατος (π.χ. εξαιτίας της μεγάλης έκτασής της) ή δεν είναι δυνατή η πλήρης αναίρεσή του αιτίου (π.χ. δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθούν πλήρως οι διηθήσεις από μία μεγάλη χωματερή).

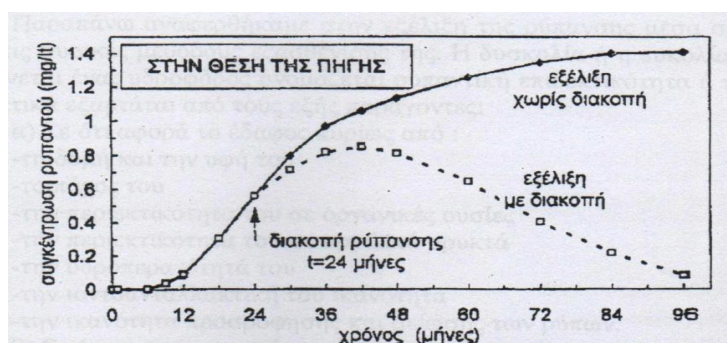
Συνδυάζοντας τα παραπάνω με το υψηλό κόστος παρεμβάσεων στην αντιμετώπιση της μόλυνσης, συμπεραίνουμε ότι η απορρύπανση ενός μολυσμένου υδροφόρου είναι πολύ δύσκολη και πολλές φορές ακατόρθωτη.

Τα παρακάτω σχήματα αποτελούν ενδεικτικές γραφικές παραστάσεις της συγκέντρωσης του ρυπαντικού φορτίου σε συγκεκριμένη απόσταση από την πηγή προέλευσής του σε συνάρτηση του χρόνου. Στο σχήμα βλέπουμε την εξέλιξη της ρύπανσης ύστερα από αναίρεση του αιτίου ρύπανσης. Το σχήμα μας δείχνει ενδεικτικά μία κατανομή της συγκέντρωσης των ρύπων σε οριζόντια διεύθυνση μετά την διακοπή της ρύπανσης, σε συνάρτηση της

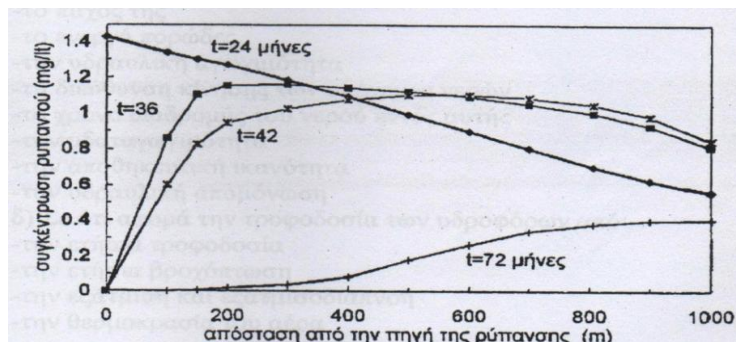
απόστασης από την πηγή και του χρόνου διακοπής. (Γεωργιάδης, Καλλέργης, Φερεντίνος, 2004)



Σχήμα 5.22: Χρονική εξέλιξη του ρυπαντικού φορτίου των πηγών ως προς τον χρόνο (με αφετηρία το χρόνο έναρξης της ρύπανσης του υδροφόρου σε απόσταση 1000 μέτρων έναντι των πηγών).



Σχήμα 5.23: Χρονική εξέλιξη της συγκέντρωσης του ρύπου στην θέση της κατάντη πηγής: (α) χωρίς διακοπή της τροφοδοσίας του υδροφόρου με ρυπαντικό φορτίο και (β) με διακοπή του αιτίου της ρύπανσης τη χρονική στιγμή $t=24$ μήνες.



Σχήμα 5.24: Εξέλιξη της κατανομής της συγκέντρωσης του ρύπου στην οριζόντια διεύθυνση (κατά μήκος του υδροφόρου) μετά την διακοπή του αιτίου ρύπανσης (που συναίβει τη χρονική στιγμή $t=24$ μήνες).

5.11. Ρυπαντική επιδεικτικότητα – Τρωτότητα

Η ρυπαντική επιδεικτικότητα εξαρτάται από:

- Σε ότι αφορά το έδαφος κυρίως από:
 - τη δομή και την υφή του

- το πάχος του
 - την περιεκτικότητά του σε οργανικές ουσίες
 - την περιεκτικότητά του σε αργιλικά ορυκτά
 - την υδροπερατότητά του
 - την ιοντοανταλλακτική του ικανότητα
 - την ικανότητα προσρόφησης και μείωσης των ρύπων
- Σε ότι αφορά την ακόρεστη ζώνη κυρίως από:
- το πάχος της (σε σχέση με τη στάθμη των υπόγειων νερών)
 - τη λιθολογία της
 - τη συμπύκνωση και τη στρωμάτωση
 - το χρόνο που απαιτείται για να τη διαπεράσει το νερό
 - την υδροπερατότητα
 - το βαθμό αποσάθρωσης
- Σε ότι αφορά την υδροφόρο (κορεσμένη) ζώνη κυρίως από:
- τη λιθολογία της
 - τη συμπύκνωση και τη στρωμάτωση των πετρωμάτων
 - το πάχος της
 - το ενεργό πορώδες
 - την υδραυλική αγωγιμότητα
 - τη διεύθυνση κίνησης των υπόγειων νερών
 - το χρόνο διαδρομής του νερού εντός αυτής
 - την υδαταγωγιμότητα
 - την αποθευτική ικανότητα
 - την υδραυλική απομόνωση
- Σε ότι αφορά την τροφοδοσία των υδροφόρων από:
- την ετήσια τροφοδοσία
 - την ετήσια βροχόπτωση
 - την εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή
 - την θερμοκρασία του αέρα

Δευτερεύοντως η ρυπαντική επιδεικτικότητα εξαρτάται από:

- Σε ότι αφορά την τοπογραφία από:
- την κλίση της επιφάνειας του εδάφους
 - τη φυτική κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους

- Σε ότι αφορά το γεωλογικό υπόβαθρο του υδροφορέα από:
 - την υδροπερατότητα
 - την τεκτονική δομή
- Σε ότι αφορά επαφή υπόγειου υδροφόρου συστήματος με επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες, χείμαροι) και θάλασσα από:
 - την μεταξύ τους υδραυλική χρήση
 - τα υδραυλικά φορτία χωροχρονικά
 - την υδαταγωγιμότητα της μεταξής τους ζώνης
 - τη θέση στο χώρο και χρόνο της διεπιφάνειας γλυκών και αλμυρών νερών.

Η **ρυπαντική τρωτότητα** των υπόγειων υδροφορέων συνδέεται και με:

- ✓ τη χρήση της γης (δάση, λιβάδεια, ακαλλιέργητες ή καλλιεργημένες εκτάσεις, βιομηχανικές ζώνες, αστικές ή αγροτικές χρήσεις κ.α.)
- ✓ την πληθυσμιακή πυκνότητα
- ✓ την άρδευση
- ✓ την αποστράγγιση κ.α. (Βουδούρης, Μανδηλαράς, 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΩΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ - ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

6.1. Γενικά

Η ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων εντάσσεται στην επιταγή του άρθρου 24 του Συντάγματος για την προστασία του περιβάλλοντος, με σύγχρονη εξυπηρέτηση του δημοσίου συμφέροντος, που στην περίπτωση αυτή είναι η υγεία των πολιτών. Ως **στερεό μη επικίνδυνο απόβλητο** θεωρείται κάθε ουσία που μπορεί να απορριφθεί και είναι:

1. τα αστικά απορρίμματα
2. τα αδρανή οικοδομικά υλικά
3. τα μη επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα (μεταχειρισμένα ελαστικά, απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, κ.ά)
4. τα γαιώδη υλικά που έχουν υποστεί ρύπανση και ιλύς από βιολογικούς καθαρισμούς

Επικίνδυνα απόβλητα είναι: αγροχημικά, λάσπες του πυθμένα δεξαμενών, απόβλητα από βιομηχανίες δέρματος, συντήρησης ξύλου, σκωρίες από επεξεργασία μεταλλευμάτων κ.ά. Η διάθεση των αποβλήτων αυτών γίνεται με ειδικές διατάξεις (ΚΥΑ 19396/1546/97, ΦΕΚ 604B/18-7-1997), ώστε να μην προκαλείται κίνδυνος στη δημόσια υγεία (υγειονομική ταφή, επεξεργασία στο έδαφος, έκχυση σε βάθος, απόρριψη στη θάλασσα ή ταφή στο θαλάσσιο βυθό, αποτέφρωση στο έδαφος ή στη θάλασσα, βιολογική επεξεργασία κ.λπ). Κάθε χρόνο παράγονται στην Ελλάδα 4.500.000 τόνοι αστικών αποβλήτων (στοιχεία 2001) με συνεχή τάση αύξησης (3.900.000 τόνοι το έτος 1997). Τα απορριπτόμενα υλικά συσκευασίας αποτελούν περίπου το 20% κ.β. με σύνθεση: χαρτί-χαρτόνι 42%, πλαστικά 26%, γυαλί 18%, μέταλλα 8% και ξύλο 6%.

Με βάση τον πληθυσμό της Ελλάδας η ημερήσια ποσότητα των παραγόμενων αστικών αποβλήτων (απορριμμάτων) ανέρχεται, με στοιχεία του 2004, σε 1,4 kg/άτομο (από 0,9 kg/άτομο το έτος 1997). Για τη διάθεσή τους υπάρχουν χώροι:

1. Ελεγχόμενης απόθεσης (έχουν στεγανοποιημένη βάση)

2. Χώροι ημιελεγχόμενης απόθεσης (απουσία στεγανοποιημένης βάσης) και
3. Ανεξέλεγκτοι χώροι απορρίψης ή χωματερές ή Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων, Χ.Α.Δ.Α. (απουσία συστημάτων διαχείρισης στραγγισμάτων, βιοαερίου κ.λπ.).

Μέχρι τη δεκαετία του 1960 το σύνολο των στερεών αποβλήτων διετίθετο σε χωματερές, χωρίς ιδιαίτερα μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων, την εκδήλωση πυρκαγιών και γενικότερα την ποιοτική υποβάθμιση των περιοχών. Με την ευαισθητοποίηση των πολιτών σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς και την ανάπτυξη της τεχνολογίας άρχισε η χωροθέτηση χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ). Οι σύγχρονες τάσεις στη διαχείριση των αποβλήτων, σύμφωνα και με την ευρωπαϊκή νομοθεσία (ψήφισμα του Συμβουλίου της Ε.Ε. της 7ης Μαΐου 1990- 90/c122/02) είναι:

- Η ελαχιστοποίηση των στερεών αποβλήτων
- Η επανάκτηση με ανακύκλωση χρήσιμων υλικών
- Η εναλλακτική διαχείριση επικίνδυνων και ειδικών αποβλήτων
- Η βελτιστοποίηση της τελικής διάθεσης των αποβλήτων και
- Η βελτίωση και εξυγίανση των υφιστάμενων χώρων απόθεσης.

Από τα ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί, μέταλλα, γυαλί και πλαστικό) μόνο ένα ποσοστό 21% ανακυκλώνεται, αντιπροσωπεύοντας το 9% του συνόλου των αστικών απορριμμάτων, ενώ το υπόλοιπο καταλήγει σε ΧΥΤΑ ή χωματερές. Παρακάτω δίνεται έμφαση στη διαχείριση των αστικών απορριμμάτων που αποτελούν το 85% του συνόλου των στερεών αποβλήτων και επιπλέον ένα πολύπλοκο πρόβλημα με περιβαλλοντικές και κοινωνικές προεκτάσεις. Παρόλη την ενημέρωση των πολιτών είναι ισχυρό ακόμα το σύνδρομο «not in my back yard» (μακριά από την πόρτα μου), που καθιστά τη διαχείριση των απορριμμάτων ένα δημόσιο πρόβλημα πρώτου μεγέθους.

6.2. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων

Η σύσταση των αστικών απορριμμάτων διαφέρει από χώρα σε χώρα και από εποχή σε εποχή. Η μέση ποιοτική σύσταση των απορριμμάτων στη χώρα μας, με βάση τα στοιχεία του ΕΣΔΚ Νομού Αττικής, του πολεοδομικού

συγκροτήματος Θεσσαλονίκης και του Δήμου Κω φαίνεται στον Πίνακα 6.1. Ένα μεγάλο ποσοστό (75-85%) των ουσιών που περιέχονται στα αστικά απορρίμματα είναι οργανικές (κυτταρίνη, πρωτεΐνες, άμυλο, λιγνίτη, σάκχαρα) και μπορεί να αποδομηθούν. Το άζωτο βρίσκεται σε αναλογία περίπου 0,5%, το κάλιο και ο φωσφόρος (σε μορφή P₂O₅) σε ποσοστό 0,3-0,4%, το ασβέστιο 5%, το θείο 0,5-2%, το μαγνήσιο 0,6% και το πυρίτιο σε αναλογία 10-30%.

Οι κυριότερες αλλαγές στη σύσταση των απορριμμάτων τα τελευταία χρόνια είναι: η ελάττωση της στάχτης, η μείωση των φυτικών υλών, η αύξηση των υλικών συσκευασίας (χαρτιά, πλαστικά), η σχετική αύξηση των πλαστικών έναντι του γυαλιού, η αύξηση επικίνδυνων χημικών (υγρά καθαρισμού, ορυκτέλαια κ.λπ.).

Η υγρασία των απορριμμάτων κυμαίνεται από 25% έως 60% και μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή και είναι πιο μεγάλη το καλοκαίρι, λόγω της μεγάλης αναλογίας λαχανικών και φρούτων.

Η περιεχόμενη υγρασία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Περιεχόμενη υγρασία (\%)} = [(a-b) / a] \times 100$$

όπου: α το αρχικό βάρος των απορριμμάτων και β το βάρος του δείγματος μετά την πλήρη ξήρανση.

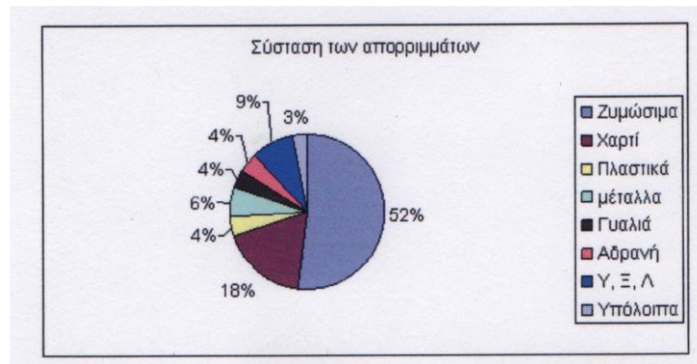
Τα υπολείμματα των τροφών περιέχουν υψηλό ποσοστό υγρασίας 50-80%, η φυτική ύλη 30-80%, το ξύλο 15-40%, το χαρτί 4-10%.

Η πυκνότητα των απορριμμάτων είναι της τάξης των 185-250 kg/m³. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 1.200 έως 2.000 kcal/kg και αυξάνεται τα τελευταία χρόνια.

A/α	Υλικό	ΕΣΔΚ Νομού Αττικής	Δήμος Κω	Πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης	Μέση τιμή Ελλάδας
1	Ζυμώσιμα	48,5	37,1	52,0	49,0
2	Χαρτί	22,0	25,0	18,0	20,0
3	Υφάσματα, ξύλα, λάστιχα	3,5	4,6	9,0	5,0
4	Πλαστικά	10,5	10,9	4,0	8,5
5	Μέταλλα	4,2	5,4	6,0	4,5

6	Γυαλιά	3,5	12,3	4,0	4,5
7	Αδρανή υλικά	3,3	3,2	4,0	3,0
8	Υπόλοιπα	4,5	1,5	3,0	5,5

Πίνακας 6.1: Μέση σύσταση (%) των αστικών απορριμμάτων



Σχήμα 6.1: Ποσοστιαία σύσταση κατά βάρος των απορριμμάτων του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Υ, Ξ, Λ = υφάσματα, ξύλα, λάστιχα).

6.3. Μέθοδοι διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων

Οι βασικές μέθοδοι διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων είναι οι κάτωθι:

1) Βιολογική επεξεργασία

Το οργανικό ποσοστό των αστικών απορριμμάτων είναι υψηλό και μετά από μια αερόβια βιολογική επεξεργασία (κομποστοποίηση) παράγει ένα προϊόν που ονομάζεται compost. Το προϊόν αυτό περιέχει θρεπτικά συστατικά (K, P, ιχνοστοιχεία) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό (λιπασματοποίηση) ή ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται μικρή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, υψηλό ποσοστό ζυμώσιμων υλικών και υγρασίας και ο λόγος C/N να είναι μικρότερος από 30. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να προστεθεί άζωτο, το οποίο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η λιπασματοποίηση γίνεται είτε σε σωρούς με φυσικό αερισμό, είτε σε βιοαντιδραστήρα, όπου η διεργασία επιταχύνεται σημαντικά. Η μέθοδος συνδυάζεται με συστήματα μηχανικού διαχωρισμού για την ανάκτηση υλικών όπως γυαλί, πλαστικά, σίδηρος κ.λπ. Ακολουθώντας τα υπόλοιπα υλικά που απομένουν κατατεμαχίζονται και μετατρέπονται σε μια ομογενή μάζα, διευκολύνοντας τη δράση των μικροοργανισμών. Η μέθοδος είναι φιλική στο περιβάλλον και δίνει περαιτέρω περιθώρια εφαρμογής της ανακύκλωσης στα

υπόλοιπα υλικά (χαρτικά, μέταλλα, γυαλιά). Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η πιθανή ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, η περιεκτικότητα σε μικρά τεμάχια γυαλιού, πλαστικών κ.λπ., που δυσχεραίνει την εφαρμογή της και η παρουσία βαρέων μετάλλων. Επιπλέον ο μεγάλος χρόνος ωρίμανσης που απαιτείται για τη μετατροπή των απορριμμάτων σε εδαφοβελτιωτικό, το υψηλό κόστος μεταφοράς του υλικού στις καλλιέργειες, η καχυποψία των αγροτών για την καταλληλότητά του καθιστούν τη μέθοδο μη εφαρμόσιμη σε ευρεία κλίμακα.

Κατά την **αναερόβια** βιολογική ζύμωση παράγεται αέριο (CH_4 και CO_2) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Η αναερόβια βιολογική επεξεργασία έχει χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία της λυματολάσπης των βιολογικών καθαρισμών και μπορεί να εφαρμοσθεί και στην επεξεργασία των αστικών απορριμμάτων σε συνδυασμό με τη χρήση λυματολάσπης (Φάττα, 2005).

2) Θερμική επεξεργασία

Τα υλικά οδηγούνται σε κλιβάνους και καίγονται παρουσία οξυγόνου (**καύση-αποτέφρωση**, incineration), αφού πρώτα γίνει ανάκτηση χρήσιμων υλικών. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου παράγεται θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια και μειώνεται σημαντικά ο όγκος των απορριμμάτων από 65% έως 90%. Εκπέμπονται όμως αέριοι ρύποι (διοξίνες, φουράνια, CO , CO_2 , SO_2 , HCl , βαρέα μέταλλα, κ.ά) και παράγονται κατάλοιπα (10-30%) που απαιτούν υγειονομική ταφή. Επιπλέον μειονέκτημα της θερμικής επεξεργασίας είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας, γιατί απαιτεί μονάδα αφαίρεσης του οργανικού κλάσματος, μονάδα βιοσταθεροποίησης του διαχωριζόμενου οργανικού κλάσματος, χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ) και μονάδα διαχωρισμού και επεξεργασίας των τοξικών αερίων προϊόντων. Στην Ελλάδα δεν λειτουργούν μονάδες ελεγχόμενης καύσης, εκτός των νοσοκομειακών αποβλήτων που καίγονται, λόγω του μικροβιακού τους φορτίου.

Κατά την **πυρόλυση** (pyrolysis), που είναι ενδόθερμη, γίνεται θερμική αποσύνθεση των οργανικών υλικών, απουσία O_2 . Η **αεριοποίηση** (gasification) είναι μέθοδος θερμικής επεξεργασίας, κατά την οποία μέσω ελεγχόμενης καύσης παράγεται καύσιμο αέριο (κυρίως CH_4 και H_2).

3) Υγειονομική ταφή

Αποτελεί την πλέον ολοκληρωμένη, οικονομική, συμβατή με τον εθνικό σχεδιασμό και περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδο διαχείρισης των απορριμμάτων (50% των παγκοσμίως παραγόμενων απορριμμάτων διατίθεται με αυτόν τον τρόπο). Η λειτουργικότητα των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) εξαρτάται από:

1. την ικανή έκταση για να καλύψει τις ανάγκες σε ορισμένο χρονικό διάστημα και την εύκολη πρόσβαση
2. τη μικρή απόσταση από τον τόπο παραγωγής και συλλογής των απορριμμάτων
3. την πρόσβαση σε δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος και υδρευτικό δίκτυο
4. την ύπαρξη υδροφόρων οριζόντων
5. την ύπαρξη σε μικρή απόσταση υλικού κατάλληλου για επικάλυψη
6. την καταλληλότητα της τοπογραφίας και την ευστάθεια των πρανών
7. τις καλές γεωτεχνικές ιδιότητες του χώρου
8. την τεκτονική κατάσταση της ευρύτερης περιοχής
9. τη σεισμικότητα
10. την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών απορροών

Η σωστή εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί:

- Χωροθέτηση κατάλληλου χώρου
- Καθημερινή συμπίεση και επικάλυψη των αποτιθέμενων απορριμμάτων
- Έλεγχο και συλλογή του παραγόμενου στραγγίσματος
- Απομάκρυνση του παραγόμενου βιοαέριου
- Αποκατάσταση του χώρου μετά το τέλος των εργασιών απόθεσης (~25 έτη).

6.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός ΧΥΤΑ

Οι **περιβαλλοντικές επιπτώσεις** από τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων σχετίζονται με:

-Παραγωγή διασταλαζόντων υγρών και πιθανή ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και του εδάφους

-Ρύπανση επιφανειακών νερών

-Εκπομπή αερίων (CH₄, CO₂, SO₂, NH₃, H₂S κ.ά)

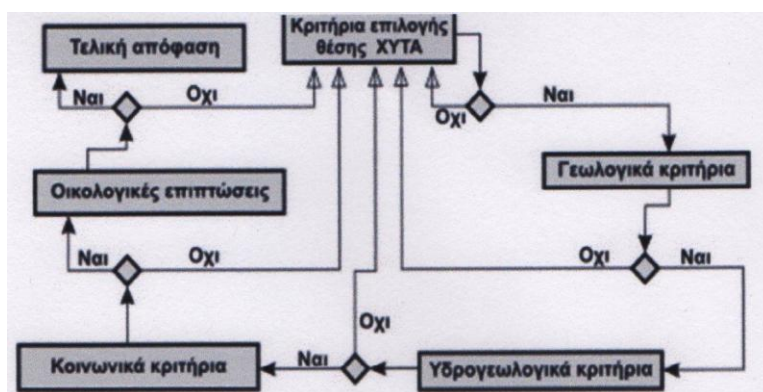
- Εμφάνιση διαφόρων ζωικών ειδών (ποντίκια, έντομα, πτηνά)
- Επιπτώσεις στην πανίδα και ειδικά σε ευαίσθητα φυτά και δένδρα
- Αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και αισθητική όχληση
- Δυσσομία, Σκόνη, Διασπορά μικρών αντικειμένων με τον άνεμο
- Θόρυβοι από τη λειτουργία μηχανημάτων μεταφοράς και συμπύεσης
- Κίνδυνοι ανάφλεξης
- Κίνδυνος κατολίσθησης
- Κίνδυνος καθίζησης και διάβρωσης του υλικού επικάλυψης.

Για να κατανοηθούν οι μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον αναφέρουμε ότι, η αυτανάφλεξη της χωματερής στην περιοχή Ταγαράδων Θεσσαλονίκης τον Ιούλιο του 2006, είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή διοξινών στο περιβάλλον, που ανιχνεύθηκαν στο έδαφος και τα ζώα σε απόσταση 3-5 km για χρονικό διάστημα 10-15 ημερών.

6.5. Κριτήρια επιλογής της θέσης ενός ΧΥΤΑ

Ένας σωστά σχεδιασμένος ΧΥΤΑ πρέπει να εξασφαλίζει στεγανότητα, σταθερότητα των γεωλογικών σχηματισμών, να μην επηρεάζει τους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής, να είναι μακριά από αρχαιολογικούς χώρους, βιότοπους, αεροδρόμια κ.λπ.

Για την επιλογή της θέσης υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες όπως, το κλίμα, μορφολογία, η απόσταση από την πηγή γένεσης των απορριμμάτων, οι υδρογεωλογικές συνθήκες, η σεισμικότητα της περιοχής και η κοινωνική αποδοχή (Σχ. 6.2).



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα ροής των διαδικασιών επιλογής θέσης ΧΥΤΑ (Καλλέργης 2000).

Η επιλογή της κατάλληλης θέσης για τη δημιουργία ΧΥΤΑ πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα κάτωθι κριτήρια (Πίν. 6.2):

➤ **Γεωλογικά κριτήρια**

Εξετάζεται η λιθολογία και στρωματογραφία (σύνθεση και ποιότητα εδάφους, φύση υποβάθρου, βάθος από τον πυθμένα του αποδέκτη, πάχος αποσαθρωμένου μανδύα, ύπαρξη καρστικών εγκοίλων), καθώς και η τεκτονική (ρήγματα, σεισμικότητα).

Απαγορευτικές συνθήκες από γεωλογική άποψη είναι: η παρουσία ασβεστολίθων και διαρρηγμένων πετρωμάτων σε μικρό βάθος από τον πυθμένα και η ύπαρξη ενεργών ρηξιγενών ζωνών (λόγω αυξημένης διαπερατότητας και πιθανών μετακινήσεων).

➤ **Υδρογεωλογικά κριτήρια**

Το γεωλογικό υπόβαθρο θεωρείται κατάλληλο για ΧΥΤΑ, όταν ο συντελεστής υδροπερατότητάς του είναι $k/ 10^{-7}$ m/s, ώστε μετά την επεξεργασία να πάρει την επιθυμητή τιμή $k/ 10^{-9}$ m/s. Το πάχος της ακόρεστης ζώνης πρέπει να έχει ένα ελάχιστο πάχος 5 m για τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών αυτοκαθαρισμού και αποτροπή πιθανής ρύπανσης. Το βάθος και οι διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού από τον πυθμένα του ΧΥΤΑ πρέπει να εξετάζονται πριν τη χωροθέτησή του. Ελέγχονται επίσης οι υδραυλικές παράμετροι των υδροφόρων, η γεωμετρία τους, οι πιθανές εισροές από γειτονικές λεκάνες, οι ζώνες προστασίας υδροληπτικών έργων και ιαματικών νερών, η ποιότητα των υπόγειων νερών και το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής. Η παρουσία υδροφορέων σε μικρό βάθος, ειδικά στην περίπτωση που εκμεταλλεύονται για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών αποτελεί απαγορευτικό παράγοντα για την εγκατάσταση ΧΥΤΑ.

Προτιμούνται κύρια περιοχές στις οποίες η στάθμη του υπόγειου νερού είναι σε μεγάλο βάθος, με μικρή διακύμανση της στάθμης και ποιοτικά υποβαθμισμένες (π.χ. λόγω υφαλμύρισης). Επιπλέον προτιμούνται σχηματισμοί με μικρή υδροπερατότητα (στεγανοί), με υψηλό pH (μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων) και μεγάλη ικανότητα κατιοανταλλαγής (εξασθενεί τους ρύπους μέσω προσρόφησης και ανταλλαγής κατιόντων).

➤ **Γεωτεχνικά κριτήρια**

Ελέγχονται: η ευστάθεια, η διαβρωσιμότητα του εδάφους, η πιθανότητα εκδήλωσης καθιζήσεων και φαινομένων ερπυσμού (creep), καθώς και τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφών (βλ. κεφάλαιο 2). Ο έλεγχος της ευστάθειας γίνεται με την εκτίμηση των εξής παραμέτρων: τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος έδρασης, τις κλίσεις των πρανών, το βάρος των απορριμμάτων, το είδος της επιφανειακής κάλυψης. Γενικά προτιμούνται περιοχές οριζόντιες ή με μικρές κλίσεις (<15%) και γενικά αποφεύγονται ασταθείς περιοχές, που είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις, με φτωχές συνθήκες θεμελίωσης, καθώς και σεισμικά ευάλωτες περιοχές.

➤ **Κριτήρια χωροταξίας**

Αποστάσεις από οικισμούς και απόκρυψη. Απόσταση από πηγές, οδούς, μνημεία, χώρους αναψυχής, αρχαιολογικούς χώρους, πολιτιστικούς χώρους και δραστηριότητες κ.λπ.

Γενικά απαγορεύεται η εγκατάσταση ΧΥΤΑ σε περιοχές:

-αρχαιολογικού και πολιτιστικού ενδιαφέροντος, δηλ. κηρυγμένοι αρχαιολογικοί χώροι.

-παραδοσιακούς οικισμούς

-οικιστικές περιοχές, που περιλαμβάνει περιοχές εντός ορίων σχεδίου πόλης και εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό κάτω των 2.000 κατοίκων, περιοχές εντός ορίων οικοδομικών συνεταιρισμών Α ή και Β κατοικίας, περιοχές ιδιωτικής πολεοδόμησης του Ν. 1947/91 για οικιστική χρήση.

Η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση από ποταμούς είναι 100 m, από λίμνες 300 m, από εθνικές οδούς 300 m, από αεροδρόμια 3.000 m και από υδρευτικές γεωτρήσεις 400 m.

➤ **Περιβαλλοντικά κριτήρια**

Αξιολογούνται οι επιδράσεις στην πανίδα και χλωρίδα και η αισθητική κατάσταση του κυρίως χώρου του ΧΥΤΑ, σε σχέση με τη δυνατότητα αναβάθμισής του. Τηρούνται οι αποστάσεις από υπάρχοντες βιότοπους ή υγροβιότοπους.

Δεν είναι επιλέξιμες θέσεις για την κατασκευή ΧΥΤΑ οι υγροβιότοποι. Σε νησιά, σύμφωνα με κοινή απόφαση των Υπουργείων ΠΕΧΩΔΕ και Οικονομίας (2006), θα μπορούν να δημιουργηθούν μικροί ΧΥΤΑ και σε προστατευόμενες περιοχές (δίκτυο NATURA, Ramsar) με αυστηρούς περιβαλλοντικούς όρους. Κλιματικά-υδρολογικά κριτήρια

Εξετάζονται και αξιολογούνται τα παρακάτω:

- Η ένταση και διεύθυνση του ανέμου γιατί ρυθμίζουν τη μεταφορά των οσμών
- Μέγεθος λεκάνης απορροής, επιφανειακή απορροή
- Η ένταση και κατανομή των βροχοπτώσεων (πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας και ανάγκη αποστράγγισης).
- Η εξατμισοδιαπνοή. Περιοχές με έντονη εξάτμιση ξηραίνουν και ρηγματώνουν τις αργιλικές μεμβράνες.
- Στοιχεία μικροκλίματος της περιοχής (π.χ. συχνότητα και διάρκεια θερμοκρασιακών αναστροφών, συχνότητα και διεύθυνση μεταβατικών ρευμάτων).

➤ **Οικονομικά κριτήρια**

Από οικονομική άποψη πρέπει να προσμετρηθούν και συνεκτιμηθούν τα εξής κόστη:

1. Κόστος μεταφοράς των απορριμμάτων
2. Αγορά (αξία γης) και διαμόρφωση του χώρου
3. Έργα για τη στεγανοποίηση του πυθμένα και των πρανών και συλλογής στραγγισμάτων
4. Διαθεσιμότητα δικτύων (ύδρευση, ηλεκτρική ενέργεια κ.ά).
5. Ευχέρεια εκτέλεσης έργων υποδομής (τάφος ομβρίων υδάτων, οδοποιία κ.ά).

Ο απαιτούμενος χώρος ταφής των απορριμμάτων σχετίζεται με τον πληθυσμό, την παραγόμενη ποσότητα ανά κάτοικο, την πυκνότητα, τον αριθμό των στρωμάτων (ταμπάνια) και το λόγο συμπίεσης.

➤ **Λειτουργικά κριτήρια**

Λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω δεδομένα:

1. Χωρητικότητα (δηλ. διάρκεια ζωής) του ΧΥΤΑ
2. Ευχέρεια απόκτησης του χώρου, σε σχέση με τον χαρακτήρα της περιοχής και το ιδιοκτησιακό του καθεστώς
3. Διαθεσιμότητα υλικού επικάλυψης.

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2000) η διερεύνηση για την επιλογή της κατάλληλης θέσης για ΧΥΤΑ περιλαμβάνει τρία στάδια:

Το **πρώτο** στάδιο διερεύνησης περιλαμβάνει τον ακριβή καθορισμό:

- της απαιτούμενης επιφάνειας, για τη διάθεση των απορριμμάτων και της επάρκειας του διαθέσιμου χώρου

- της μέγιστης, οικονομικά και τεχνικά, επιτρεπόμενης απόστασης από την πηγή παραγωγής των απορριμμάτων
- χωρικοί περιορισμοί (αρχαιολογικοί, δασολογικοί, οικιστικοί κ.λπ.) και συμβατότητα με τα υφιστάμενα τοπικά σχέδια χρήσης γης.

Το **δεύτερο** στάδιο διερεύνησης συνίσταται στην εξέταση των υποψήφιων θέσεων που προκρίθηκαν από γεωλογική και κοινωνική άποψη, λαμβάνοντας υπόψη τα εξής κριτήρια:

- **Χωροταξικά.** Ευκολία πρόσβασης, γειτνίαση με επιφανειακά σώματα νερού (ποτάμια, χείμαρροι, λίμνες), καθώς και εγκαταστάσεις και μέσα υποστήριξης για την ανάπτυξη ΧΥΤΑ και διαθεσιμότητά τους (δρόμοι, δίκτυα).
- **Γεωλογικά.** Στρωματογραφική και τεκτονική δομή των πιθανών θέσεων, γεωλογική ταξινόμηση των υλικών του πυθμένα της μελλοντικής χωματερής, εκσκαψιμότητα των υλικών, γεωτεχνικές ιδιότητες, επάρκεια υλικών επικάλυψης των απορριμμάτων, σεισμικότητα της περιοχής και σύνδεσή της με την τοπική τεκτονική (ενεργά ρήγματα, ζώνες διάρρηξης κ.λπ.), γεωμορφολογία των πιθανών θέσεων (κλίσεις πρανών, ασταθείς μάζες κ.λπ.).
- **Υδρογεωλογικά.** Το πάχος και η λιθολογία της κορεσμένης και της ακόρεστης ζώνης, οι υδραυλικές παράμετροι (υδροπερατότητα, μεταβιβαστικότητα, διαχυτικότητα T/S), ο τύπος των υδροφόρων και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους, το υδραυλικό καθεστώς, οι περιοχές τροφοδοσίας και εκφόρτισης των υδροφόρων, τα υφιστάμενα έργα υδροληψίας, η ποιότητα του υπόγειου νερού και οι χρήσεις του.
- **Κοινωνικά.** Η προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Το **τρίτο** στάδιο διερεύνησης περιλαμβάνει λεπτομερείς έρευνες πεδίου, όπως γεωτεχνική επάρκεια του πυθμένα του ΧΥΤΑ για τον περιορισμό των ρυπογόνων στραγγισμάτων, η ικανότητα αυτοκαθαρισμού του κ.λπ. Επιπλέον ποσοτικοποίηση των πληροφοριών που αναφέρονται στα εξής χαρακτηριστικά:

- λιθοφασική σύσταση, εκσκαψιμότητα, υδροπερατότητα, αντοχή, συμπίεστικότητα
- ικανότητα συγκράτησης ή παραπέρα διοχέτευσης των ρύπων
- πάχος και φύση της ακόρεστης ζώνης

- τυχόν παρουσία του υποβάθρου και το βάθος του
- πιθανότητα υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών
- τρωτότητα της θέσης απέναντι σε εξωτερική ρύπανση, που είναι ενδεχόμενο να δημιουργηθεί από την εγκατάσταση του ΧΥΤΑ.

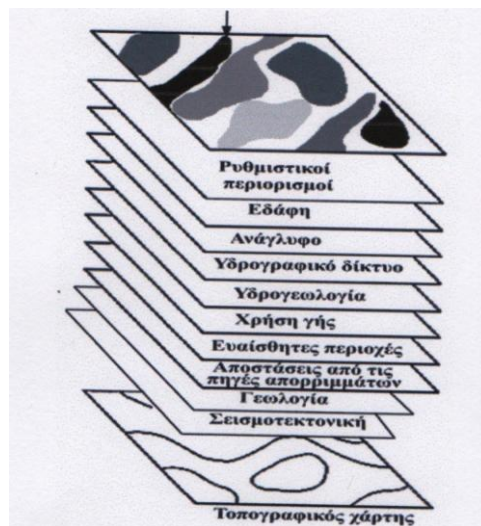
Στο επίπεδο αυτό ποσοτικοποιούνται επίσης, όσες από τις πληροφορίες του δεύτερου σταδίου παρουσιάζουν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας.

Περιοριστικός παράγοντας	Αποκλεισμός ή σοβαρός περιορισμός	Μέτριος περιορισμός	Καθόλου ή μικρός περιορισμός
Κλίση πρανών	>15%	3-15%	< 3%
Επιφανειακές αποθέσεις	Καθαρό αμμοχάλικο οργανική άργιλος	Αμμοχάλικο αναμειγμένο με ιλύ, πάχους <15 m	Ιλύες, άργιλοι
Βάθος υποβάθρου	< 3,5 m	3,5-15 m	> 15 m
Πέτρωμα υποβάθρου	Καρστικά ανθρακικά πετρώματα	Ψαμμίτες ασβεστιτικοί χονδρόκοκκοι	
Πάχος ακόρεστης ζώνης	< 3,5 m	3,5- 7,5 m	> 7,5 m
Απόσταση από:	< 15m	15-350 m	> 350 m
-Περιοχή υδροληψίας			
-Όριο πλημμύρας κοιλάδας	100 m	100-350 m	>350 m
-Υδρόρευμα	100 m	100-350 m	>350 m
-Λίμνη	<350 m	-	>350 m
-Οδικό δίκτυο	<350 m	-	>350 m
-Υγροβιότοπος	<15 m	-	-
-Αεροδρόμια	3.000 m ή 1500 m	-	-

Πίνακας 6.2: Κριτήρια επιλογής θέσεων ΧΥΤΑ (Καλλέργης, 2000).

Για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου διαχείρισης των απορριμμάτων σε επίπεδο Νομού ή περιφέρειας και τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ εφαρμόζονται επιπλέον μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης επί των κριτηρίων αξιολόγησης (Karagiannidis et al., 2003, Κοντός κ.ά., 2004). Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα κριτήρια για την επιλογή θέσεων ΧΥΤΑ. Η επιλογή της

κατάλληλης θέσης χωροθέτησης ΧΥΤΑ μπορεί να γίνει με την αλληλεπίθεση χαρτών, που απεικονίζουν περιοχές αποκλεισμού ή περιοχές επιλογής πάνω στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής (Σχ. 6.3).



Σχήμα 6.3: Δημιουργία σύνθετου χάρτη επιλογής θέσης ΧΥΤΑ από την αλληλεπίθεση διαφανών χαρτών πάνω στο τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής ίδιας κλίμακας (Καλλέργης 2000).

Τα κριτήρια επιλεξιμότητας ενός χώρου ΧΥΤΑ ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες (Δημόπουλος, 2001):

1. κριτήρια λειτουργικότητας
2. κριτήρια χωροταξίας
3. κριτήρια περιβαλλοντικής προστασίας
4. κριτήρια κόστους

Τα κριτήρια βαθμονομούνται με βάση το ειδικό βάρος, τόσο της ενότητας που ανήκει, όσο και αυτού του κριτηρίου μεμονωμένα. Η αξιολόγηση συνήθως γίνεται από τους ΟΤΑ και το Υπουργείο Περιβάλλοντος.

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα βαθμονόμησης κριτηρίων επιλεξιμότητας ΧΥΤΑ.

Οι εργασίες πεδίου περιλαμβάνουν:

1. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Ο αριθμός των γεωτρήσεων πρέπει να είναι 5 για έκταση της χωματερής μέχρι 8 στρέμματα, ενώ προστίθεται μία γεώτρηση για κάθε επιπλέον δύο στρέμματα. Οι γεωτρήσεις πρέπει να φθάνουν 7 m βαθύτερα από τον πυθμένα του χώρου που προτίθεται να γίνει χωματερή.
2. Γεωφυσικές διασκοπήσεις για τη διερεύνηση της στρωματογραφίας

3. Διαγραφίες (logging)
4. Μικροσεισμικές έρευνες
5. Δοκιμές υδροπερατότητας (Luggeon, Maag, Le Franc)
6. Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού
7. Δειγματοληψία υπόγειου νερού για τον καθορισμό της ποιότητας
8. Δοκιμαστικές αντλήσεις για τον προσδιορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών
9. Καθορισμός του υδρογεωλογικού μοντέλου του χώρου (γεωμετρία υδροφορέα, είδος υδροφορέα, συνθήκες τροφοδοσίας, διεύθυνση κίνησης του υπόγειου νερού).

Οι εργασίες εργαστηρίου περιλαμβάνουν:

1. Χημικές αναλύσεις για τον καθορισμό της ποιότητας των υπόγειων νερών
2. Κοκκομετρικές αναλύσεις
3. Δοκιμές μηχανικής αντοχής
4. Προσδιορισμός των ορίων Atterberg
5. Δοκιμές συμπίεσότητας
6. Δοκιμές περατότητας
7. Προσδιορισμός υγρασίας εδάφους
8. Πυκνότητα κατά Proctor
9. Προσδιορισμός της διαλυτότητας και διαβρωσιμότητας

α/α	Ειδικό βάρος ομάδας κριτηρίων (%)	Κριτήρια επιλεξιμότητας ΧΥΤΑ	Ειδικό βάρος κριτηρίου στην ομάδα (%)		Ειδικό βάρος κριτηρίου στο σύνολο (%)	
1		Κριτήρια Λειτουργικό-τητας	Κλιματικές συνθήκες	10		3,0
2			Χωρητικότητα	25		7,5
3	30		Απορροή-Συλλογή ομβρίων υδάτων	10		3,0
4			Πρόσληψη υλικού επικάλυψης	10		3,0
5			Ευχέρεια απόκτησης του χώρου	25		7,5
6			Κεντροβαρικότητα	20	100	6,0

7			Απόσταση από οικισμούς και απόκρυψη	40		10,0	
8		Κριτήρια Χωροταξίας	Επιδράσεις σε τουριστικές περιοχές χώρους αναψυχής, πολιτιστικές δραστηριότητες	30		7,5	
9	25		Επιδράσεις στην οικονομική δραστηριότητα (γεωργία, κτηνοτροφία, βιομηχανία)	25		6,25	
10			Παρακαμπτήρια προσπέλαση	5	100	1,25	25
11		Κριτήρια Περιβαλλοντικής Προστασίας	Μορφολογία χώρου	20		6,0	
12			Επίδραση στο φυσικό «μικρό» τοπίο	10		3,0	
13	30		Επιπτώσεις στα ζώα και τα φυτά	5		1,5	
14			Φυσική προστασία υπόγειων νερών	40		12,0	
15			Άνεμοι-Οσμές-Αέριοι Ρύποι	10		3,0	
16			Υφιστάμενη κατάσταση στην ευρύτερη περιοχή	15	100	4,5	30
17		Κριτήρια Κόστους	Έργα υποδομής	60		9,0	
18	15		Κόστος μεταφοράς	40	100	6,0	15

Πίνακας 6.3: Αξιολόγηση κριτηρίων επιλεξιμότητας Χ.Υ.Τ.Α.

6.6 Βαθμονόμηση των κριτηρίων επιλεξιμότητας

Αναλυτικά τα κριτήρια επιλεξιμότητας για τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ, καθώς και μια προτεινόμενη κλίμακα βαθμονόμησης αυτών περιγράφονται κατωτέρω:

A. Κριτήρια λειτουργικότητας

A1. Κλιματικές συνθήκες

Λαμβάνονται υπόψη το ύψος βροχόπτωσης (A1α), οι ημέρες παγετού (A1β), η ένταση του ανέμου (A1γ), το μέσο υψόμετρο του ΧΥΤΑ (A1δ) και η διεύθυνση των ανέμων (A1ε).

Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:

A1α) Βροχόπτωση <300 mm: Βαθμοί 10

Βροχόπτωση >1100 mm: Βαθμοί 1

Κάθε αύξηση της βροχής ανά 100 mm συνεπάγεται μείωση της βαθμολογίας κατά 1 βαθμό, δηλ. βροχή 400-500 mm: Βαθμοί 9, 500-600 mm: Βαθμοί 8 κ.ο.κ.

A1β) Αριθμός ημερών παγετού 3: Βαθμοί 10

Αύξηση αριθμού ημερών παγετού κατά 2 συνεπάγεται μείωση κατά 1 βαθμό

A1γ) Ένταση του ανέμου >6B (B=Beaufort) για διάρκεια <5 ημερών: Βαθμοί 10

Ένταση του ανέμου >6B για διάρκεια <15 ημερών: Βαθμοί 5

A1δ) Μέσο υψόμετρο ΧΥΤΑ <200 m: Βαθμοί 10

Αύξηση του μέσου υψομέτρου κατά 60 m συνεπάγεται μείωση κατά 1 βαθμό.

A1ε) Συχνότητα ανέμων >5B προς την εκτιθέμενη διεύθυνση του ΧΥΤΑ <1%: Βαθμοί 10.

Συχνότητα ανέμων >5B προς την εκτιθέμενη διεύθυνση του ΧΥΤΑ 2%: Βαθμοί 5.

Ενδιάμεσες τιμές βαθμονομούνται με γραμμική αναγωγή.

Η τελική τιμή προκύπτει από την κάτωθι σχέση:

$$A1=0,4 (0,4 A1\alpha +0,4 A1\beta+0,2 A1\gamma)+ 0,4 A1\delta+0,2 A1\epsilon$$

A2. Χωρητικότητα

Διάρκεια ζωής >25 έτη: Βαθμοί 10

Μείωση της διάρκειας ζωής κατά 1 έτος συνεπάγεται μείωση κατά 1 βαθμό. Δεν αποκλείεται και αρνητική βαθμολογία.

A3. Επιφανειακή απορροή-Ροή ομβρίων υδάτων

Σχετίζεται με την απορροή επιφανειακών νερών στην υδρολογική λεκάνη του ΧΥΤΑ. Περιοχές με καρστικούς σχηματισμούς και πλήρη φυτοκάλυψη (>90%) δεν ευνοούν την επιφανειακή απορροή και βαθμολογούνται με 10. Περιοχές με αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς και απουσία

φυτοκάλυψης (<20%) ευνοούν σημαντικά την απορροή και βαθμολογούνται με 1. Λαμβάνεται υπόψη η έκταση της λεκάνης απορροής (A3α) και η γεωλογική σύσταση και βλάστηση (A3β), που καθορίζουν την επιφανειακή απορροή και τη συλλογή των ομβρίων υδάτων. Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:

A3α) Μεγάλη έκταση της λεκάνης απορροής : Βαθμοί 10

Μέτρια έκταση: Βαθμοί 5

Μικρή έκταση: Βαθμοί 1

Μέτρια έκταση της λεκάνης απορροής θεωρείται ίση με το 8-πλάσιο της έκτασης του ΧΥΤΑ.

A3β) Η βαθμονόμηση του κριτηρίου διέλευσης και συλλογής ομβρίων υδάτων γίνεται με βάση τον Πίνακα 6.4.

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:

$$A3=0,6 A3\alpha +0,4 A3\beta$$

Βλάστηση	Καρστικό	Διαπερατό	Ημι-διαπερατό	Αδιαπέρατο
Φυτοκάλυψη >90%	10	9	7	5
Φυτοκάλυψη 60-90%	9	8	6	4
Φυτοκάλυψη 40-60%	8	7	5	3
Φυτοκάλυψη 20-40%	7	6	4	2
Φυτοκάλυψη <20%	6	5	3	1

Πίνακας 6.4: Βαθμονόμηση κριτηρίου επιφανειακής απορροής και ροής ομβρίων υδάτων.

A4. Υλικό επικάλυψης

Ικανότητα πρόσληψης υλικού επικάλυψης

Πολύ μεγάλη: Βαθμοί 10

Μεγάλη: Βαθμοί 7

Μέτρια: Βαθμοί 5

Μικρή: Βαθμοί 3

Πολύ μικρή: Βαθμοί 1

A5. Ευχέρεια απόκτησης του χώρου

Η βαθμονόμηση γίνεται με τον κάτωθι Πίνακα 6.5.

Χαρακτήρας	Χωρίς ειδική χρήση	Βοσκότοπος	Καλλιέργειες	Δασική
Δημόσιος	10	9	8	7
Δημοτικός	9	8	7	5
Ιδιωτικός	7	6	5	3
Δημοτικός οικείου ΟΤΑ	5	3	2	0

Πίνακας 6.5: Βαθμονόμηση κριτηρίου ευχέρειας απόκτησης του χώρου

A6. Κεντροβαρικότητα

Η κεντροβαρική απόσταση κάθε υποψήφιου χώρου από την κύρια πηγή απορριμμάτων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L=(B_1L_1+B_2L_2+.B_nL_n) / B_{ολ.}$$

όπου B_1, B_2, B_n είναι το ημερήσιο διακινούμενο φορτίο από κάθε πηγή (δημοτικό διαμέρισμα) και L_1, L_2, L_n είναι οι ανηγμένες αποστάσεις.

Αν η θέση είναι κεντροβαρής βαθμονομείται με 10, ενώ αν βρίσκεται στην πλέον απομακρυσμένη θέση βαθμονομείται με 1. Ενδιάμεσες περιπτώσεις βαθμονομούνται κατάλληλα κάνοντας γραμμική αναγωγή.

B. Κριτήρια χωροταξίας

B1. Απόσταση και απόκρυψη από τους οικισμούς

Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:

Απόσταση από οικισμούς

> 2.000 m: Βαθμοί 10

1.500-2.000 m: Βαθμοί 7

1.000-1.500 m: Βαθμοί 5

500-1.000 m: Βαθμοί 3

<500 m: Βαθμοί 1

B2. Απόσταση από τουριστικές περιοχές, χώρους αναψυχής, περιβαλλοντικά πάρκα, χώρους πολιτιστικών εκδηλώσεων κ.λπ.

Η βαθμονόμηση γίνεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση.

B3. Επιδράσεις στην οικονομική δραστηριότητα

Η βαθμονόμηση γίνεται ως εξής:
Καμία επίδραση: Βαθμοί 10
Επίδραση στην κτηνοτροφία: Βαθμοί 9
Επίδραση στη γεωργία μόνο λόγω προσπέλασης: Βαθμοί 9
Επίδραση στη γεωργία, λόγω διασταλαζόντων υγρών: Βαθμοί 6
Επίδραση στην οικονομική αξία των γειτονικών εκτάσεων: Βαθμοί 3
Σε περιπτώσεις συνύπαρξης δύο ή περισσότερων επιδράσεων, η βαθμολογία προκύπτει από το γινόμενο των αντίστοιχων βαθμολογιών.

B4. Παρακαμπτήρια προσπέλαση

Σε περίπτωση ύπαρξης παρακαμπτήριου δρόμου: Βαθμοί 10
Απουσία παράκαμψης και χρήση του οδικού δικτύου: Βαθμοί 5

Γ. Κριτήρια περιβαλλοντικής προστασίας

Γ1. Μορφολογία χώρου

Είναι συνάρτηση της κλίσης του δαπέδου του ΧΥΤΑ (Γ1α) και του χώρου (Γ1β).

Γ1α) Για κλίση δαπέδου 0-3%: Βαθμοί 10

Για κλίση δαπέδου 3-5%: Βαθμοί 7

Για κλίση δαπέδου 5-10%: Βαθμοί 4

Για κλίση δαπέδου 10-15%: Βαθμοί 1-3

Γ1β) Για κλειστή λεκάνη κατά τα 3/4: Βαθμοί 10

Για κλειστή λεκάνη κατά το 1/2: Βαθμοί 7

Για κλειστή λεκάνη κατά το 1/4: Βαθμοί 4

Για ανοικτή λεκάνη από παντού: Βαθμοί 2

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:

$$Γ1=0,7 Γ1α +0,6 Γ1β$$

Γ2. Επίδραση στο φυσικό μικροτόπιο του ΧΥΤΑ

Για εγκαταλειμμένο λατομείο, γυμνή εδαφική κοιλότητα: Βαθμοί 10

Αναπτυγμένη (ευρεία βάση και ήπια πρηνή) εδαφική λεκάνη, γυμνή: Βαθμοί 9

Αναπτυγμένη εδαφική λεκάνη με αραιή θαμνοκάλυψη: Βαθμοί 8

Εδαφική λεκάνη με πυκνή και χαμηλή θαμνοκάλυψη: Βαθμοί 6

Εδαφική λεκάνη με πυκνή και υψηλή θαμνοκάλυψη: Βαθμοί 4

Εδαφική λεκάνη με αραιή δενδροκάλυψη: Βαθμοί 1

Εδαφική λεκάνη με πυκνή δενδροκάλυψη: Βαθμοί -5

Γ3. Επιπτώσεις στην πανίδα (Γ3α) και χλωρίδα (Γ3β)

Γ3α) Μη ύπαρξη πανίδας: Βαθμοί 10

Μέτρια πανίδα: Βαθμοί 8

Ποικιλία πανίδας: Βαθμοί 6

Αξιόλογη πανίδα και θηράματα: Βαθμοί 4

Ύπαρξη σε απόσταση <3 km καταφυγίου θηραμάτων: Βαθμοί 1

Ύπαρξη σε απόσταση <3 km υγροβιότοπου: Βαθμοί 0

Γ3β) Πολύ μικρή βλάστηση: Βαθμοί 10

Μικρή βλάστηση: Βαθμοί 7

Μέτρια βλάστηση: Βαθμοί 5

Πυκνή βλάστηση: Βαθμοί 3

Πολύ πυκνή βλάστηση: Βαθμοί 1

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:

$$\mathbf{\Gamma 3=0,8 \Gamma 3\alpha +0,2 \Gamma 3\beta}$$

Γ4. Προστασία των υπόγειων νερών

Λαμβάνεται υπόψη η υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών (Γ4α)

και η διαβρωσιμότητα του εδάφους και υπεδάφους (Γ4β).

Γ4α) Πολύ μικρή υδροπερατότητα $k < 10^{-9}$ m/s: Βαθμοί 10

Μικρή υδροπερατότητα $10^{-7} < k < 10^{-9}$ m/s: Βαθμοί 7

Μέτρια υδροπερατότητα $10^{-7} < k < 10^{-5}$ m/s: Βαθμοί 5

Μεγάλη υδροπερατότητα $10^{-5} < k < 10^{-2}$ m/s: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλη υδροπερατότητα $k > 10^{-2}$ m/s: Βαθμοί 1

Γ4β) Μικρή διαβρωσιμότητα: Βαθμοί 10

Διαβρωμένο, αλλά συνεκτικό έδαφος: Βαθμοί 7

Εναλλαγές διαβρωμένων και μη υλικών: Βαθμοί 5

Διαβρωμένα μη συνεκτικά εδάφη: Βαθμοί 3

Έντονη διαβρωσιμότητα: Βαθμοί 1

Η τελική τιμή προκύπτει από τη σχέση:

$$\mathbf{\Gamma 4=0,5 \Gamma 4\alpha +0,5 \Gamma 4\beta}$$

Γ5. Οσμές-Αέριοι Ρύποι-Θόρυβος

Λαμβάνονται υπόψη η πιθανότητα εκπομπής αερίων υδρόθειου (H₂S) και οργανικού θείου (S) που παράγουν οσμές (Γ5α), συμβάλλουν στη δημιουργία σκόνης (Γ5β) και θορύβου (Γ5γ), ως εξής:

Γ5α) Πολύ μικρή εκπομπή αερίων: Βαθμοί 10

Μικρή εκπομπή: Βαθμοί 7

Μέτρια εκπομπή: Βαθμοί 5

Μεγάλη εκπομπή: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλη εκπομπή: Βαθμοί 1

Με την ίδια κλίμακα βαθμονομείται και η πιθανότητα δημιουργίας σκόνης και θορύβου. Ο τελικός βαθμός προκύπτει από τη σχέση:

$$Γ5=0,4 Γ5α +0,3 Γ5β +0,3 Γ5γ$$

Γ6. Προστασία εδάφους

Πολύ μικρή πιθανότητα διαρροής αερίων και αποβλήτων: Βαθμοί 10

Μικρή πιθανότητα: Βαθμοί 7

Μέτρια πιθανότητα: Βαθμοί 5

Μεγάλη πιθανότητα: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλη πιθανότητα: Βαθμοί 1

Δ. Οικονομικά κριτήρια

Δ1. Έργα υποδομής

Σχετίζεται με το κόστος κατασκευής έργων, όπως: στεγανοποίηση του πυθμένα, αγωγοί αποστράγγισης, συλλεκτήριοι τάφροι ομβρίων υδάτων, αγορά του χώρου, χωματουργικά, δρόμοι πρόσβασης, υλικό επικάλυψης, γεωτρήσεις ελέγχου και έργα τελικής αποκατάστασης.

Πολύ μικρό κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 10

Μικρό κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 8

Μέτριο κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 5

Μεγάλο κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 3

Πολύ μεγάλο κόστος έργων υποδομής: Βαθμοί 1

Δ2. Κόστος μεταφοράς και λειτουργίας

Είναι συνάρτηση του κόστους μεταφοράς των απορριμμάτων (Δ2α) και λειτουργίας του ΧΥΤΑ (Δ2β).

Δ2α) Απόσταση από την κύρια πηγή απορριμμάτων <10 km: Βαθμοί 10

Απόσταση 10-15 km: Βαθμοί 7

Απόσταση 15-30 km: Βαθμοί 5

Απόσταση 30-50 km: Βαθμοί 3

Απόσταση >50 km: Βαθμοί 1

Για περισσότερη ακρίβεια υπεισέρχεται ένας παράγοντας που σχετίζεται με τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δρόμου (πλάτος, στροφές κ.λπ).

Δ2β) Μικρό κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 10

Μέτριο κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 8

Μεγάλο κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 5

Πολύ μεγάλο κόστος λειτουργίας: Βαθμοί 2

Η συνολική βαθμολογία προκύπτει αν η τιμή κάθε βαθμονομημένου κριτηρίου πολλαπλασιασθεί με το ειδικό βάρος του, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3. Οι υποψήφιοι χώροι ΧΥΤΑ, που πληρούν τις προϋποθέσεις κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά και η τελική θέση επιλογής είναι πλέον θέμα πολιτικής απόφασης

6.7. Δομή και τρόποι απόθεσης στους ΧΥΤΑ

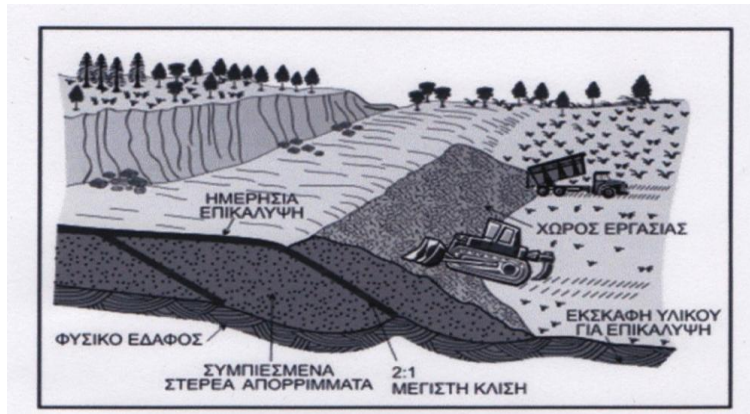
Η απόθεση των απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ γίνεται σε μορφή στρώσεων, οι οποίες συμπιέζονται με τη βοήθεια μηχανημάτων. Κάθε στρώση (ταμπάνι) χωρίζεται σε κελιά (κύτταρα) ημερησίας επικάλυψης δηλ. τμήματα στα οποία αποτίθενται η ημερήσια ποσότητα των απορριμμάτων που φθάνουν στον ΧΥΤΑ και στο τέλος της ημέρας επικαλύπτεται με λεπτό στρώμα υλικού για την προστασία από αυτοανάφλεξη, περιορισμό της δυσσομίας, της διείσδυσης νερού και της παρουσίας εντόμων. Το πάχος της ημερησίας επικάλυψης είναι περίπου 0,15 m με υλικό αμμώδες ή αμμοχαλικώδες.

Διακρίνονται τρεις τρόποι απόθεσης απορριμμάτων:

1. Μέθοδος σε επίπεδες περιοχές

Εφαρμόζεται σε χώρο με επίπεδη μορφολογία. Τα απορρίμματα απλώνονται σε λεπτές λωρίδες και επάλληλα στρώματα και συμπαγοποιούνται. Η απόθεση των απορριμμάτων συνεχίζεται μέχρι το επιθυμητό ύψος του κελιού. Στο τέλος κάθε ημέρας το κελί καλύπτεται με υλικό προσωρινής επικάλυψης (γαιώδη υλικά, πάχους 15 cm).

Αν δεν υπάρχουν στην περιοχή δανειοθάλαμοι για υλικό επικάλυψης, τότε εφαρμόζεται μια παραλλαγή της μεθόδου, η μέθοδος της ράμπας (Σχ. 6.4). Στη μέθοδο αυτή ως υλικό επικάλυψης χρησιμοποιείται το υλικό εκσκαφής που λαμβάνεται από τη βάση του επόμενου κελιού. Το μέγιστο ύψος του απορριμματικού αναγλύφου πρέπει να είναι <20 m



Σχήμα. 6.4: Μέθοδος απόθεσης με τη μέθοδο της ράμπας.

2. Μέθοδος τάφρων

Εφαρμόζεται σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλο πάχος υλικού επικάλυψης, κάτω από το χώρο απόθεσης και υψηλός υδροφόρος ορίζοντας. Η απόθεση των απορριμμάτων γίνεται μέσα σε τάφρους. Η έναρξη γίνεται με εκσκαφή της πρώτης τάφρου με το υλικό εκσκαφής της οποίας κατασκευάζεται επίχωμα στην πλευρά αντίθετα από το μέτωπο προχώρησης της απόθεσης. Μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης στην πρώτη τάφρο, ως υλικό επικάλυψης χρησιμοποιείται το υλικό εκσκαφής της επόμενης τάφρου.

3. Μέθοδος τοπογραφικών ταπεινώσεων

Ενδείκνυται για περιοχές τοπογραφικών ταπεινώσεων όπως, φαράγγια, λατομεία, ρέματα κ.λπ. Ως υλικά επικάλυψης χρησιμοποιούνται υλικά από τα φυσικά πρηνή της περιοχής με αποτέλεσμα και την επιθυμητή ελάττωση των κλίσεων. Σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή της μεθόδου αυτής παίζει η επιφανειακή αποστράγγιση και η παροχέτευση των επιφανειακών απορροών.

Επισημαίνεται η ανάγκη περίφραξης του ΧΥΤΑ με γαλβανισμένους από μορφοσίδηρο πασσάλους, ύψους τουλάχιστον 2,5 m από το έδαφος, σε απόσταση μεταξύ τους 3 m, στερεωμένους σε μπετόν και συρματόπλεγμα με αντηρίδα. Για λόγους οπτικής και ηχητικής απομόνωσης του ΧΥΤΑ κατασκευάζεται εσωτερικά της περίφραξης περιμετρική δενδροφύτευση. Επιπλέον σε ΧΥΤΑ που γεινιάζουν με δασικές εκτάσεις κατασκευάζεται και αντιπυρική ζώνη ελάχιστου πλάτους 8 m και γίνεται εξοπλισμός με δεξαμενές πυρόσβεσης, συσκευών πυρόσβεσης και αποθήκες εδαφικού υλικού.

Σε κάθε ΧΥΤΑ προβλέπεται οι εξής εγκαταστάσεις: χώρος αναμονής απορριμματοφόρων, ζυγιστήριο, χώρος εκφόρτωσης για δειγματοληψία

(οπτικός-μακροσκοπικός έλεγχος), εγκατάσταση έκπλυσης των τροχών των απορριμματοφόρων, οικίσκος ελέγχου, αποθήκη υλικών απαραίτητων για την ασφαλή λειτουργία του ΧΥΤΑ.

Εντός του ΧΥΤΑ κι ανάλογα με το μέγεθός του μπορούν να κατασκευασθούν: συνεργείο για συντήρηση και επισκευή των οχημάτων, χώρος καθαρισμού των οχημάτων και μηχανημάτων, καθώς και τάφος με ανυψωτικό μηχανισμό.

6.8. Παραγωγή και μετανάστευση του βιοαερίου

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη διάρκεια λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ είναι: βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών (αερόβια ή αναερόβια), χημική οξειδωση των υλικών, διάλυση των ρυπαντών, διαφυγή αερίων από τον χώρο, καθίζηση λόγω της συμπύκνωσης των υλικών και κίνηση των διαλυμένων ουσιών. Οι διεργασίες αυτές ανα-φέρονται ως διαδικασίες γήρανσης – αποσάθρωσης – αποστράγγισης (Δημόπουλος, 2001).

Κατά το στάδιο της γήρανσης με αναερόβια βιολογική αποσύνθεση η οργανική ύλη μετατρέπεται σε humus και συγχρόνως γίνεται ορυκτοποίηση με μετατροπή των υδροξειδίων των μετάλλων σε άλατα και σουλφίδια. Κατά το στάδιο της αποσάθρωσης (φυσική, χημική, βιολογική) διαβρώνεται το υλικό και σχηματίζονται πολλές ευδιάλυτες ουσίες. Τα στραγγίσματα περιλαμβάνουν όλες τις ευδιάλυτες ουσίες του σταδίου της γήρανσης και τα διαλυτά προϊόντα της γήρανσης και αποσάθρωσης.

Το βιοαέριο (biogas) παράγεται από την αναερόβια ζύμωση των οργανικών και βιοαποικοδομήσιμων υλικών των απορριμμάτων (75-85% του συνολικού βάρους των αστικών απορριμμάτων). Είναι μίγμα διαφόρων αερίων με κυρίαρχα το CH₄ (50-70%) και CO₂ (30-40%). Αέρια σε μικρά ποσοστά είναι: H₂, H₂S, NH₃, N₂, βινυλοχλωρίδια κ.ά. (Πίν. 6.6). Οι φθοριούχοι υδρογονάνθρακες (freons) διαφεύγουν εύκολα στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στη διάσπαση του όζοντος.

Αέριο	Χημικός τύπος	Μοριακό βάρος	Πυκνότητα (g/L)
Μεθάνιο	CH ₄	16,03	0,7167
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	44,00	1,9768

Μονοξειδίο του άνθρακα	CO	28,00	1,2501
Υδρογόνο	H ₂	2,01	0,0898
Άζωτο	N ₂	28,02	1,2507
Οξυγόνο	O ₂	32,00	1,4289
Αμμωνία	NH ₃	17,03	0,7708
Υδρόθειο	H ₂ S	34,08	1,5392

Πίνακας 6.6: Αέρια που παράγονται σε χώρους απόθεσης απορριμμάτων (Tchobanoglous, 1977).

Η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών γίνεται από αερόβια (παρουσία O₂), αναερόβια (απουσία O₂), και επαμφοτερίζοντα (επιβιώνουν παρουσία ή απουσία O₂) βακτηρίδια. Η διαδικασία της αποσύνθεσης ξεκινά από την αερόβια φάση, διάρκειας μερικών ημερών και καταλήγει στην αναερόβια επιβραδυνόμενη μεθανογενετική φάση, διάρκειας μερικών ετών.

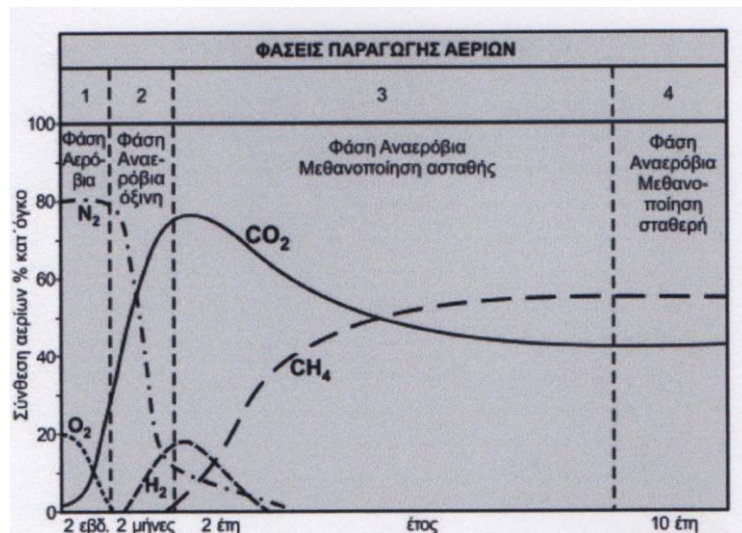
Ενδιάμεσα λαμβάνουν χώρα η αναερόβια όξινη και η αναερόβια επιταχυνόμενη μεθανογενετική φάση (Πίν. 6.7). Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζεται το χρονοδιάγραμμα παραγωγής αερίων στους χώρους απόθεσης. Σε όλες τις φάσεις της αποσύνθεσης παράγεται νερό που συνεισφέρει στον όγκο του στραγγίσματος.

Η θερμογόνος δύναμη του παραγόμενου βιοαερίου εξαρτάται από τη σύσταση των απορριμμάτων και τις συνθήκες που επικρατούν στο ΧΥΤΑ. Το CH₄ (ελαφρύτερο του αέρα) κινείται προς τα πάνω και φθάνοντας στην επιφάνεια ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, ενώ το CO₂ (βαρύτερο του αέρα) τείνει να συσσωρευθεί στον πυθμένα του χώρου απόθεσης.

Φάση	Ιδιότητες
Αερόβια αποσύνθεση	Οξειδωση μέσω αερόβιων βακτηριδίων Παραγωγή CO ₂ , Έντονη θερμότητα Διάρκεια: μερικές ημέρες
Αναερόβια όξινη	Υδρόλυση κυτταρίνης και σακχάρων σε αλκοόλες και καρβοξυλικά οξέα Δεν παράγεται CH ₄ λόγω χαμηλού pH (5,5-6)

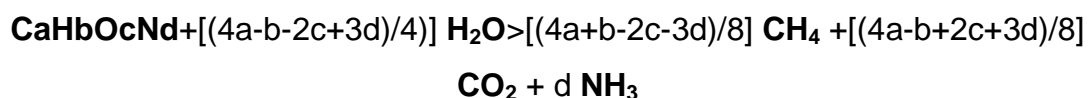
	Παραγωγή CO ₂ και H ₂ Διάρκεια: αρκετοί μήνες έως λίγα έτη
Αναερόβια Επιταχυνόμενη Μεθανογενετική	Κατανάλωση των καρβοξυλικών οξέων Έντονη παραγωγή CH ₄ Μέσες τιμές του pH (6,8-7,4) Διάρκεια: έως δέκα έτη
Αναερόβια Επιβραδυνόμενη Μεθανογενετική	Σταθεροποίηση παραγωγής CH ₄ Αύξηση του pH (7,5-8,0) Διάρκεια: μερικά έτη

Πίνακας 6.7: Φάσεις της αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών (Καββαδάς, 1996).



Σχήμα. 6.5: Χρονοδιάγραμμα παραγωγής αερίων από ΧΥΤΑ (Farguhar & Rovers, 1973).

Η διαφυγή του αερίου προκαλεί δυσοσμία και είναι επικίνδυνο για έκρηξη και ανάφλεξη. Μίγμα CH₄ και αέρα σε ποσοστό 15% CH₄ είναι εκρηκτικό μίγμα. Ο μέσος ρυθμός παραγωγής CH₄ είναι 5-10 L/kg απορριμμάτων. Η γενική εξίσωση που εκφράζει την παραγωγή αερίων σε ένα χώρο διάθεσης απορριμμάτων είναι:



Στην περίπτωση ΧΥΤΑ, όπου υπάρχει αδιαπέρατο κάλυμμα, το CH₄ μεταναστεύει πλευρικά. Η πλευρική μετανάστευση μπορεί να ελεγχθεί με τη δημιουργία διόδων προς την ατμόσφαιρα, μέσω υλικών υψηλής διαπερατότητας, αφού πρώτα ληφθούν μέτρα προστασίας από τις αρνητικές

συνέπειες (οσμές, πυρκαγιές, εκρήξεις κ.λπ). Για το λόγο αυτόν κατασκευάζονται συλλεκτήριοι αγωγοί με τους οποίους το βιοαέριο μεταφέρεται στην επιφάνεια του ΧΥΤΑ, όπου καίγεται ή εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα μέσω βιοφίλτρων ή αξιοποιείται ενεργειακά ως καύσιμο.

Το CO₂ συσσωρεύεται και μπορεί να παραμείνει για πολλά χρόνια στον πυθμένα του χώρου απόθεσης, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας. Λόγω του γεγονότος αυτού δημιουργεί υψηλές πιέσεις P_{CO_2} , αυξάνοντας τη διαλυτότητά του στο νερό με αποτέλεσμα την αύξηση του H₂CO₃.

Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να διαλυθούν και τα υπόλοιπα αέρια που παράγονται στους χώρους απόθεσης. Η συγκέντρωσή τους στο νερό καθορίζεται από το νόμο του Henry:

$$C_s = k_s P_i$$

Όπου C_s είναι η συγκέντρωση κορεσμού του αερίου στο νερό, k_s ο συντελεστής προσρόφησης και P_i η μερική πίεση του αερίου (εκφρασμένη ως λόγος).

Το σύστημα απαγωγής του βιοαερίου αποτελείται από βαθιές γεωτρήσεις που διατρύουν όλο το βάθος μέχρι τον πυθμένα του ΧΥΤΑ. Οι γεωτρήσεις είναι εφοδιασμένες με διάτρητους σωλήνες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με οριζόντιους αγωγούς, που καταλήγουν στο αντλητικό συγκρότημα. Με την υποπίεση που εφαρμόζεται, το βιοαέριο αντλείται και οδηγείται για παραγωγή ενέργειας ή καύση.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω η διαχείριση του βιοαερίου στους ΧΥΤΑ αποσκοπεί:

1. στην ασφάλεια του ΧΥΤΑ, τόσο στο εσωτερικό όσο και στην ευρύτερη περιοχή και την αποτροπή κινδύνου
2. στην αποτροπή των οσμών
3. στη μείωση των εκπομπών CH₄, που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
4. στην προστασία της χλωρίδας

Υπάρχουν τρεις τρόποι διαχείρισης του βιοαερίου:

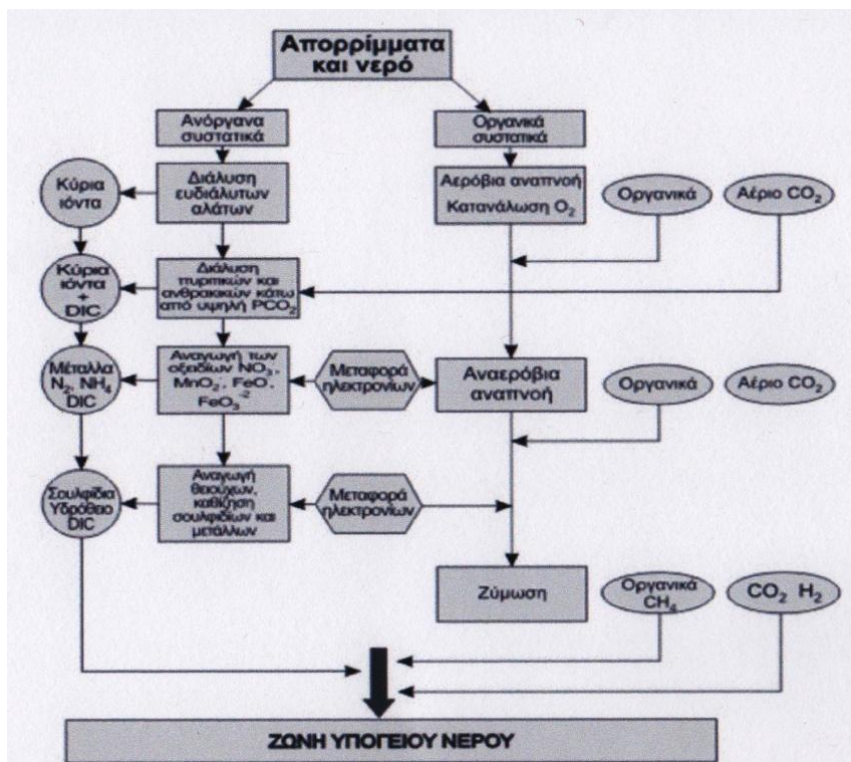
- Παθητικός εξαερισμός διαμέσου της επιφάνειας (καθοδηγούμενος εξαερισμός)

- Άντληση με κατακόρυφα ή οριζόντια φρεάτια (για περιπτώσεις που οι ποσότητες βιοαερίου είναι μεγάλες και προβλέπεται ενεργειακή αξιοποίηση)
- Ενεργητική απαγωγή βιοαερίου (κατασκευή δικτύου συλλογής).

Οι πιθανές διαρροές ελέγχονται με τη βοήθεια γεωτρήσεων παρακολούθησης, εξωτερικά της επιφάνειας διάθεσης. Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζονται συνοπτικά οι βιοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους ΧΥΤΑ.

6.9. Παραγωγή στραγγισμάτων

Τα στραγγίσματα ή εκκρίματα ή διασταλάζοντα υγρά (*leachate*) παράγονται κατά την αποσύνθεση των απορριμμάτων και τον εμπλουτισμό τους με νερό από τη φυσική υγρασία των απορριμμάτων και την πιθανή διήθηση νερού βροχής. Η παραγωγή στραγγίσματος (απόπλυμα) είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς χημικών και βιοχημικών διεργασιών, κυριότερες των οποίων είναι η διάλυση των ευδιάλυτων αλάτων και η αποδόμηση του οργανικού υλικού. Μια τυπική σύσταση του στραγγίσματος παρουσιάζεται στον Πίν. 6.8.



Σχήμα 6.6: Βιολογικές και χημικές διεργασίες στους ΧΥΤΑ (DIC=Dissolved Inorganic Carbon).

Χημική παράμετρος	Εύρος κύμανσης (mg/L)	Τυπική τιμή (mg/L)
BOD5	2.000-30.000	10.000
COD	3.000-45.000	18.000
TDS (συνολικά διαλυμένα στερεά)	200-1.000	500
TOC (ολικός οργανικός άνθρακας)	1.500-20.000	6.000
pH	5,3-8,5	6
Αλκαλικότητα ως CaCO ₃	1.000-10.000	3.000
Ολική σκληρότητα ως CaCO ₃	300-10.000	3.500
Οργανικό άζωτο	10-600	200
Αμμωνία	10-800	200
Νιτρικά	5-40	25
Ολικός φωσφόρος	1-70	30
Ορθοφώσφορος	1-50	20
Ολικός σίδηρος	50-600	60
Ασβέστιο	200-3.000	1.000
Μαγνήσιο	50-1.500	250
Κάλιο	200-2.000	300
Νάτριο	200-2.000	500
Χλώριο	100-3.000	500
Θειικά	100-1.500	300

Πίνακας 6.8: Χημική σύσταση των διασταλαζόντων υγρών που παράγονται σε χώρους απόθεσης απορριμμάτων (Tchobanoglous, 1977).

Η παρουσία κατιόντων Ca, Mg, Na, K οφείλεται στη διάλυση χλωριούχων και θειούχων αλάτων των στοιχείων αυτών. Επίσης συνεισφέρει σημαντικά και η διάλυση ορυκτών από το υλικό επικάλυψης, το οποίο περιέχει συνήθως αργιλικά ορυκτά και ανθρακικό ασβέστιο.

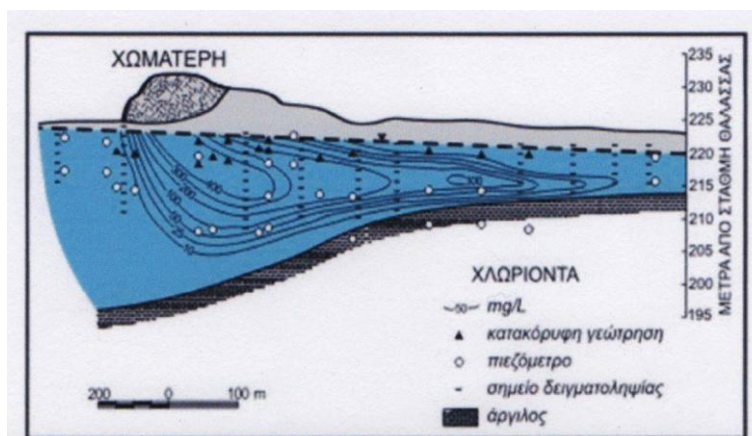
Η παρουσία SO₄²⁻ οφείλεται στη μικροβιακή δράση που ανάγει τα θειούχα σε θειικά και αφετέρου στην καθίζηση θείου με τη μορφή μεταλλικών σουλφιδίων. Η κύρια πηγή αζωτούχων ενώσεων (NH₄⁺, NO₃⁻) στο στράγγισμα οφείλεται στην παρουσία οργανικού αζώτου στα υπολείμματα των τροφών.

Τα στοιχεία Fe, Mn, Al και Zn προέρχονται από τη μερική διάλυση των

μεταλλικών αντικειμένων από το ισχυρά διαβρωτικό στραγγίσμα. Σε μικρές συγκεντρώσεις απαντώνται τα μέταλλα Cu, Ni, Co, Cr, Cd και Hg.

Οι ΧΥΤΑ θεωρούνται ως σημειακές πηγές ρύπανσης. Η διαφυγή του στραγγίσματος από τον χώρο απόθεσης έχει ως αποτέλεσμα την κίνησή του αρχικά κατακόρυφα στην ακόρεστη ζώνη και στη συνέχεια την εισαγωγή του στην κορεσμένη ζώνη, δημιουργώντας το πλούμιο ρύπανσης. Η κίνηση του στραγγίσματος στην κορεσμένη ζώνη καθορίζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα και την υδραυλική κλίση. Το σχήμα και η έκταση του πλούμιου ρύπανσης από μια χωματερή φαίνεται στο Σχήμα 6.7. Το πλούμιο αυτό μπορεί να φθάσει σε οριζόντια απόσταση 2-3 km και σε βάθος 50 m.

Επιπλέον διεργασίες που επηρεάζουν τη μεταφορά των ρύπων είναι: η διάχυση, η υδροδυναμική διασπορά, η ιοντοανταλλαγή, η προσρόφηση, η διάλυση και η απόθεση ορυκτών, η οξειδωση και αναγωγή, οι αντιδράσεις οξέων και βάσεων και οι βιοχημικές αντιδράσεις. Η υψηλή συγκέντρωση Cl^- είναι ένδειξη της παρουσίας στραγγισμάτων στο υπόγειο νερό.



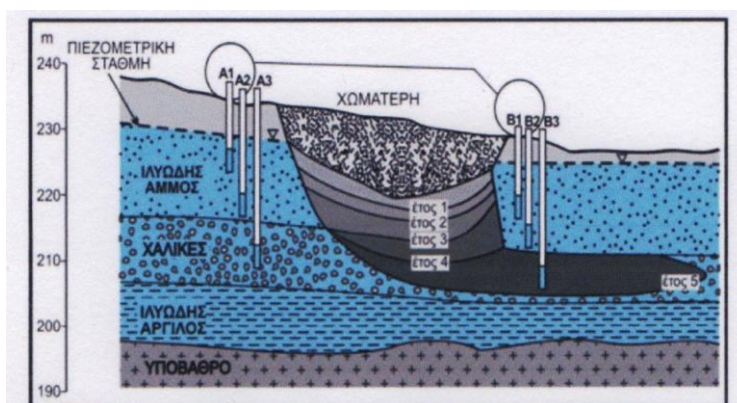
Σχήμα 6.7: Ισοχλώριες καμπύλες του πλουμίου ρύπανσης μιας χωματερής (Soliman, 1998).

Ο έλεγχος διαρροής των στραγγισμάτων γίνεται σε κατάλληλες θέσεις (γεωτρήσεις) που προκύπτουν από την υδρογεωλογική έρευνα. Οι παράμετροι ελέγχου είναι: pH, BOD₅, COD, SO₄, NH₄-N, Cl, F, TOC, αρσενικό, οργανικό N, φαινόλες, φωσφορικά, βαρέα μέταλλα και υδρογονάνθρακες. Η παρακολούθηση της ποιοτικής σύστασης των στραγγισμάτων γίνεται ανά τρίμηνο στη φάση λειτουργίας. Επίσης η στάθμη των υπόγειων υδάτων πρέπει να παρακολουθείται ανά εξάμηνο στη φάση λειτουργίας.

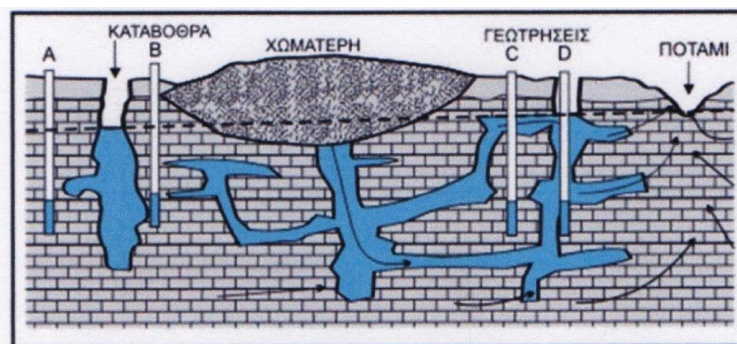
Στο Σχήμα 6.8 φαίνεται η κίνηση σε ένα ανισότροπο υδροφόρο σύστημα σε

συνάρτηση με τον χρόνο. Στα καρστικά ανθρακικά πετρώματα η κίνηση των στραγγισμάτων ελέγχεται από τις διακλάσεις και τα κανάλια διάλυσης και η κίνηση του πλούμιου γίνεται κατά μήκος ασυνεχειών (Σχ. 6.9).

Τα στραγγίσματα έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο (υψηλές τιμές BOD, TOC) και αποτελούν πιθανή πηγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτείται στεγανοποίηση του πυθμένα του ΧΥΤΑ και κατασκευή δικτύου στραγγιστηρίων για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων. Το σύστημα συλλογής κατασκευάζεται πάνω από τον στεγανό πυθμένα του ΧΥΤΑ, διαμέσου του οποίου τα στραγγίσματα κινούνται με ελεύθερη ροή και καταλήγουν σε δεξαμενή αποθήκευσης στραγγισμάτων, κατάντη του ΧΥΤΑ.



Σχήμα 6.8: Κίνηση του στραγγίσματος σε ανισότροπο υδροφόρο (Soliman. 1998).



Σχήμα 6.9: Κίνηση του στραγγίσματος σε καρστικά ανθρακικά συστήματα.

Για την αποφυγή επιφανειακών εισροών στο χώρο του ΧΥΤΑ απαιτείται η κατασκευή περιμετρικής αποστράγγισης, καθώς και αγωγών για την απομάκρυνση των ομβρίων. Τα συλλεγόμενα όμβρια διατίθενται σε ειδικά κατασκευασμένη δεξαμενή κατάντη του χώρου απόθεσης ή σε κατάλληλο αποδέκτη που θα κριθεί κατάλληλος.

Η καθημερινή επικάλυψη των απορριμμάτων μειώνει τον όγκο του νερού που κατεισδύει και συνεπώς τον όγκο των στραγγισμάτων. Τα στραγγίσματα μετά τη συλλογή τους οδηγούνται σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού για επεξεργασία.

Η ποσότητα των παραγόμενων διασταλαζόντων υγρών (QL) δίνεται από τη σχέση:

$$QL = I - Qg$$

όπου: I η κατείσδυση και Qg το νερό που απορροφάται από τα απορρίμματα.

Η ποσότητα Qg είναι η διαφορά της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας ($Y_{αρχ}$) στα απορρίμματα από την ικανότητα συγκράτησης πεδίου (field capacity, F), που προσδιορίζεται εργαστηριακά:

$$Qg = F - Y_{αρχ}$$

Η κατακόρυφη κίνηση του στραγγίσματος ακολουθεί τον νόμο του Darcy. Η ποσότητα που ρέει κατακόρυφα μέσω ενός εδαφικού-αργιλικού στεγανού υποστρώματος πάχους D και υδροπερατότητας k ισούται με:

$$Q = k (D+h) / D$$

όπου h είναι το κορεσμένο πάχος πάνω από το στεγανό υπόστρωμα.

Ο χρόνος που χρειάζεται για να περάσει το στράγγισμα την εδαφική-αργιλική επένδυση πάχους D βρίσκεται από τη σχέση:

$$t = D_2 \theta / k(D+h)$$

όπου θ είναι το πορώδες, και h το υδραυλικό φορτίο. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος διαφυγής (breakthrough time)

Για την αποφυγή απόφραξης (clogging) των συστημάτων συλλογής των στραγγισμάτων (λόγω ανάπτυξης μικροοργανισμών, συγκράτησης αιωρούμενων κ.λπ.) θα πρέπει τα υλικά της στραγγιστικής στρώσης να είναι αδρομερή (χάλικες, χονδρόκοκκη άμμος), πάχους $>0,3$ m, με υψηλή υδροπερατότητα και να τοποθετηθούν φίλτρα στην ανώτερη επιφάνεια.

Η επεξεργασία των στραγγισμάτων περιλαμβάνει την κροκίδωση με διάφορες κροκιδωτικές ουσίες (άλατα Fe και Al, οργανικά πολυμερή, CaO), οι οποίες δεσμεύουν τα αιωρούμενα σωματίδια και τα κολλοειδή, προσροφούν τις οργανικές ουσίες και κατακρημνίζουν τα μέταλλα με τη μορφή υδροξειδίων.

Η χημική οξειδωση με ισχυρό οξειδωτικό (O_3 , H_2O_2 , Cl_2) επιφέρει μείωση του COD κατά 15-35%. Η προσρόφηση με ενεργό άνθρακα κατακρατεί τις σύμπλοκες οργανικές ενώσεις, αλλά απαιτεί μεγάλο κόστος. Επιπλέον

εφαρμόζονται και βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας τόσο αερόβιες, όσο και αναερόβιες. Τα επεξεργασμένα στραγγίσματα μπορεί να οδηγηθούν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων ή για ανακυκλοφορία στον ΧΥΤΑ.

6.10. Το πρόβλημα της στεγανότητας στους ΧΥΤΑ

Ο σωστός σχεδιασμός ενός σύγχρονου ΧΥΤΑ προβλέπει τη στεγανότητα του πυθμένα και των περιμετρικών πρανών, για να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα διαφυγής του στραγγίσματος προς το υπέδαφος. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της μόνωσης αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση ή και πρακτικά μηδενισμό της διαφυγής διασταλαζόντων (στραγγισμάτων) και διαρροής ή μετανάστευσης βιοαερίου από τη βάση και τα πλευρικά τοιχώματα του ΧΥΤΑ.

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές ΧΥΤΑ (ΚΥΑ 114218/97/ΦΕΚ 1010Β/17-11-97) το σύστημα μόνωσης του πυθμένα πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις υδροπερατότητας και πάχους, οι οποίες αντιστοιχούν σε **στρώμα αργίλου με $k=10^{-9}$ m/s και πάχος $D=1$ m**. Αποκλείονται τα εδάφη στα οποία μετά τη συμπίεση ο συντελεστής υδροπερατότητας k είναι της τάξεως των 10^{-6} m/s. Ο συντελεστής υδροπερατότητας πρέπει να ελέγχεται πριν την κατασκευή με επαρκή αριθμό δοκιμών. Οι ελάχιστες απαιτήσεις ως προς τα εδαφικά υλικά προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω συντελεστής είναι:

1. Το ποσοστό του λεπτόκοκκου υλικού (άργιλος, διάμετρος κόκκων $<2\text{mm}$) να αντιστοιχεί κατ' ελάχιστον στο 20% της μάζας.
2. Η αργιλική μονωτική στρώση να έχει χαμηλά όρια Atterberg (βλ. παράγραφο 2.4) με σκοπό τον κατά το δυνατόν περιορισμό της ρηγμάτωσης. Το όριο υδαρότητας της αργίλου να μην υπερβαίνει το 40% και ο δείκτης πλαστικότητας να κυμαίνεται μεταξύ 10-25%.
3. Το ποσοστό του χονδρόκοκκου υλικού της στρώσης, η διάμετρος του οποίου δεν θα υπερβαίνει τα 32 mm, πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο με 40% επί του ολικού όγκου.

Σε περίπτωση που τα διαθέσιμα υλικά δεν κρίνονται κατάλληλα, τότε μπορεί να γίνει ανάμειξή τους με επεξεργασμένα υλικά, όπως π.χ. ο μπεντονίτης ή να χρησιμοποιηθούν συνθετικά (πολυμερή). Πριν την κατασκευή της στεγανής στρώσης συνιστάται ο καθαρισμός και η εξομάλυνση

της φυσικής επιφάνειας του εδάφους. Ο βαθμός συμπίεσης για όλη την επιφάνεια εξομάλυνσης πρέπει να είναι 0,95. Η συμπύκνωση των επάλληλων στρώσεων πρέπει να γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να αποφευχθεί η παρατεταμένη έκθεση της μονωτικής επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία. Δεν επιτρέπονται εργασίες συμπύκνωσης μετά από έντονη βροχόπτωση και παγετό.

Ο εργαστηριακός έλεγχος καταλληλότητας των υλικών της αργιλικής στρώσης περιλαμβάνει: κοκκομετρική διαβάθμιση, περιεχόμενη υγρασία, ποσοστά αργιλικού και οργανικού υλικού, όρια πυκνότητας, συντελεστής υδροπερατότητας, μέτρο συμπίεσης, διατμητική αντοχή, πυκνότητα κατά Proctor.

Αναλυτικά ο πυθμένας και τα πρανή του ΧΥΤΑ πρέπει να πληρούν τα εξής:

- ΧΥΤ μη επικίνδυνων αποβλήτων: υδροπερατότητα $k 10^{-9}$ m/s, πάχος 1 m.
- ΧΥΤ επικίνδυνων αποβλήτων: $k 10^{-9}$ m/s, πάχος 5 m.
- ΧΥΤ αδρανών αποβλήτων: $k 10^{-7}$ m/s, πάχος 1 m.

Τα στεγανά υποστρώματα κατασκευάζονται από μια ποικιλία φυσικών και τεχνητών υλικών και διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

1. Άκαμπτα

- **Σκυρόδεμα** (εκτοξευόμενο ή οπλισμένο)

Το εκτοξευόμενο αποτελείται από μίγμα τσιμέντου, άμμου και νερού, που εκτοξεύεται με πίεση πάνω στο προετοιμασμένο έδαφος. Στα μαλακά εδάφη δεν ενδείκνυται η χρήση του, λόγω της μικρής αντοχής στη θραύση. Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι πιο ανθεκτικό, αλλά έχει προβλήματα διαρροής από τις ρωγμές διαστολής-συστολής.

- **Τσιμέντο**

Εάν στην περιοχή του χώρου απόθεσης υπάρχει αμμοχάλικο, τότε προστίθεται τσιμέντο και νερό και συμπαγοποιείται. Είναι πιο οικονομική μέθοδος από το οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά δεν εξασφαλίζει ομοιογένεια του υλικού.

- **Ασφαλτος**

Κατασκευάζεται όπως τα εύκαμπτα οδοστρώματα και η τοποθέτησή του γίνεται σε επάλληλα στρώματα. Δεν είναι πολύ ανθεκτικό υλικό στην επίδραση των πολύ ενεργών και διαβρωτικών διασταλαζόντων υγρών.

2. Εύκαμπτα φυσικά υλικά

- **Συμπαγές έδαφος**

Η καταλληλότητα ενός φυσικού εδάφους μετά από κάποια συμπαγοποίηση, ως στεγανό υπόστρωμα εξαρτάται από την υδροπερατότητά του (υδραυλική αγωγιμότητα, k). Αποδεκτές τιμές του k είναι 10^{-9} m/s. Η τιμή αυτή, εφαρμόζοντας το νόμο του Darcy για συνηθισμένες τιμές της υδραυλικής κλίσης δίνει ταχύτητες ροής που κυμαίνονται από 10^{-3} έως 10^{-4} m/day. Οι τιμές αυτές είναι μικρές, δεδομένου ότι ένας ρύπος για να διανύσει μια απόσταση 10 m θα χρειαζόταν 27 έτη. Έτσι το φυσικό έδαφος πρέπει να έχει $k = 10^{-7}$ m/s, ώστε μετά τη συμπαγοποίηση να πάρει την επιθυμητή τιμή 10^{-9} m/s.

- **Χημικά επεξεργασμένο έδαφος**

Συνήθως προστίθενται στο έδαφος πολυφωσφορικά οξέα ή βιτουμειούχα υγρά.

- **Μπεντονίτης**

Ο μπεντονίτης ή νατριούχος μοντμοριλονιτική άργιλος έχει φυλλώδη δομή και το νερό προσροφάται εύκολα στην επιφάνεια των κρυστάλλων. Το νερό παγιδεύεται λόγω ηλεκτροστατικών δυνάμεων (φαινόμενο διπλής στοιβάδας) και μειώνει περισσότερο, την έτσι και αλλιώς χαμηλή υδροπερατότητα του μπεντονίτη.

Η χρήση του μπεντονίτη ως στεγανό υπόστρωμα έτυχε ευρείας αποδοχής, λόγω του μικρού κόστους και της ευκολίας τοποθέτησης. Τα στραγγίσματα που περιέχουν οργανικούς διαλύτες ή υψηλές συγκεντρώσεις οξέων και βάσεων μειώνουν την υδροπερατότητα του μπεντονίτη κατά δύο τάξεις μεγέθους. Εκτός από αμιγή μπεντονίτη χρησιμοποιείται συνήθως μείγμα φυσικού εδάφους με μπεντονίτη. Η μείξη αυτή μειώνει σημαντικά την υδροπερατότητα των εδαφών.

3. Συνθετικά υλικά

- **Συνθετικές μεμβράνες**

Κατασκευάζονται από πλαστικό ή καουτσούκ σε διάφορους τύπους και παραλλαγές. Τα κυριότερα είδη υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γεωμεμβρανών είναι: το πολυαιθυλένιο (PE), το χλωριωμένο πολυαιθυλένιο (CPE), το χλωροθιωμένο πολυαιθυλένιο (CSPE), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το βουτύλιο (Butil), το πολυχλωροπροπάνιο (Neoprene), η πολυολεφίνη (Πίν. 6.9).

Τα ανωτέρω υλικά κατεργάζονται με διάφορες προσμίξεις και διατίθενται στην αγορά με εμπορικά ονόματα και με μορφή φύλλων πάχους 3 mm. Οι κυριότερες ιδιότητες των γεωμεμβρανών είναι: το πάχος, η υδροπερατότητα, το ειδικό βάρος, η περιεκτικότητα σε άνθρακα, η αντοχή (στη ρηγμάτωση, γήρανση, θερμοκρασία, ανάπτυξη βακτηρίων κ.λπ). Τα ασθενέστερα σημεία των γεωμεμβρανών για διαρροή των στραγγισμάτων είναι οι συρραφές, γι' αυτό χρειάζεται έλεγχος των συγκολλήσεων. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση σύνθετων μεμβρανών δηλ. μια συνθετική μεμβράνη, που τοποθετείται στην οροφή μιας συμπυκνωμένης αργιλικής στρώσης.

Τελευταία χρησιμοποιούνται οι γεωσυνθετικές αργιλικές μεμβράνες (Geosynthetic Clay Liners, GCL), που αποτελούνται από μια αργιλική στρώση (μπεντονίτης), η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ δύο συνθετικών μεμβρανών ή μια αργιλική στρώση συγκολλημένη πάνω σε μια συνθετική μεμβράνη. Οι μεμβράνες GCL κατασκευάζονται βιομηχανικά και διατίθενται έτοιμες στο εμπόριο, επιτυγχάνοντας μικρές τιμές της υδροπερατότητας και συνεπώς μειωμένη πιθανότητα διαρροής των στραγγισμάτων.

Οι προδιαγραφές των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού των γεωμεμβρανών και οι αντίστοιχες τυπικές τιμές κατά DIN είναι:

1. Εφελκυστική αντοχή θραύσης >24 N mm (DIN 53455)
2. Εφελκυστική αντοχή διαρροής >15 N mm² (DIN 53455)
3. Επιμήκυνση σε θραύση >600% (DIN 53455)
4. Επιμήκυνση σε διαρροή >8% (DIN 53455)
5. Αντοχή σε σχίσσιμο >500 N mm² (DIN 53457)
6. Αντοχή σε διάτρηση >300 mm² (DIN 16726)
7. Αντοχή σε εφελκυσμό κατά θραύση >120 N/mm (DIN 53515)
8. Όριο σχισίματος >500 N (DIN 53363)

Πολυαξονική επιμήκυνση σε θραύση >15% (DIN 53861).

6.11. Τελική επικάλυψη και αποκατάσταση των ΧΥΤΑ

Η τελική αποκατάσταση ενός ΧΥΤΑ μετά το πέρας των εργασιών απόθεσης (>20 έτη) και την τοποθέτηση της τελικής επικάλυψης πρέπει να είναι συμβατή με το περιβάλλον.

Η **τελική επικάλυψη** έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση της κατείσδυσης και συνεπώς τον περιορισμό του παραγόμενου στραγγίσματος. Συνήθως προτιμούνται εδαφικά υλικά ή μπεντονίτης ή μείγμα φυσικού εδάφους και μπεντονίτη. Το πάχος του στεγανού καλύμματος καθορίζεται από τις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής του χώρου απόθεσης των απορριμμάτων και τις πιθανές χρήσεις του χώρου μετά την τελική αποκατάστασή του.

Επιπλέον η τελική επικάλυψη αποτρέπει τη διαφυγή του βιοαερίου προς τα ανώτερα στρώματα, καθώς και την εκπομπή ανεπιθύμητων οσμών. Δημιουργεί δε το κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη κατάλληλης βλάστησης και σταθερό σχετικά έδαφος για τη στήριξη ελαφρών κατασκευών που μπορεί να περιλαμβάνουν οι νέες χρήσεις.

Ο σχεδιασμός της τελικής επικάλυψης πρέπει να συνεκτιμά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ, τις προβλεπόμενες νέες χρήσεις και τεχνικοοικονομικά στοιχεία, ώστε να εφαρμοσθεί η βέλτιστη λύση. Η τελική επικάλυψη αποτελείται από τις εξής στρώσεις από κάτω προς επάνω (Σχ. 6.10):

Η πρώτη στρώση πάχους 0,15-0,60 m αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά (αμμοχάλικες) και αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία "κάθεται" η στεγανή στρώση.

Η στεγανή δεύτερη στρώση αποτελείται από μπεντονίτη ή συνθετική γεωμεμβράνη, πάχους 0,5 m και k 10⁻⁹ m/s.

Η τρίτη στρώση έχει πάχος 0,3-1 m, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και προστατεύει το δεύτερο στρώμα. Τέλος η τελική επικάλυψη περιλαμβάνει και ένα επιφανειακό εδαφικό στρώμα πάχους 0,1-0,3 m για την ανάπτυξη της χλωρίδας.

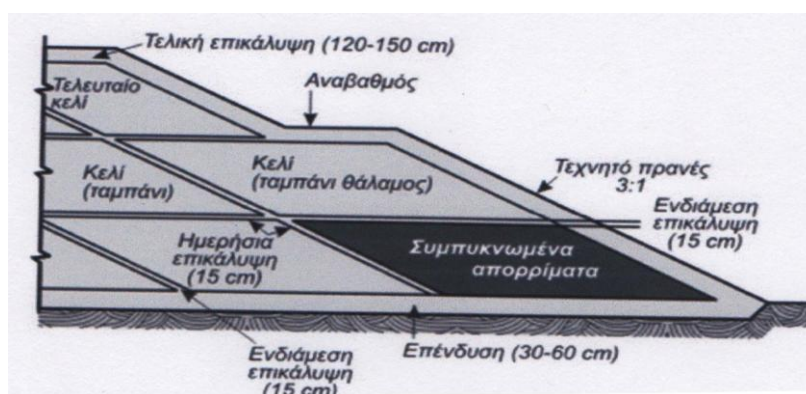
Το αδρανές υλικό, που απαιτείται συνολικά για την κάλυψη των απορριμμάτων, ανέρχεται στο 20-25% του συνολικού τους όγκου.

Ιδιότητα	Πολυαιθυλένιο		Πολυβινυλο- χλωρίδιο	Χλωριωμένο πολυαιθυλένιο	ETM	Πολύ- ολεφίνη	Βουτύλιο	EPDM	Πολυ- χλωροπρ ένιο
	Υψηλής πυκνότητας	Χαμηλής πυκνότητας							
Ειδικό βάρος	0,92-0,94	0,94-0,96	1,20-1,50	1,35-1,39	0,90-0,91	1,08-1,40	0,92-1,25	0,91-1,25	-
Διατμητική αντοχή (lb/in ²)	1300-2500	2400-4800	3500-10000	1800min	4000-32000	9000-11000	1000-4000	1000-3500	1000-2000

Δυνατότητα επιμήκυνσης χωρίς θραύση (%)	200-800	10-650	60-200	375-575	40-400	250-450	-	-	-
Θερμοκρασιακό εύρος αντοχής σε οC	-70 έως 180	-70 έως 240	-60 έως 200	-40 έως 200	-60 έως 220	-60 έως 380	-50 έως 325	-70 έως 250	-45 έως 250
Αντοχή σε οξέα	Πτωχή έως καλή	Καλή	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Πτωχή	-	-	Καλή
Αντοχή σε βάσεις	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως Εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Καλή έως εξαιρετική	Εξαιρετική	-	-	Καλή έως εξαιρετική
Αντοχή σε οξυγονωμένους διαλύτες	Πτωχή έως καλή	Πτωχή έως καλή	Καλή	Πτωχή	-	-	-	-	Καλή
Αντοχή σε αρωματικούς διαλύτες	Μέτρια	Μέτρια	Καλή	Πτωχή	Καλή	Καλή	Πτωχή	Πτωχή	Μέτρια
Αντοχή σε αλειφατικούς διαλύτες	Πτωχή έως μέτρια	Πτωχή έως καλή	Καλή	Καλή	Καλή	Εξαιρετική	Πτωχή	Πτωχή	Καλή
Αντοχή σε αποσύνθεση	Πτωχή	Πτωχή	Καλή	Εξαιρετική	Πτωχή	Μέτρια		Μέτρια	Εξαιρετική

Πίν. 6.9: Συμπεριφορά και αντοχή των κυριότερων τύπων γεωμεμβρανών (από Kumar et.al., 1973).

Μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ συνιστάται η υδρογεωλογική παρακολούθησή του για 30 χρόνια μέχρις ότου δηλαδή μειωθεί σημαντικά το ρυπαντικό φορτίο των στραγγισμάτων. Στόχος της παρακολούθησης είναι ο ποιοτικός έλεγχος για την πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων νερών. Η παρακολούθηση γίνεται μέσω αριθμού γεωτρήσεων (συνήθως μία ανάντη και 4 κατόντη της χωματερής), από τις οποίες λαμβάνονται δείγματα νερού από τον πιο ρηχό υδροφόρο και αναλύονται ποιοτικά, τουλάχιστον δύο φορές το χρόνο.



Σχήμα 6.8: Πάχη επένδυσης ενδιάμεσης και τελικής επικάλυψης ΧΥΤΑ από γαιώδη υλικά (Καλλέργης 2000).

Η μελέτη αποκατάστασης πρέπει να αποτελεί μέρος ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού της λειτουργίας του ΧΥΤΑ και να λαμβάνει υπόψη τα περιβαλλοντικά δεδομένα της περιοχής.

Η εκπόνηση της μελέτης αποκατάστασης γίνεται με τη συνεργασία επιστημόνων πολλών ειδικοτήτων (αρχιτέκτονα τοπίου, δασολόγου, γεωπόνου, υδρογεωλόγου, πολιτικού μηχανικού) και αποβλέπει (Κόλλιας, 1993):

1. στην αισθητική αποκατάσταση του τοπίου σε συμφωνία με το περιβάλλον
2. στην ανάπτυξη πανίδας και χλωρίδας
3. στη δημιουργία ευελιξίας για μελλοντικές χρήσεις γης.

Εκτός της βλάστησης διαμορφώνονται δρόμοι προσπέλασης, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων και ελαφρές κατασκευές. Αποφεύγονται κτήρια από σκυρόδεμα και πολυόροφα κτήρια.

Παρόμοια η αποκατάσταση ανεξέλεγκτων χωματερών επιτυγχάνεται με απλές τεχνικές, συμβατές με το περιβάλλον και κυρίως με: εξομάλυνση του υπάρχοντος απορριμματικού ανάγλυφου, αποκλεισμό περαιτέρω ανεξέλεγκτων απορρίψεων και χωματουργικές εργασίες εξομάλυνσης του ανάγλυφου. Επιπλέον λαμβάνονται μέτρα για τη διαχείριση των στραγγισμάτων, ειδικά όπου έχει εντοπισθεί επιφανειακή ροή αυτών. Δημιουργούνται για τον λόγο αυτόν τοπικοί λάκκοι ή τάφροι συλλογής των στραγγισμάτων.

Πάνω στο εξομαλυσμένο ανάγλυφο κατασκευάζεται συμπιεσμένη στρώση εδαφικού υλικού χαμηλής υδροπερατότητας. Ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής λαμβάνονται μέτρα για την αποτροπή της εισόδου των ομβρίων της ευρύτερης λεκάνης απορροής. Επίσης στη στεγανή επιφάνεια τοποθετείται κατάλληλο χώμα για τη φυσική ανάπτυξη πρασίνου.

Για την απαγωγή του βιοαερίου συνιστάται η ανόρυξη γεωτρήσεων στη μάζα των απορριμμάτων. Το βιοαέριο πρέπει να καίγεται επιτόπου ή σε κεντρικό σημείο με ειδική διάταξη. Σε περιπτώσεις που έχει παρατηρηθεί αυτανάφλεξη πρέπει να αποφεύγεται η κατασκευή έργων συλλογής και

απαγωγής του βιοαερίου, επειδή αυτά μπορεί να λειτουργήσουν ως συστήματα οξυγόνωσης και αναζωπύρωσης των λανθανουσών εστιών καύσης.

Τέλος απαραίτητη είναι η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του αναπλάσθεντος αναγλύφου για καθιζήσεις, μετατοπίσεις, διαβρώσεις, διαρρήξεις. Επιπλέον ο περιβαλλοντικός έλεγχος (monitoring) σε τακτά χρονικά διαστήματα των :

- φυσικοχημικών παραμέτρων των στραγγισμάτων
- φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού σε σημεία κατάντη του χώρου
- φυσικοχημικών παραμέτρων του βιοαερίου και της ποσότητάς του.

6.12. ΧΥΤ αδρανών κι επικίνδυνων αποβλήτων

Στους ΧΥΤ αδρανών διατίθενται μόνο αδρανή υλικά (οικοδομικά απορρίμματα), που προέρχονται κυρίως από έργα δόμησης ή από έργα κατεδάφισης κτηρίων λόγω γήρανσης, βλαβών από σεισμούς και ανακαίνισης. Σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κατάλογο τα δομικά απορρίμματα διακρίνονται σε κεραμικά, τούβλα, πλακάκια, σκυρόδεμα (κωδικός 1701) και σε ξύλο, γυαλί και πλαστικά (κωδικός 1702). Στην Ελλάδα παράγονται ετησίως 5,5x10⁶ τόνοι δομικών απορριμμάτων που συνήθως καταλήγουν στους ΧΥΤΑ. Ένα μέρος των υλικών θα μπορούσε να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί ως υλικό επίχωσης, ως υλικό αποκατάστασης ανεξέλεγκτων χωματερών, ως δευτερογενές υλικό για έργα οδοποιίας και ως αδρανή για την παραγωγή σκυροδέματος. Στην περιοχή Θεσσαλονίκης λειτουργεί ήδη μονάδα ανακύκλωσης δομικών απορριμμάτων και το παραγόμενο υλικό χρησιμοποιείται ως υλικό βάσης και υπόβασης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές (Οικονόμου κ.ά., 2006). Νομοθετικά προωθείται προς ψήφιση Προεδρικό Διάταγμα για την εναλλακτική διαχείριση των απορριμμάτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις.

Η χωροθέτηση ενός ΧΥΤ αδρανών ακολουθεί παρόμοια διαδικασία με αυτήν ενός ΧΥΤ απορριμμάτων. Η γεωλογική έρευνα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών, την ευστάθεια των πρανών, την πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων, τη σεισμικότητα, τη γεωμορφολογία, την παρουσία

υδροφορέων κ.ά. Επιπλέον εξετάζεται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους στα φορτία του ανάγλυφου που θα δημιουργηθεί, καθώς και οι γεωτεχνικές ιδιότητες των αδρανών υλικών στα στρώματα απόθεσης.

Κατασκευάζονται τα απαραίτητα έργα αποστράγγισης, ώστε να μειωθούν οι εισροές ομβρίων υδάτων από τον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης με τη διαμόρφωση κατάλληλων κλίσεων γίνεται προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί η κατείσδυση των ομβρίων υδάτων στον ΧΥΤΑ.

Ο πυθμένας και τα πρανή μονώνονται, κατά προτίμηση με φυσικά υλικά, ώστε να επιτευχθεί συντελεστής υδροπερατότητας ισοδύναμος με στρώση αδρανούς υλικού, πάχους τουλάχιστον 1 m με συντελεστή υδροπερατότητας $k=10^{-7}$ m/s.

Στα μεταφερόμενα αδρανή γίνεται μακροσκοπικός έλεγχος και πρέπει να τηρούνται στοιχεία για τον εισερχόμενο όγκο των υλικών. Όπως προαναφέρθηκε η διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων γίνεται με διάφορους τρόπους, όπως υγειονομική ταφή, έκχυση σε βάθος, απόρριψη στη θάλασσα ή ταφή στο θαλάσσιο βυθό, βιολογική επεξεργασία κ.λπ., ώστε να διασφαλίζεται η υγεία του ανθρώπου και η προστασία του περιβάλλοντος.

Ο Εθνικός Σχεδιασμός διαχείρισης των επικίνδυνων αποβλήτων εκπονείται από το ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τα συναρμόδια Υπουργεία. Η επιλογή θέσεων υγειονομικής ταφής επικίνδυνων αποβλήτων ακολουθεί τη διαδικασία που αναφέρθηκε για τα μη επικίνδυνα απόβλητα με μεγαλύτερη αυστηρότητα. Ο πυθμένας και τα πρανή πρέπει να έχουν συντελεστή υδροπερατότητας k 10^{-9} m/s και πάχος D 5 m. Απαιτείται επίσης τεχνητή μεμβράνη στεγανοποίησης και στρώμα αποστράγγισης 0,5 m. Κατά περίπτωση, αν υπάρχει ενδεχόμενος κίνδυνος για το περιβάλλον, γίνεται και επιφανειακή στεγανοποίηση.

Για την προστασία των υπόγειων νερών γίνεται συστηματικός έλεγχος της ποιότητας αυτών από γεωτρήσεις κατόντη του ΧΥΤΑ. Η παρακολούθηση των επιφανειακών νερών, εάν υπάρχουν, γίνεται σε δύο τουλάχιστον σημεία, ένα ανάντη και ένα κατόντη.

6.13. ΧΥΤΥ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων)

Ο ΧΥΤΥ είναι ο ίδιος χώρος υγειονομικής ταφής, όχι όμως όλων των απορριμμάτων, αλλά μόνο των υπολειμμάτων, δηλαδή εκείνων των απορριμμάτων που δεν ανακυκλώνονται. Δηλαδή θα πρέπει πλέον να γίνεται διαλογή στην πηγή ή κεντρική διαλογή όσων απορριμμάτων ανακυκλώνονται (π.χ. χαρτί, αλουμίνιο, γυαλί, πλαστικά) τα οποία θα προωθούνται προς πώληση και επαναχρησιμοποίηση και μόνο τα υπόλοιπα απορρίμματα θα οδεύουν για υγειονομική ταφή.

Για να δημιουργηθεί ένας ΧΥΤΥ ή να εξελιχθεί ο ΧΥΤΑ σε ΧΥΤΥ θα πρέπει παράλληλα να εφαρμόζεται η διαδικασία της ανακύκλωσης. Στην Αττική είναι εφικτή (και ήδη έχει γίνει σημαντικό έργο προς αυτήν την κατεύθυνση) η ανάπτυξη ενός συστήματος διαλογής στην πηγή για υλικά όπως χαρτί, πλαστικό, γυαλί και αλουμίνιο. Τα ανακυκλώσιμα αυτά υλικά θα συγκεντρώνονται στα κέντρα διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών στα οποία θα πρεσάρονται, θα δεματοποιούνται και θα αποστέλλονται σε πιστοποιημένα κέντρα ανακύκλωσης.

6.14. Διαδικασίες έγκρισης κι έκδοσης άδειας λειτουργίας ΧΥΤΑ

Η διαδικασία έγκρισης και έκδοσης άδειας λειτουργίας ΧΥΤ Απορριμμάτων καθορίζεται από την υφιστάμενη νομοθεσία και είναι η κάτωθι:

1. Καταγραφή των υποψήφιων χώρων
2. Συγκρότηση από τον Νομόρχη γνωμοδοτικής επιτροπής
3. Σύνταξη μελέτης προέγκρισης χωροθέτησης
4. Εκπόνηση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.)
5. Απόφαση έγκρισης μελέτης περιβαλλοντικών όρων
6. Εκπόνηση τεχνικής μελέτης κατασκευής
7. Κατασκευή του ΧΥΤΑ και άδεια λειτουργίας

Η κοινοτική οδηγία 1991/156/EU θέτει τις βάσεις για την αποτελεσματική και βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων, δίνοντας έμφαση στη μείωση αυτών στην πηγή παραγωγής και στην υγειονομική ταφή. Η οδηγία 99/31/EU θέτει τα «τεχνικά πρότυπα υγειονομικής ταφής» για όλη τη διάρκεια ζωής ενός ΧΥΤΑ.

Η ελληνική νομοθεσία που διέπει τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων,

καθώς και τα κριτήρια επιλογής θέσεων εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων καθορίζεται από τις:

- ΚΥΑ 50910/2727 (ΦΕΚ 1909/22-12-2003) «Μέτρα και όροι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης». Περιλαμβάνει τις κατηγορίες αποβλήτων και τις τεχνικές προδιαγραφές σύνταξης των περιφερειακών σχεδίων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.
- ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572B/16-12-2002) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή αποβλήτων».
- ΚΥΑ 114218/97 (ΦΕΚ 1016 Β/17-11-97) «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων». Περιλαμβάνει το πλαίσιο τεχνικών προδιαγραφών διαχείρισης στερεών αποβλήτων, τους όρους και τα κριτήρια καταλληλότητας και επιλογής θέσεων εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων.
- ΚΥΑ 49541/1424/86 (ΦΕΚ 358B'/17-5-1996) «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την οδηγία 75/422/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 15ης Ιουλίου 1975». Ορίζει τις διαδικασίες για την έγκριση της λειτουργίας ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων.
- ΚΥΑ 69269/5387/90 (ΦΕΚ 678B'/25-10-1990) «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μ.Π.Ε. και λοιπές συναφείς διατάξεις σύμφωνα με τον Ν. 1650/1986». Αναφέρεται στις Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων σε ΧΥΤΑ.
- Νόμος 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α'/18-10-86) «Για την προστασία του περιβάλλοντος».

Σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων δεν γίνονται δεκτά τα ακόλουθα απόβλητα:

1. Υγρά απόβλητα
2. Απόβλητα που είναι διαβρωτικά, εκρηκτικά, οξειδωτικά ή εύφλεκτα
3. Απόβλητα νοσοκομείων και συναφή που είναι μολυσματικά
4. Ολόκληρα ή τεμαχισμένα μεταχειρισμένα ελαστικά αυτοκινήτων
5. Απόβλητα που εκπέμπουν ενοχλητικές οσμές
6. Χημικά απόβλητα που έχουν χαρακτηρισθεί ως επικίνδυνα

Πρέπει να τονισθεί ότι επιβάλλεται ο περιορισμός τόσο της ποσότητας όσο και του επικίνδυνου χαρακτήρα των απορριμμάτων που προορίζονται για υγειονομική ταφή. Οι πρόσφατες προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιτάσσουν τον διαχωρισμό και την ειδική επεξεργασία των επικίνδυνων απορριμμάτων όπως, τα ραδιενεργά, τα νοσοκομειακά, τα ελαστικά αυτοκινήτων, οι μπαταρίες, τοξικά στερεά απόβλητα, κ.ά. Επίσης η οδηγία 199/31/ΕΚ της Ε.Ε. επιτάσσει ότι στους ΧΥΤΑ θα πραγματοποιείται διάθεση μόνο των αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία. Τα επικίνδυνα απόβλητα και τα αδρανή διατίθενται σε ειδικούς χώρους.

Κάθε χώρος υγειονομικής ταφής αποβλήτων κατατάσσεται σε: ΧΥΤ μη επικίνδυνων αποβλήτων, ΧΥΤ επικίνδυνων αποβλήτων και ΧΥΤ αδρανών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο **ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΚΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ** **Α.Σ.Α.**

(Πηγές Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, ΕΣΔΚΝΑ, ΕΕΔΕ & ΤΕΕ)

7.1. Η ευρωπαϊκή πολιτική στον τομέα διαχείρισης των Α.Σ.Α.

Με το 5ο Πρόγραμμα δράσης για το Περιβάλλον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε ως στόχο τη σταθεροποίηση της παραγωγής αστικών αποβλήτων στα επίπεδα του 1985 (300 κιλά/κάτοικο/έτος) έως το έτος 2000. Ο στόχος αυτός δεν επετεύχθη. Για τον λόγο αυτό στο 6ο Πρόγραμμα δράσης για το Περιβάλλον δεν ετέθησαν πλέον ποσοτικοί αλλά στρατηγικοί στόχοι για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από την παραγωγή αποβλήτων, λαμβάνοντας μέτρα ώστε:

- Τα απόβλητα να μην είναι επικίνδυνα ή τουλάχιστον να συνιστούν μικρή επικινδυνότητα για το περιβάλλον και την υγεία.
- Τα περισσότερα απόβλητα να επανεισάγονται στον οικονομικό κύκλο, κυρίως με την ανακύκλωση ή να επιστρέφουν στο περιβάλλον σε χρήσιμη (π.χ. κομπόστ) ή αβλαβή μορφή.
- Οι ποσότητες των αποβλήτων που οδηγούνται προς ταφή να ελαττωθούν στο απολύτως ελάχιστο και να διατίθενται με ασφάλεια.
- Τα απόβλητα να υπόκεινται σε επεξεργασία και αξιοποίηση κοντά στον τόπο παραγωγής τους.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα συλλέγονται περισσότερο από 306 εκατομμύρια τόνοι ΑΣΑ, τα οποία αντιπροσωπεύουν το 14% του συνόλου των παραγομένων στερεών αποβλήτων στα οποία περιλαμβάνονται: τα γεωργικά απόβλητα, τα βιομηχανικά απόβλητα, τα απόβλητα από λατομικές & εξορυκτικές δραστηριότητες, τα απόβλητα εσκαφών και κατεδαφίσεων καθώς και τα επικίνδυνα στερεά απόβλητα.

Οι περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κυρίως της Δυτικής Ευρώπης, έχουν παρεμφερή ειδική παραγωγή αστικών αποβλήτων οικιακής και εμπορικής προέλευσης ανά κάτοικο (540 κιλά/κάτοικο το 1999) παρά τις διαφορές στο εισόδημα. Στα νέα Κράτη μέλη η παραγωγή ανά κάτοικο είναι χαμηλότερη (350 κιλά/κάτοικο το 1999), γεγονός που αποδίδεται στις

διαφορετικές καταναλωτικές συνήθειες, διαφορετικά συστήματα συλλογής αλλά και στη μεθοδολογία καταγραφής στοιχείων.

	Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ε.Ε. – 15		482	495	511	516	545	554	558	574	577
Βέλγιο		455	450	464	459	460	468	462	462	446
Δανία		567	619	588	593	627	665	677	668	675
Γερμανία		533	543	556	546	605	610	600	640	638
Ελλάδα		306	344	372	388	405	408	417	422	428
Ισπανία		467	492	517	530	576	595	595	588	609
Γαλλία		489	500	511	522	523	532	545	557	561
Ιρλανδία		514	524	548	557	580	603	707	698	792
Ιταλία		450	453	463	466	492	502	508	525	523
Λουξεμβούργο		592	589	607	629	650	657	650	653	658
Ολλανδία		549	563	590	593	599	616	612	615	599
Αυστρία		438	517	532	532	563	581	578	611	610
Πορτογαλία		385	399	402	423	442	472	472	447	452
Φινλανδία		414	410	448	466	485	503	466	457	450
Σουηδία		380	397	416	431	428	428	442	468	471
Ην. Βασίλειο		496	507	527	536	562	569	582	600	610

Πίνακας 7.1: Ποσότητες συλλεχθέντων δημοτικών στερεών αποβλήτων στην Ε.Ε.-15 (kg ανά κάτοικο ανά έτος) (1995-2003)

Στον Πίνακα 7.1, παρουσιάζονται οι ποσότητες των αποβλήτων που συλλέχθηκαν από ή εκ μέρους των δημοτικών αρχών και διατέθηκαν μέσω του συστήματος διαχείρισης στερεών αποβλήτων, στην Ε.Ε. των 15, από το 1995 μέχρι και το 2003. Η βάση των αποβλήτων αυτών προέρχεται από τα νοικοκυριά, αν και περιλαμβάνονται και “προσομοιάζονται” απόβλητα από πηγές όπως το εμπόριο, τα γραφεία και οι δημόσιες υπηρεσίες. Η Ελλάδα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με την Ευρωπαϊκή Ένωση, με ειδική παραγωγή αστικών αποβλήτων το 1999 της τάξης των 400 κιλών /κάτοικο/έτος. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ελάττωση στο ποσοστό των ΑΣΑ που οδηγούνται προς ταφή στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με ταυτόχρονη αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης. Η ταφή απορριμμάτων έχει μειωθεί από 67% των συλλεγομένων το 1995, σε 57% το 1999 και σε 49% το 2006. Η αποτέφρωση γίνεται σε ποσοστό 18%, η ανακύκλωση / κομποστοποίηση στο

33%. Παρατηρείται δηλαδή σαφής υποχώρηση της ταφής και σημαντική αύξηση της ανακύκλωσης / κομποστοποίησης.

Η καύση με παραγωγή ενέργειας είναι μια σημαντική μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ. Στη Δυτική Ευρώπη ένα ποσοστό 17% εξ αυτών οδηγήθηκε σε εγκαταστάσεις καύσης το 1995, με αύξηση στο 18% το 1999, ενώ στις χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης παρατηρείται ένα πολύ χαμηλό ποσοστό 2,3% και 6% αντιστοίχως. Η ταφή παραμένει κυρίαρχη μέθοδος διαχείρισης των ΑΣΑ σε αρκετές χώρες της Ε.Ε. Μάλιστα υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ χωρών με έμφαση στην ταφή (π.χ. Δανία, Ολλανδία, Αυστρία κλπ.), οι οποίες έχουν αναπτύξει την σχετική τεχνογνωσία και τεχνολογίες. Οι χώρες αυτές διευκολύνονται στην επιλογή και εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών διαχείρισης αποβλήτων, συνήθως λόγω υψηλής συγκέντρωσης πληθυσμού και ύπαρξης ικανών δικτύων μεταφοράς, ώστε να επιτυγχάνουν τον αναγκαίο τεχνοοικονομικό όγκο απορριμμάτων προς διαχείριση. Αντιθέτως, στις χώρες της Νότιας, κυρίως, Ευρώπης λόγω γεωγραφικών δεδομένων (ορεινό ανάγλυφο, νησιά, έλλειψη συκοινωνιακών υποδομών, διασπορά πληθυσμού) οι παραπάνω λύσεις καθυστερούν σημαντικά.

	Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ε.Ε. – 15		81	84	88	89	95	99	102	106	108
Βέλγιο		163	153	179	164	151	157	161	158	159
Δανία		294	308	315	312	315	352	374	374	363
Γερμανία		97	106	111	112	125	133	135	143	146
Ελλάδα		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ισπανία		24	25	35	38	36	37	37	38	40
Γαλλία		183	175	175	172	173	174	181	187	189
Ιρλανδία		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ιταλία		24	27	30	34	37	40	44	47	49
Λουξεμβούργο		312	306	300	288	311	284	275	284	274
Ολλανδία		139	171	219	198	203	190	199	194	197
Αυστρία		54	54	56	55	57	65	65	66	65
Πορτογαλία		-	-	-	-	62	96	104	91	98
Φινλανδία		-	-	22	28	38	52	41	39	41
Σουηδία		149	147	150	165	163	164	169	188	212

Ην. Βασίλειο		35	36	29	37	40	41	43	46	45
--------------	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Πίνακας 7.2: Ποσότητες δημοτικών στερεών αποβλήτων που διατίθενται προς αποτέφρωση στην Ε.Ε.-15 (kg ανά κάτοικο ανά έτος)

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι ποσότητες των αποβλήτων που συλλέχθηκαν από ή εκ μέρους των δημοτικών αρχών και διατέθηκαν προς καύση, στην Ε.Ε. των 15, από το 1995 μέχρι και το 2003. Η βάση των αποβλήτων αυτών προέρχεται από τα νοικοκυριά, αν και περιλαμβάνονται και “προσομοιάζονται” απόβλητα από πηγές όπως το εμπόριο, τα γραφεία και οι δημόσιες υπηρεσίες. Με τον όρο καύση εννοείται η θερμική επεξεργασία των αποβλήτων σε εργοστάσιο αποτέφρωσης, όπως ορίζεται στο Άρθο 3 (4), η συναποτέφρωση, όπως ορίζεται στο άρθρο 3(5) της Οδηγίας για την αποτέφρωση των αποβλήτων (2000/76/Ε.Κ. – 4/12/2000). Οι ποσότητες εκφράζονται σε κιλά/κάτοικο/έτος.

	Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ε.Ε. – 15		16,80%	16,97%	17,22%	17,25%	17,43%	17,87%	18,28%	18,47%	18,72%
Βέλγιο		35,82%	34,00%	38,58%	35,73%	32,83%	33,55%	34,85%	34,20%	35,65%
Δανία		51,85%	49,76%	53,57%	52,61%	50,24%	52,93%	55,24%	55,99%	53,78%
Γερμανία		18,20%	19,52%	19,96%	20,51%	20,66%	21,80%	22,50%	22,34%	22,88%
Ελλάδα		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ισπανία		5,14%	5,08%	6,77%	7,17%	6,25%	6,22%	6,22%	6,46%	6,57%
Γαλλία		37,42%	35,00%	34,25%	32,95%	33,08%	32,71%	33,21%	33,57%	33,69%
Ιρλανδία		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ιταλία		5,33%	5,96%	6,48%	7,30%	7,52%	7,97%	8,66%	8,95%	9,37%
Λουξεμβούργο		52,70%	51,95%	49,42%	45,79%	47,85%	43,23%	42,31%	43,49%	41,64%
Ολλανδία		25,32%	30,37%	37,12%	33,39%	33,89%	30,84%	32,52%	31,54%	32,89%
Αυστρία		12,33%	10,44%	10,53%	10,34%	10,12%	11,19%	11,25%	10,80%	10,66%
Πορτογαλία		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	14,03%	20,34%	22,03%	20,36%	21,68%
Φινλανδία		0,00%	0,00%	4,91%	6,01%	7,84%	10,34%	8,80%	8,53%	9,11%
Σουηδία		39,21%	37,03%	36,06%	38,28%	38,08%	38,32%	38,24%	40,17%	45,01%
Ην. Βασίλειο		7,06%	7,10%	5,50%	6,90%	7,12%	7,21%	7,39%	7,67%	7,38%

Πίνακας 7.3: Ποσοστά των συλλεχθέντων δημοτικών στερεών αποβλήτων που διατίθενται προς αποτέφρωση στην Ε.Ε. – 15

Στον Πίνακα 7.3 , παρουσιάζονται τα ποσοστά των συλλεχθέντων δημοτικών αποβλήτων που διατίθενται προς αποτέφρωση στην Ε.Ε.-15, από το 1995 έως και το 2003, όπως αυτά προκύπτουν από τα στοιχεία των Πινάκων 7.1 και 7.2.

Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ε.Ε. – 15	293	285	286	281	281	280	275	264	259
Βέλγιο	218	209	143	108	99	81	62	58	56
Δανία	96	82	65	67	68	67	46	40	34
Γερμανία	245	225	216	199	180	165	160	137	127
Ελλάδα	316	328	338	354	369	372	380	385	393
Ισπανία	309	299	319	318	331	339	365	360	361
Γαλλία	219	231	234	236	230	227	222	219	214
Ιρλανδία	398	419	439	478	517	554	541	504	505
Ιταλία	419	377	370	361	377	380	341	325	323
Λουξεμβούργο	161	163	145	146	140	138	131	146	149
Ολλανδία	158	115	70	54	40	57	50	50	16
Αυστρία	205	186	189	186	195	196	192	188	183
Πορτογαλία	200	231	269	310	303	338	355	328	338
Φινλανδία	268	275	281	294	280	306	284	291	285
Σουηδία	136	126	130	120	108	98	99	93	64
Ην. Βασίλειο	410	430	456	452	463	463	465	464	460

Πίνακας 7.4: Ποσότητες δημοτικών στερεών αποβλήτων που διατίθενται προς ταφή στην Ε.Ε.-15 (kg ανά κάτοικο ανά έτος)

Στον Πίνακα 7.4, παρουσιάζονται οι ποσότητες των αποβλήτων που συλλέχθηκαν από ή εκ μέρους των δημοτικών αρχών και διετεθήσαν προς ταφή, στην Ε.Ε. των 15, από το 1995 μέχρι και το 2003. Η βάση των αποβλήτων αυτών προέρχεται από τα νοικοκυριά, αν και περιλαμβάνονται και “προσομοιάζοντα” απόβλητα από πηγές όπως το εμπόριο, τα γραφεία και οι δημόσιες υπηρεσίες. Ως ταφή ορίζεται η απόθεση απορριμμάτων μέσα ή πάνω στη γη, συμπεριλαμβανομένων των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), και η προσωρινή αποθήκευση για πάνω από ένα έτος σε μόνιμη τοποθεσία. Οι ποσότητες εκφράζονται σε κιλά/κάτοικο/έτος.

Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ε.Ε. – 15	60.79%	57.58%	55.97%	54.46%	51.56%	50.54%	49.28%	45.99%	44.89%
Βέλγιο	47.91%	46.44%	30.82%	23.53%	21.52%	17.31%	13.42%	12.55%	12.56%
Δανία	16.93%	13.25%	11.05%	11.30%	10.85%	10.08%	6.79%	5.99%	5.04%
Γερμανία	45.97%	41.44%	38.85%	36.45%	29.75%	27.05%	26.67%	21.41%	19.91%
Ελλάδα	100.00%	95.35%	90.86%	91.24%	91.11%	91.18%	91.13%	91.23%	91.82%
Ισπανία	66.17%	60.77%	61.70%	60.00%	57.47%	56.97%	61.34%	61.22%	59.28%
Γαλλία	44.79%	46.20%	45.79%	45.21%	43.98%	42.67%	40.73%	39.32%	38.15%
Ιρλανδία	77.43%	79.96%	80.11%	85.82%	89.14%	91.87%	76.52%	72.21%	68.99%
Ιταλία	93.11%	83.22%	79.91%	77.47%	76.63%	75.70%	67.13%	61.90%	61.76%
Λουξεμβούργο	27.20%	27.67%	23.89%	23.21%	21.54%	21.00%	20.15%	22.36%	22.64%
Ολλανδία	28.78%	20.43%	11.86%	9.11%	6.68%	9.25%	8.17%	8.13%	2.67%
Αυστρία	46.80%	35.98%	35.53%	34.96%	34.64%	33.73%	33.22%	30.77%	30.00%
Πορτογαλία	51.95%	57.89%	66.92%	73.29%	68.55%	71.61%	75.21%	73.38%	74.78%
Φινλανδία	64.73%	67.07%	62.72%	63.09%	57.73%	60.83%	60.94%	63.68%	63.33%
Σουηδία	35.79%	31.74%	31.25%	27.84%	25.23%	22.90%	22.40%	19.87%	13.59%
Ην. Βασίλειο	82.66%	84.81%	86.53%	84.33%	82.38%	81.37%	79.90%	77.33%	75.41%

Πίνακας 7.5: Ποσοστά των συλλεχθέντων δημοτικών στερεών αποβλήτων που διατίθενται προς ταφή στην Ε.Ε. – 15

Στον Πίνακα 7.5, παρουσιάζονται τα ποσοστά των συλλεχθέντων δημοτικών αποβλήτων που διατίθενται προς αποτέφρωση στην Ε.Ε.-15, από το 1995 έως και το 2003, όπως αυτά προκύπτουν από τα στοιχεία των οικείων Πινάκων 7.1 και 7.4.

Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ε.Ε. – 15	108	126	137	146	169	175	181	204	210
Βέλγιο	74	88	142	187	210	230	239	246	231
Δανία	177	229	208	214	244	246	257	254	278
Γερμανία	191	212	229	235	300	312	305	360	365
Ελλάδα	0	16	34	34	36	36	37	37	35
Ισπανία	134	168	163	174	209	219	193	190	208
Γαλλία	87	94	102	114	120	131	142	151	158
Ιρλανδία	116	105	109	79	63	49	166	194	227
Ιταλία	7	49	63	71	78	82	123	153	151
Λουξεμβούργο	119	120	162	195	199	235	244	223	235
Ολλανδία	252	277	301	341	356	369	363	371	386
Αυστρία	179	277	287	291	311	320	321	357	362
Πορτογαλία	185	168	133	113	77	38	13	28	16
Φινλανδία	146	135	145	144	167	145	141	127	124
Σουηδία	95	124	136	146	157	166	174	187	195

Ην. Βασίλειο		51	41	42	47	59	65	74	90	105
--------------	--	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Πίνακας 7.6: Ποσότητες δημοτικών στερεών αποβλήτων που διατίθενται προς ανακύκλωση και άλλες μεθόδους αξιοποίησης (πλην της αποτέφρωσης) στην Ε.Ε.-15 (kg ανά κάτοικο ανά έτος)

Στον Πίνακα 7.6, παρουσιάζονται οι ποσότητες των αποβλήτων που συλλέχθηκαν από ή εκ μέρους των δημοτικών αρχών και διατέθηκαν προς ανακύκλωση και άλλες μεθόδους αξιοποίησης. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν αν αφαιρέσουμε από τη συνολική ποσότητα των συλλεχθέντων απορριμμάτων (Πίνακας 7.1), τις ποσότητες που διατίθενται προς αποτέφρωση (Πίνακας 7.2) και ταφή (Πίνακας 7.4), στην Ε.Ε. των 15, από το 1995 μέχρι και το 2003. Οι ποσότητες εκφράζονται σε κιλά/κάτοικο/έτος.

	Έτος	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ε.Ε. – 15		22.41%	25.45%	26.81%	28.29%	31.01%	31.59%	32.44%	35.54%	36.40%
Βέλγιο		16.26%	19.56%	30.60%	40.74%	45.65%	49.15%	51.73%	53.25%	51.79%
Δανία		31.22%	37.00%	35.37%	36.09%	38.92%	36.99%	37.96%	38.02%	41.19%
Γερμανία		35.83%	39.04%	41.19%	43.04%	49.59%	51.15%	50.83%	56.25%	57.21%
Ελλάδα		0.00%	4.65%	9.14%	8.76%	8.89%	8.82%	8.87%	8.77%	8.18%
Ισπανία		28.69%	34.15%	31.53%	32.83%	36.28%	36.81%	32.44%	32.31%	34.15%
Γαλλία		17.79%	18.80%	19.96%	21.84%	22.94%	24.62%	26.06%	27.11%	28.16%
Ιρλανδία		22.57%	20.04%	19.89%	14.18%	10.86%	8.13%	23.48%	27.79%	31.01%
Ιταλία		1.56%	10.82%	13.61%	15.24%	15.85%	16.33%	24.21%	29.14%	28.87%
Λουξεμβούργο		20.10%	20.37%	26.69%	31.00%	30.62%	35.77%	37.54%	34.15%	35.71%
Ολλανδία		45.90%	49.20%	51.02%	57.50%	59.43%	59.90%	59.31%	60.33%	64.44%
Αυστρία		40.87%	53.58%	53.95%	54.70%	55.24%	55.08%	55.54%	58.43%	59.34%
Πορτογαλία		48.05%	42.11%	33.08%	26.71%	17.42%	8.05%	2.75%	6.26%	3.54%
Φινλανδία		35.27%	32.93%	32.37%	30.90%	34.43%	28.83%	30.26%	27.79%	27.56%
Σουηδία		25.00%	31.23%	32.69%	33.87%	36.68%	38.79%	39.37%	39.96%	41.40%
Ην. Βασίλειο		10.28%	8.09%	7.97%	8.77%	10.50%	11.42%	12.71%	15.00%	17.21%

Πίνακας 7.7: Ποσοστά των συλλεχθέντων δημοτικών στερεών αποβλήτων που διατίθενται προς ανακύκλωση και άλλες μεθόδους αξιοποίησης (πλην της αποτέφρωσης) στην Ε.Ε. – 15

Στον Πίνακα 7.7, παρουσιάζονται τα ποσοστά των συλλεχθέντων δημοτικών αποβλήτων που διατίθενται προς ανακύκλωση και άλλες μεθόδους αξιοποίησης (πλην της αποτέφρωσης) στην Ε.Ε.-15, από το 1995 έως και το 2003, όπως αυτά προκύπτουν από τα στοιχεία των οικείων πινάκων 7.1 και 7.6.

Για να γίνουν κατανοητές οι στρατηγικές κατευθύνσεις της Ε.Ε. για τη διαχείριση των ΑΣΑ, είναι αναγκαίο να επισημανθούν τα βασικά σημεία της Ανακοίνωσης της Επιτροπής των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων της 30/7/96 για το θέμα αυτό, που έχει γίνει αποδεκτή από το Συμβούλιο της Ε.Ε. σύμφωνα με το ψήφισμα COM (96)399. Στην ανακοίνωση αυτή, καθορίζεται ως γενικός στόχος της Κοινοτικής πολιτικής για τη διαχείριση των αποβλήτων: “η ανάγκη να διασφαλιστεί υψηλός βαθμός προστασίας του περιβάλλοντος χωρίς να επανέρχεται στρέβλωση της λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς, με σκοπό την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης”.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, προβάλλονται ως υψίστης σημασίας:

- πλήρες και ολοκληρωμένο νομικό πλαίσιο,
- κατάλληλοι ορισμοί των εννοιών που σχετίζονται με τα απόβλητα,
- κατάλληλοι κανόνες και αρχές: γειτνίαση και αυτάρκεια,
- αξιόπιστα και συγκρίσιμα δεδομένα.

Με την επανεξέταση επιβεβαιώνονται η ιεράρχηση των αρχών η οποία θεσπίστηκε στο έγγραφο στρατηγικής του 1989, (α) προτεραιότητα στην πρόληψη των αποβλήτων, (β) προώθηση της ανάκτησης και (γ) ελαχιστοποίηση και ασφαλής διάθεση των αποβλήτων.

Σύμφωνα με την φιλοσοφία της Κοινοτικής Πολιτικής, η ανάκτηση και η διάθεση των στερεών αποβλήτων δεν αποτελούν πλέον τα σημαντικότερα στοιχεία του προβλήματος. Βασικός στόχος οποιασδήποτε πολιτικής είναι η πρόληψη και η πρόβλεψη για μείωση της παραγωγής τους και ειδικότερα μάλιστα για μείωση της αναλογίας επικινδύνων υλικών στα απορρίμματα. Με την πολιτική αυτή ελαττώνονται οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον ενώ υποβοηθείται και η αειφόρος ανάπτυξη.

Για τα απορρίμματα που τελικώς παράγονται οι συνιστώσες της πολιτικής αυτής είναι οι εξής:

1. Πρόληψη

Βασικό ζήτημα στην πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής παρθένων πρώτων υλών, της επεξεργασίας, μεταποίησης, μεταφοράς και χρήσης. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν – σε αρκετά παγιωμένη μορφή – μέθοδοι αναλύσεων κύκλου ζωής για τα κάθε είδους προϊόντα, κατασκευές κ.λ.π. Ήδη όμως έχουν ληφθεί αποφάσεις που υλοποιούνται είτε μέσω χρηματοδοτικών προγραμμάτων (π.χ. LIFE), είτε μέσω θεσμοθέτησης τεχνικών προτύπων, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN). Σε ειδικές περιπτώσεις η πρόληψη μπορεί να γίνεται μέσω περιορισμών ή απαγορεύσεων στη χρήση συγκεκριμένων ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων), ώστε να προλαμβάνεται σε μεταγενέστερο στάδιο η δημιουργία επικινδύνων αποβλήτων. Σημαντικός παράγοντας για την πρόληψη είναι ασφαλώς οι τιμές. Όταν η τιμή τελικής διάθεσης των αποβλήτων είναι υψηλή, οι παραγωγοί αποβλήτων τείνουν να αποφύγουν τις σχετικές δαπάνες περιορίζοντας τον όγκο. Άλλος τρόπος συνεισφοράς στην πρόληψη, είναι τα προγράμματα οικολογικών ελέγχων, με παράλληλη θέσπιση κινήτρων ή και αντικινήτρων σε οικονομικούς φορείς του Δημόσιου ή του ιδιωτικού τομέα (Οικολογικό Σήμα). Η επιτυχία του τρόπου αυτού μπορεί να διευρυνθεί με την ενθάρρυνση των καταναλωτών να αγοράζουν προϊόντα που ρυπαίνουν λιγότερο. Τέλος, ιδιαίτερα αποτελεσματικός είναι για τα ζητήματα αυτά ο συντονισμός μέσω κοινών προσπάθειών των Τοπικών, Περιφερειακών, Εθνικών και Κοινοτικών Αρχών.

2. Επαναχρησιμοποίηση – Ανακύκλωση – Ανάκτηση Ενέργειας

Η τελική διάθεση πρέπει να είναι ασφαλής και να περιορίζεται σε απόβλητα για τα οποία δεν υπάρχει δυνατότητα ανάκτησης λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικό και κοινωνικό κόστος. Στο παρελθόν, από πλευράς δαπανών και σχετικών ευθυνών για τη διάθεση των προϊόντων τα οποία κατέληγαν ως απορρίμματα, επιβαρυνόταν είτε το περιβάλλον, είτε ο τελικός χρήστης φορολογούμενος.

Η προσέγγιση αυτή δεν είναι συμβατή με τις αρχές της προφύλαξης και της πρόληψης, καθώς και με τις αρχές ότι “ο ρυπαίνων πληρώνει” και ότι η περιβαλλοντική ζημιά πρέπει να επανορθώνεται στην πηγή. Έτσι, μια πολιτική για τα απορρίμματα που αποσκοπεί στην πρόληψη της παραγωγής τους, πρέπει να αρχίζει από το προϊόν και τη διαδικασία παραγωγής. Τα ζητήματα διαχείρισης των αποβλήτων πρέπει να λαμβάνονται πλήρως υπόψη ήδη από

τη φάση σχεδιασμού ή ακόμη και επινόησης του προϊόντος. Ωστόσο ο κατασκευαστής του προϊόντος έχει τη μεγαλύτερη ευθύνη, αφού είναι εκείνος που παίρνει τις βασικές αποφάσεις όπως είναι ο σχεδιασμός, η χρήση ειδικών υλικών, η σύνθεση του προϊόντος και τέλος ο τρόπος εμπορίας του.

Επομένως ο κατασκευαστής είναι σε θέση και πρέπει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να αποφεύγει τα απόβλητα, (με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών) αλλά για τη δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίησή τους και η ανάκτηση.

3. Ανάκτηση υλικών

Η ανάκτηση από τα απορρίμματα αποτελεί τον πυρήνα κάθε αειφόρου πολιτικής διαχείρισής τους. Αυτό σημαίνει ότι σε περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται, θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών ή ενέργειας. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Αυτό απαιτεί τη συμμετοχή των καταναλωτών και των τελικών χρηστών στην αλυσίδα διαχείρισης και τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους ως προς την ανάγκη μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Οι ενεργειακές στρατηγικές δεν πρέπει να είναι επιζήμιες για την πρόληψη και την ανάκτηση υλικών (Σκορδίλης,1997). Πράγματι, σε πολλές περιπτώσεις με την διατήρηση της δομής των υλικών είναι δυνατόν να ελαχιστοποιείται η απαραίτητη πρόσθετη ύλη και ενέργεια για την παραγωγή νέου προϊόντος. Κατόπιν των ανωτέρω, στις περιπτώσεις όπου αυτό είναι ασφαλές από περιβαλλοντική άποψη, θα πρέπει να προτιμάται η ανάκτηση υλικών από την ανάκτηση ενέργειας. Βέβαια, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιδράσεις κάθε επιλογής. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αξιολόγηση αυτών των επιδράσεων είναι πιθανόν να έχει σαν αποτέλεσμα να προτιμηθεί η ανάκτηση ενέργειας.

Επομένως, απαιτείται η ανάπτυξη βιομηχανίας ανακύκλωσης, στηριζόμενης σε σύγχρονες μεθόδους και τεχνολογίες που να επιτρέπουν οικονομικά αποδοτική επεξεργασία των απορριμμάτων. Σημαντική προϋπόθεση αποτελεί και η δημιουργία αγορών για υλικά και προϊόντα των δραστηριοτήτων ανακύκλωσης. Ο τομέας των κρατικών προμηθειών μπορεί να συμβάλει στο ζήτημα αυτό. Τέλος, οι εκπομπές των εγκαταστάσεων ανάκτησης ενέργειας

πρέπει να ελαχιστοποιούνται και να συμμορφώνονται με τους Κοινοτικούς κανονισμούς.

4. Τελική διάθεση

Σύμφωνα με το κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο τα Κράτη – Μέλη οφείλουν να λάβουν κατάλληλα μέτρα ώστε να δημιουργήσουν ολοκληρωμένο και επαρκές δίκτυο εγκαταστάσεων διάθεσης απορριμμάτων, το οποίο θα επιτρέψει στην Κοινότητα να καταστεί αυτάρκης, όσον αφορά στη διάθεσή τους. Χωρίς αμφιβολία τα Σχέδια Διαχείρισης, τα οποία πρέπει να καταρτίσουν όλα τα Κράτη – Μέλη θα συνεισφέρουν στην προοδευτική δημιουργία του δικτύου αυτού στο σύνολο της Κοινότητας. Συχνά, το θεωρούμενο κόστος διάθεσης των αποβλήτων δεν αντιπροσωπεύει το πραγματικό κόστος των ζημιών που προκαλεί στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, το κόστος της διάρκειας επιβάρυνσης μιας χωματερής (100 και πλέον έτη), συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη. Παράλληλα, οι χαμηλές τιμές διάθεσης αποβλήτων – όπως προϋπολογίζονται όταν δεν πραγματοποιείται επεξεργασία ή ανάκτηση υλικών – λειτουργούν απαγορευτικά για την επιλογή περιβαλλοντικά βέλτιστων μεθόδων. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να εξασφαλιστεί μακροπρόθεσμα ακριβέστερη προσέγγιση όσον αφορά στο πραγματικό κόστος διάθεσης. Σε κάθε περίπτωση, στην καύση, οι εκπομπές ρύπων πρέπει να ελαχιστοποιούνται, ιδίως όσον αφορά στα βαρέα μέταλλα, στις διοξίνες και στα φουράνια.

Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χωματερή, είναι η λιγότερο καλή και πρέπει να είναι η έσχατη λύση. Έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ιδίως αν ληφθούν υπόψη τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα από τη χρήση ενός χώρου για χωματερή. Οποσδήποτε αυτό δεν αποκλείει σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, η χωματερή να είναι η μόνη λογική μορφή διάθεσης απορριμμάτων. Οι στρατηγικές αντιμετώπισης πρέπει πάντως να εμποδίζουν και εφόσον αυτό δεν είναι δυνατό, να ελαχιστοποιούν τις ποσότητες απορριμμάτων που προορίζονται για χωματερές. Μέσα για την επίτευξη αυτού του στόχου, είναι κυρίως οι διαδικασίες πρόληψης και ανάκτησης αποβλήτων. Επίσης τα απόβλητα πρέπει να υφίστανται διαλογή ή και προκαταρκτική επεξεργασία πριν ενταφιαστούν σε χωματερή, προκειμένου να μειώνεται η ποσότητά τους ή/και να εξαλείφονται τα επικίνδυνα.

Μεσοπρόθεσμα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί ότι μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα πρέπει να γίνονται δεκτά σε χωματερές. Υπάρχει ήδη αρκετή επιβάρυνση στο περιβάλλον που προέρχεται από παλαιές χωματερές, χώρους ανεξέλεγκτης απόθεσης και διάφορες εγκαταλειμμένες εγκαταστάσεις και θα απαιτηθεί ιδιαίτερη προσπάθεια για την αποκατάσταση των χώρων αυτών.

7.2. Αναδρομή στην υπάρχουσα κατάσταση στη χώρα μας

7.2.1. Η υπάρχουσα κατάσταση σε σχέση με την διαχείριση των Α.Σ.Α.

“Το ζήτημα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων είναι εξαιρετικά σοβαρό και επείγον, η δε πολύχρονη κωλυσιεργία έχει οδηγήσει σε εκρηκτικές καταστάσεις ιδίως κατά το τελευταίο διάστημα. Η διαχείριση των στερών αποβλήτων όπως άλλωστε και όλα τα θέματα που σχετίζονται με το περιβάλλον, τη δημόσια υγεία και τη βιώσιμη ανάπτυξη, πρέπει να αντιμετωπίζεται με αποτελεσματικότητα και διαφάνεια όπως αυτή προβλέπεται από το διεθνές και ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο που διέπει την ελεύθερη πρόσβαση στην περιβαλλοντική πληροφορία (Σύμβαση του Aarhus) και να αποτελούν αντικείμενο κοινωνικής διαβούλευσης. Μέχρι σήμερα η διαχείριση των στερεών αποβλήτων δεν έχει αντιμετωπισθεί επαρκώς από τους έχοντες την ευθύνη φορείς της πολιτείας. Περιπτώσεις όπως: της διαχείρισης της ιλύος της Ψυττάλειας, της κατάστασης του ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων, του Κουρουπητού κ.λπ., είναι ενδεικτικές της κατάστασης που επικρατεί.

Η ανυπαρξία Περιφερειακού Χωροταξικού Σχεδιασμού και η έλλειψη θεσμοθετημένων χρήσεων γης επιδεινώνουν το πρόβλημα καθώς στο νεφελώδες αυτό καθεστώς εκτρέφονται φαινόμενα πελατειακών σχέσεων και στρεβλής επίκλησης του περιβάλλοντος, που εκφράζονται για παράδειγμα με πλήρη άρνηση στην αποδοχή δημιουργίας οργανωμένου ΧΥΤΑ στα διοικητικά όρια δήμων των οποίων οι κάτοικοι την ίδια στιγμή σιωπηρά αποδέχονται την ύπαρξη Χ.Α.Δ.Α, που καπνίζουν σε μόνιμη βάση και οι οποίοι αποτελούν εστίες πυρκαγιών, έχουν επιπτώσεις στην δημόσια υγεία, στο περιβάλλον (ατμόσφαιρα, υπόγεια νερά) ενώ προσβάλλουν βάνουσα το τοπίο.

Αιχμή του δόρατος λόγω των ποσοτήτων και της διασποράς τους αποτελούν τα ΑΣΑ. Αστοχίες στην διαχείρισή τους έχουν κοστίσει υψηλά πρόστιμα στη χώρα μαζί με την συνακόλουθη δυσφήμιση, καθώς η χώρα βρίθει ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης. Υπάρχουν ωστόσο και άλλες κατηγορίες αποβλήτων όπως τα επικίνδυνα για τα οποία παρατηρούνται καθυστερήσεις στην εφαρμογή της νομοθεσίας (ΚΥΑ 19396/1546,1997) , καθώς επίσης και τα ιατρικά από υγειονομικές μονάδες (ΚΥΑ 37591/2031, 2003).

Λόγω της μη υλοποίησης του Εθνικού Σχεδιασμού και των Περιφερειακών Σχεδιασμών -όπου αυτοί υπάρχουν- για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων, επαπειλούνται απεντάξεις έργων από χρηματοδοτήσεις π.χ. του Ταμείου Συνοχής αλλά και άλλων προγραμμάτων. Σε αυτή την περίπτωση τα αντίστοιχα έργα θα πρέπει να χρηματοδοτηθούν από τον κρατικό προϋπολογισμό προκειμένου να ολοκληρωθούν, ιδίως αν αυτά έχουν προχωρήσει. Η μη έγκαιρη αντιμετώπιση κρίσιμων ζητημάτων όπως για παράδειγμα αυτό της διάδοξης κατάστασης του ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων, πλήττει εκτός των κατοίκων του Λεκανοπεδίου που παραμένουν όμηροι ενός και μόνο ΧΥΤΑ -και έχουμε όλοι εμπειρία για το τι συμβαίνει σε έκτακτα περιστατικά π.χ. πυρκαγιά, κατολισθήσεις κλπ- και τους εργαζομένους σε αυτόν οι οποίοι είναι αναγκασμένοι να εργάζονται σε συνθήκες που δεν πληρούν τους όρους υγιεινής και ασφάλειας και με τον κίνδυνο πρόκλησης εργατικών ατυχημάτων λόγω των συνθηκών κορεσμού του ΧΥΤΑ.

Το ΤΕΕ θεωρεί ότι εξ αιτίας της αναποτελεσματικής διαχείρισης σε όλο το φάσμα των στερεών αποβλήτων δημιουργείται ένα σύνθετο διακύβευμα περιβαλλοντικό, δημόσιας υγείας, κοινωνικό και οικονομικό. Για τον λόγο αυτό καλεί την πολιτεία και όλους τους εμπλεκόμενους στην διαχείριση των στερεών αποβλήτων φορείς να αναλάβουν τις ευθύνες τους και να υλοποιήσουν αυτά που η νομοθεσία προβλέπει.

Δεν είναι η πρώτη φορά που το ΤΕΕ ασχολείται με το θέμα καθώς διαχρονικά και σε συνεργασία με τους αρμοδίους για το θέμα φορείς (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΕΔΚΕ, ΕΔΚΝΑ, ΠΟΕ-ΟΤΑ, ΕΕΤΑΑ κ.ά), έχει συμβάλει στην διαμόρφωση μιας συναντίληψης για το θέμα με την βοήθεια συνεδρίων, εκδηλώσεων, εκδόσεων, τόσο σε κεντρικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο Περιφερειακών Τμημάτων. Ενδεικτικά αναφέρουμε την εργασία για την

“Δημοτική Καθαριότητα” το 1976, την “Μελέτη για την προώθηση των τεχνολογιών και των δυνατοτήτων ανακύκλωσης” το 1985, την “Μελέτη για την Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα”, το 1993, την “Μελέτη για τις Αναγκαίες δράσεις για το Περιβάλλον - Διαχείριση των στερεών αποβλήτων”, το 1993 και την πρόσφατη επικαιροποίησή της το 2004, την ημερίδα με θέμα τις Ολοκληρωμένες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας και Τελικής Διάθεσης Απορριμμάτων κ.ά. Η HELECO εξάλλου που αποτελεί σταθερή ολοκληρωμένη παρέμβαση του ΤΕΕ στα περιβαλλοντικά δρώμενα αφιερώνει σε κάθε διοργάνωση σημαντικό κομμάτι στο επίμαχο θέμα και σε συνεργασία με την Αυτοδιοίκηση διαμορφώνει ένα φόρουμ προβολής και διαλόγου με στόχο την προώθηση λύσεων.

Για τους πιο πάνω λόγους θα πρέπει άμεσα:

1. Για τα μη επικίνδυνα

Να προχωρήσει η εφαρμογή του Εθνικού και των Περιφερειακών Σχεδιασμών, με την άμεση ολοκλήρωση των δεύτερων και την προώθηση των στρατηγικών στόχων του Εθνικού σχεδιασμού που αναφέρονται μεταξύ άλλων:

- Στην εξάλειψη του φαινομένου της ανεξέλεγκτης διάθεσης με την παύση λειτουργίας των ΧΑΔΑ σε συνδυασμό με έργα αποκατάστασής τους.
- Στην περιβαλλοντικά ασφαλή και οικονομικά συμφέρουσα μεταφορά αποβλήτων με την δημιουργία δικτύων σταθμών μεταφόρτωσης και την κάλυψη του συνόλου της χώρας με σύγχρονες και ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις τελικής διάθεσης αποβλήτων.
- Στην προώθηση προγραμμάτων διαλογής στην πηγή, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης επικοινωνιακής στρατηγικής που θα συμβάλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος και η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει την συνεχή και επιστημονικά τεκμηριωμένη πληροφόρηση και ευαισθητοποίηση του κοινού ως προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής οποιουδήποτε σχεδιασμού. Παράλληλα θα πρέπει να υπάρξουν προσπάθειες για την μείωση του όγκου των αποβλήτων αλλά και της περιεκτικότητας τους σε επικίνδυνες ουσίες.

- Στην σταδιακή διαχρονική μείωση της ποσότητας των βιοαπικοδομήσιμων υλικών που οδηγούνται για υγειονομική ταφή, με την δημιουργία σύγχρονων εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αξιοποίησης στερεών αποβλήτων) και με δεδομένο ότι υπάρχει δεσμευτικό χρονοδιάγραμμα μείωσης της περιεκτικότητας σε βιοαπικοδομήσιμα των αποβλήτων που προορίζονται για υγειονομική ταφή (2010: μείωση στο 75% της συνολικής κατά βάρος ποσότητες βιοαπικοδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995, 2013: μείωση στο 50%, 2020: μείωση στο 35%).
- Στην θέσπιση κινήτρων και αντικινήτρων για την επίτευξη της πρόληψης της παραγωγής στερεών αποβλήτων και την προαγωγή προϊόντων κατάλληλων για επαναχρησιμοποίηση και αξιοποίηση στη βάση της ανάλυσης του κύκλου ζωής μέσα από την εφαρμογή της ολοκληρωμένης πολιτικής προϊόντων (IPP).
- Στην αποτελεσματική εφαρμογή του Ν 2939/2001 για την εναλλακτική διαχείριση των υλικών συσκευασίας και άλλων προϊόντων.
- Στην προώθηση της πρόληψης της παραγωγής αποβλήτων μέσω της εφαρμογής καθαρών τεχνολογιών στις παραγωγικές διαδικασίες.

2. Για τα επικίνδυνα απόβλητα

Να εφαρμοσθεί άμεσα η ΥΑ 19396/1546. Οι καθυστερήσεις έχουν ως αποτέλεσμα να έχουμε δεχθεί σειρά προειδοποιήσεων από την Ε.Ε. Για τα επικίνδυνα απόβλητα, από τους 390.000 τόνους που παράγονται σε ετήσια βάση, 1000 τόνοι εξάγονται ενώ οι υπόλοιποι παραμένουν προσωρινά “αποθηκευμένοι” κατά παράβαση κάθε νομοθεσίας αλλά και όλων των κανόνων προστασίας της υγείας των πολιτών.

3. Για τα ιατρικά απόβλητα

Η διαχείριση των Ιατρικών Αποβλήτων από Υγειονομικές Μονάδες, αποτελεί ευαίσθητο κομμάτι της διαχείρισης των επικινδύνων αποβλήτων. Η σωστή εφαρμογή της ΚΥΑ (37591/2031, ΦΕΚ1419/01-10-03), προϋποθέτει την δημιουργία κατάλληλων υποδομών, την προμήθεια κατάλληλου εξοπλισμού ενδονοσοκομειακής διαχείρισης και διαμόρφωσης των κατάλληλων χώρων, την εκπαίδευση του προσωπικού των Υγειονομικών Μονάδων (ΥΜ) για την ορθή διαχείριση των Ιατρικών Αποβλήτων. Πρόκειται για ένα πλέγμα ενεργειών χωρίς τις οποίες η ΚΥΑ αποτελεί κενό γράμμα.

Επιπλέον, το γεγονός ότι η ΚΥΑ θα έπρεπε να έχει εφαρμοσθεί από την 1η Απριλίου του 2004, δημιουργεί πρόσθετες υποχρεώσεις που σχετίζονται με την ταχύτητα που οι υπόχρεοι πρέπει να κινηθούν προκειμένου να συμμορφωθούν με τα προβλεπόμενα από αυτήν. Οι ενέργειες αυτές αφορούν επίσης στην υποχρέωση των Υγειονομικών Μονάδων να εκπονήσουν Εσωτερικό Κανονισμό Διαχείρισης Επικινδύνων Ιατρικών Αποβλήτων, στην ενημέρωση και εκπαίδευση του προσωπικού των Υγειονομικών Μονάδων για τον τρόπο που θα υλοποιήσουν την διαχείριση. Απαιτείται παράλληλα η ενεργοποίηση και συμμετοχή των Επιτροπών Υγιεινής και Ασφάλειας των ΥΜ, οι οποίες θα πρέπει να παίξουν καθοριστικό ρόλο τόσο στην ενημέρωση των εργαζομένων όσο και στην εποπτεία της ορθής λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης των ΕΙΑ.

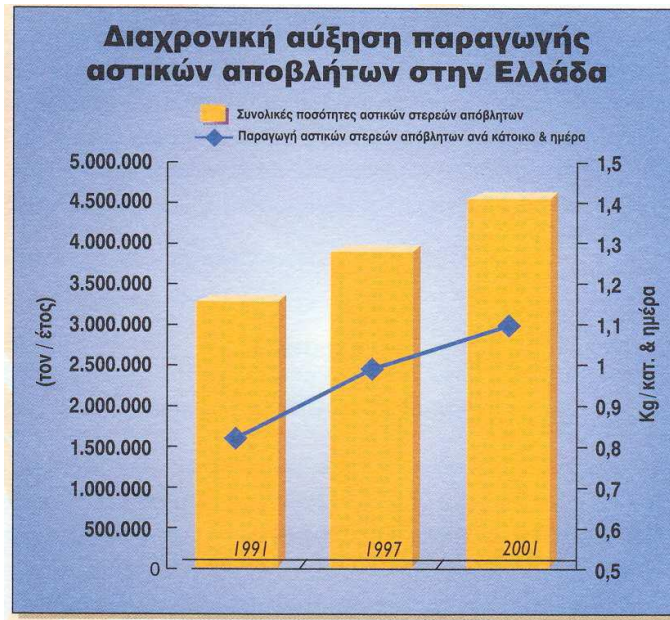
Ας μην ξεχνάμε τέλος ότι ο τρόπος που διαχειριζόμαστε τα απόβλητά μας αποτελεί δείκτη πολιτισμού τον οποίο οφείλουμε να διαφυλάξουμε”.

Απόσπασμα από την κεντρική εισήγηση της ευρείας σύσκεψης όλων των εμπλεκομένων μερών, την οποία συγκάλεσε το ΤΕΕ, στις 20 Ιουλίου 2005, με θέμα: “Διαχείριση στερεών αποβλήτων - Παρόν και προοπτικές”.

7.2.2. Η υπάρχουσα κατάσταση σε αριθμούς

Σήμερα στην Ελλάδα παράγονται περί τους 4,6 εκατομμύρια τόνους Α.Σ.Α. ετησίως, που περιλαμβάνουν κυρίως τα απορρίμματα που προέρχονται από κατοικίες, καθώς και ένα μέρος των στερεών αποβλήτων που παράγονται από εμπορικές δραστηριότητες, με προοπτική να φθάσουν τα 5,2 εκατομμύρια τόνους το 2016.

Διαχρονικά, παρατηρείται τάση σημαντικής αύξησης της παραγωγής Α.Σ.Α., λόγω της ανάπτυξης των μεγάλων αστικών κέντρων, της συνεχούς αύξησης του τουριστικού ρεύματος και κυρίως της ανόδου του βιοτικού επιπέδου με αποτέλεσμα την αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών. Συγκεκριμένα, η μέση ημερησία παραγωγή αστικών αποβλήτων ανά κάτοικο στην Ελλάδα, για το 2001, ανερχόταν σε 1,1 kg/κάτοικο, που παραμένει όμως κατώτερη από τον αντίστοιχο μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1,48kg/ κάτοικο/ημέρα.



Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ

Πίνακας 7.8: Διαχρονική αύξηση παραγωγής αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα

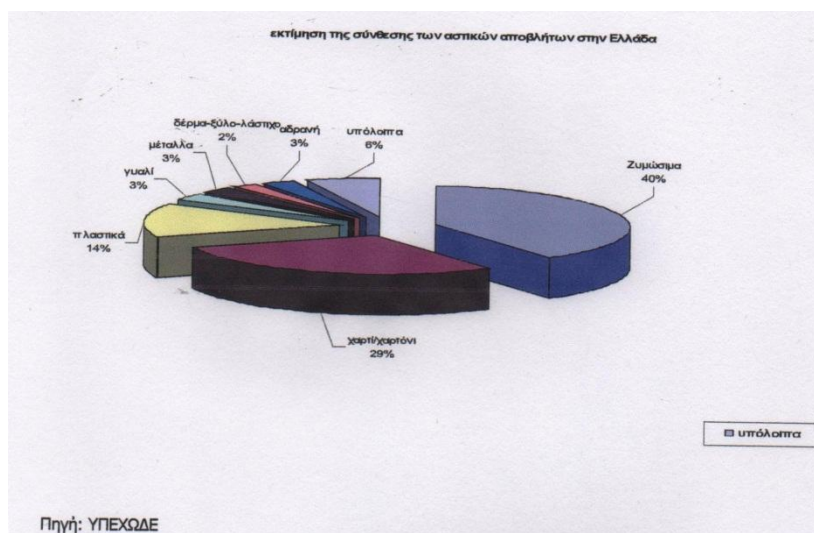
Η Περιφέρεια Αττικής παράγει περίπου το 39% της ετήσιας ποσότητας των ΑΣΑ της χώρας, ακολουθούμενη από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας με ποσοστό 16%, με το 9% να παράγεται μόνο στο Νομό Θεσσαλονίκης. Η ποσοστιαία συμμετοχή και οι εκτιμώμενες ποσότητες αστικών αποβλήτων που παράγονται στις 13 Περιφέρειες της χώρας φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.



Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ

Πίνακας 7.9: Ποσοστιαία συμμετοχή Περιφερειών στην εθνική παραγωγή αστικών αποβλήτων

Η τρέχουσα μέση ποιοτική σύσταση των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων σε κατά βάρος ποσοστά, εκτιμάται ως ακολούθως:



Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ

Σχήμα 7.1: Μέση ποιοτική σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα

Σε σχέση με τη μέση σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στην Ελλάδα παρατηρείται μεγαλύτερη συμμετοχή των οργανικών αποβλήτων (τροφές, φυτικά απόβλητα κλπ.) αλλά μικρότερες ποσότητες αποβλήτων συσκευασιών (χαρτί, πλαστικά, γυαλί, μέταλλα). Τα απορριπτόμενα υλικά συσκευασίας αποτελούν περίπου το 20% κατά βάρος, των συνολικά παραγόμενων αστικών αποβλήτων, σύμφωνα με στοιχεία του 1999. Τα ειδικά επικίνδυνα απόβλητα που περιέχονται στα απορριπτόμενα αστικά (κατηγορία υπόλοιπα) περιλαμβάνουν κυρίως φάρμακα, υλικά καθαρισμού, χρώματα-διαλυτικά, μπαταρίες και φυτοφάρμακα που είναι είτε οικιακής προέλευσης είτε προέρχονται από διάφορες επαγγελματικές δραστηριότητες (π.χ. γραφεία εμπορικά καταστήματα κλπ.). Η συνολική ποσότητα των αποβλήτων αυτών εκτιμάται περίπου σε 0,12% επί των συνολικά παραγόμενων αστικών αποβλήτων.

Σύνθεση	Εκατομμύρια τόνοι
Ζυμώσιμα (βιοαποδομήσιμα)	1,8
Χαρτί/Χαρτόνι	1,3
Πλαστικά	0,63
Γυαλί	0,135
Δέρμα/Ξύλο/Λάστιχο	0,09
Αδρανή	0,13
Υπόλοιπα	0,27

Πίνακας 7.10: Σύνθεση των Α.Σ.Α. (Πηγή: Σκορδίλης, ΤΕΕ, Μάιος 2006)

Εξ αυτών ανακυκλώνεται - αξιοποιείται: το 8,2% των βιοποδομήσιμων, το 24% των μετάλλων, το 33% του γυαλιού, το 29,2% του χαρτιού, το 5% των πλαστικών.

7.2.3. Μέθοδοι κι έργα διαχείρισης των Α.Σ.Α.

Η μόνη πρακτική διαχείρισης που εφαρμοζόταν στην Ελλάδα μέχρι τα τέλη της δεκατίας του '90, ήταν η εδαφική διάθεση των Α.Σ.Α. σε ανεξέλεγκτους ή ημιελεγχόμενους χώρους διάθεσης. Η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά κατά την περίοδο 1994-1997, οπότε οργανώθηκε ορθολογικά το σύστημα συλλογής και μεταφοράς με εξυπηρέτηση του 85% κατά βάρος των Α.Σ.Α., ενώ κατασκευάστηκαν και λειτούργησαν τα πρώτα σύγχρονα έργα διαχείρισης απορριμμάτων. Σήμερα στον Ελληνικό χώρο πραγματοποιείται οργανωμένη συλλογή και μεταφορά των αστικών αποβλήτων για το σύνολο σχεδόν της χώρας, με τοπικές εξαιρέσεις σε αγροτικές αραιοκατοικημένες καθώς και ορεινές περιοχές.

Με το προηγούμενο θεσμικό πλαίσιο είχαν εγκριθεί 12 Περιφερειακοί Σχεδιασμοί Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων. Αυτοί έπρεπε να ανθεωρηθούν ώστε να προσαρμοσθούν στις απαιτήσεις της ισχύουσας σήμερα νομοθεσίας (ΚΥΑ 50910/272/2003). Η διαδικασία αυτή πλησιάζει στην ολοκλήρωσή της και σύντομα θα έχουν εγκριθεί όλοι οι νέοι ΠΕΣΔΑ της χώρας.

Η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης των στερεών αποβλήτων στη χώρα μας αποτυπώνεται με τα ήδη κατασκευασμένα έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων, τα υλοποιούμενα έργα ΔΣΑ, τις χρηματοδοτήσεις των έργων και

το εξυπηρετούμενο από αυτά πληθυσμό. Συγκεκριμένα τα έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων είναι:

A. Κατασκευασμένα έργα

- Έχουν κατασκευασθεί και λειτουργούν 45 ΧΥΤΑ προς εξυπηρέτηση 318 ΟΤΑ σε όλη την Ελλάδα.
- Έχουν κατασκευασθεί και λειτουργούν 3 ΕΜΑΚ.
- Έχουν κατασκευασθεί και λειτουργούν 6 Σταθμοί Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ).

B. Υπό υλοποίηση έργα

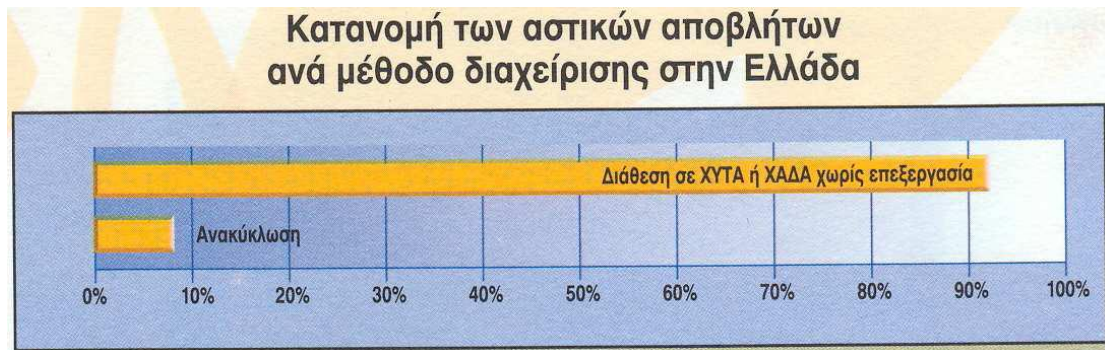
- 56 νέοι ΧΥΤΑ και επεκτάσεις βρίσκονται στην φάση της υλοποίησης με εγκεκριμένη χρηματοδότηση, οι οποίοι θα εξυπηρετήσουν περίπου 670 ΟΤΑ.
- 48 ΣΜΑ βρίσκονται υπό υλοποίηση.
- Η υλοποίηση των παραπάνω έργων Διαχείρισης ΑΣΑ προβλέπεται να έχει ολοκληρωθεί μέχρι το 2008.

Γ. Σχεδιασμένα – μη υλοποιημένα έργα έργα ΔΣΑ

Τα έργα ΔΣΑ (ΧΥΤΑ, ΣΜΑ κ.ά) που υπολείπονται για την κάλυψη του συνόλου

της χώρας με οργανωμένους ΧΥΤΑ, αφορούν σε συγκεκριμένες περιοχές (νομοί Ιωαννίνων, Λακωνίας, Μεσσηνίας, Αργολίδος, Αρκαδίας και Ηλείας) και μικρούς ΧΥΤΑ νησιών. Τα έργα ΔΣΑ στους προαναφερόμενους Νομούς βρίσκονται σε φάση ωρίμανσης για ένταξη. Η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου η (εδαφική διάθεση) αποτελεί την κυρίαρχη μέθοδο διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων.

Συγκεκριμένα από το σύνολο των αστικών στερεών αποβλήτων που παράγονται σήμερα στην Ελλάδα, ποσοστό περίπου 8% ανακυκλώνεται στην πηγή ενώ το υπόλοιπο 92% διατίθεται χωρίς την προηγούμενη επεξεργασία σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ή σε Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ).



Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ

Πίνακας 7.11: Κατανομή των αστικών αποβλήτων ανά μέθοδο διαχείρισης στην Ελλάδα

7.2.4. Οι Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (Χ.Α.Δ.Α.)

Η ανεξέλεγκτη διάθεση των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα έχει μεν περιοριστεί σε σημαντικό βαθμό αλλά το πρόβλημα παραμένει: το 1997 είχαν καταγραφεί 6.500 χωματερές, ενώ το 2001 μειώθηκαν σε 2.182. Σύμφωνα με την πλέον πρόσφατη καταγραφή του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ιούνιος 2005), υπάρχουν: 1.173 ανενεργοί ΧΑΔΑ, 1.453 ενεργοί ΧΑΔΑ, σύνολο 2.626 ΧΑΔΑ στην χώρα. Η αποκατάσταση αυτών απαιτεί συνολικά 400 εκατομμύρια ΕΥΡΩ. Το ΥΠΕΧΩΔΕ, με την κατάρτιση του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΣΑ), ο οποίος θεσμοθετήθηκε με την ΚΥΑ 50910/2727/03 (ΦΕΚ 1909 Β΄) έθεσε σαφές χρονοδιάγραμμα για την εξάλειψη των ΧΑΔΑ μέχρι το 2008. Ακολούθως, σε συνεργασία με τις Περιφέρειες και τους Δήμους, σχεδίασε πρόγραμμα σταδιακής διακοπής της λειτουργίας των ανεξέλεγκτων χωματερών, σε συνδυασμό με την υλοποίηση σύγχρονων έργων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), με αρχικό στόχο την προσωρινή λειτουργία ενός και μόνο χώρου ανεξέλεγκτης διάθεσης ανά Καποδιστριακό Δήμο και τελικά την σταδιακή εξάλειψή τους μέχρι το 2008.

Μετά την παύση λειτουργίας των ανεξέλεγκτων χώρων προγραμματίζεται η αποκατάστασή τους, θέτοντας σαν πρώτη προτεραιότητα τους χώρους των μεγάλων αστικών κέντρων και αυτούς που δεν έχουν τη δυνατότητα μετεξέλιξης σε οργανωμένους ΧΥΤΑ. Σήμερα έχουν ολοκληρωθεί 12 έργα αποκατάστασης ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης αστικών αποβλήτων, καθώς και 4 έργα ανάπλασης χώρων διάθεσης μεγάλης δυναμικότητας που εξυπηρετούσαν μεγάλα αστικά κέντρα (Σχιστό, Άνω Λιόσια, Θεσσαλονίκη,

Σκαφιδαράς Ηρακλείου). Στη συνέχεια εγκρίθηκαν προς χρηματοδότηση από το Ταμείο Συνοχής II και βρίσκονται σε εξέλιξη, άλλα 5 έργα αποκαταστάσεων κεντρικών ΧΑΔΑ (Ανατολική και Δυτική Σάμος, Ταγαράδες Θεσσαλονίκης, Επιτάλιο Ηλείας, Δυτική Κέρκυρα).

Το πρόγραμμα αποκατάστασης περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες, για την ωρίμανση των έργων αποκατάστασης, την ένταξή τους σε χρηματοδοτικά προγράμματα και την υλοποίηση του έργου αποκατάστασης κάθε ΧΑΔΑ:

- Απόφαση Νομ. Αυτοδιοικήσεων για παύση λειτουργίας των ΧΑΔΑ.
- Σύνταξη Τεχνικής Μελέτης Περιβαλλοντικής Αποκατάστασης του ΧΑΔΑ.
- Έκδοση άδειας αποκατάστασης ΧΑΔΑ από τον Γ. Γ. της οικείας Περιφέρειας.
- Σύνταξη οριστικής μελέτης Αποκατάστασης ΧΑΔΑ, εφόσον είναι απαραίτητο, και
- Αίτηση του Φορέα για ένταξη του έργου αποκατάστασης σε κατάλληλο χρηματοδοτικό πρόγραμμα.
- Απόφαση ένταξης του έργου στο χρηματοδοτικό πρόγραμμα.
- Η ευθύνη για την αποκατάσταση των ΧΑΔΑ ανήκει στους ΟΤΑ, στην διοικητική περιφέρεια των οποίων λειτουργεί ο ΧΑΔΑ, ή στους Φορείς Διαχείρισης, εφόσον έχουν συσταθεί στην περιοχή.

Το πρόγραμμα αποκατάστασης των ΧΑΔΑ, άρχισε στις 29-7-2004 με την έκδοση της αρ.175535/29.7.04 Υπουργικής Απόφασης (ΦΕΚ 1259 Β/16.8.04) “Συγκρότηση Ομάδας Εργασίας για την προώθηση έργων αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ)”. Οι ενέργειες που έγιναν από το ΥΠΕΧΩΔΕ για την κατάρτιση και την υλοποίηση του προγράμματος αποκατάστασης(επίλυση διαφορών θεμάτων) παρουσιάζονται παρακάτω :

- Υπουργική Απόφαση οικ. 175535/27-7-2004 για τη “Συγκρότηση Ομάδας Εργασίας για την προώθηση έργων αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ)”, ΦΕΚ 1259 Β’/16-8-2004.
- Ερωτηματολόγιο με αρ. πρωτ. οικ. 176596/4-10-2004 του ΥΠΕΧΩΔΕ προς τους ΟΤΑ.

- Εγκύκλιος με αρ. πρωτ. οικ. 109974/3106/22-10-2004 του ΥΠΕΧΩΔΕ “Πρότυπες Προδιαγραφές Τεχνικής Μελέτης Περιβαλλοντικής Αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ)”.
- Συλλογή στοιχείων για ΧΑΔΑ. Έγγραφο του ΥΠΕΧΩΔΕ (Τμήμα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων) προς τους Φορείς λειτουργίας ΧΥΤΑ (αρ. πρωτ.108883/2832/1-11-2004)
- Απόφαση του Γενικού Γραμματέα του ΥΠΕΧΩΔΕ με αριθμό Οικ. 184095/25-7-2005 για την ένταξη στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα “ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 2000-2006” του έργου “Σύμβουλος για την ωρίμανση έργων στους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων”.
- Απόφαση του Γενικού Γραμματέα του ΥΠΕΧΩΔΕ με αριθμό Οικ. 185268/30-9-2005 για την επιλογή Αναδόχου για το έργο “Σύμβουλος για την ωρίμανση έργων στους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ)”.
- Την Έγκυκλιο 19 με αρ. πρωτ. Οικ.135977/14-12-2005 του ΥΠΕΧΩΔΕ με θέμα “Πρότυπες Οριστικές Μελέτες Έργων Αποκατάστασης Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ)”.

Αποτελέσματα του Προγράμματος Αποκατάστασης ΧΑΔΑ

Το πρόγραμμα αποκατάστασης των ΧΑΔΑ σήμερα βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και τα στοιχεία που συλλέγει το ΥΠΕΧΩΔΕ διαφοροποιούν καθημερινά την πρόοδο και τον βαθμό υλοποίησης του προγράμματος. Η κατάσταση που αποτυπώνεται παρακάτω έχει ημερομηνία αναφοράς 28-03-2006.

Κατάταξη ΧΑΔΑ με την κατ’ αρχήν εκτίμηση της επικινδυνότητας από το ΥΠΕΧΩΔΕ

Μετά την αποστολή και παραλαβή των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων από τους ΟΤΑ, το ΥΠΕΧΩΔΕ κατηγοριοποίησε τους ΧΑΔΑ σε τέσσερις (4) κατηγορίες ανάλογα με την εκτίμηση επικινδυνότητας.

- Επικινδυνότητα μικρότερη των 35 βαθμών: 290 ΧΑΔΑ
- Επικινδυνότητα μεταξύ 35 βαθμών έως και 69: 764 ΧΑΔΑ
- Επικινδυνότητα μεταξύ 70 βαθμών έως και 89: 63 ΧΑΔΑ
- Επικινδυνότητα μεγαλύτερη από 90 βαθμούς: 8 ΧΑΔΑ

Για όλες τις προαναφερόμενες κατηγορίες θα πρέπει κατ' αρχήν να εκδοθούν αποφάσεις Νομαρχών για την παύση λειτουργίας των ΧΑΔΑ και όπως αναφέρεται στα έγγραφα που έχει αποστείλει το ΥΠΕΧΩΔΕ, θα πρέπει να αποκοπούν οι οδοί πρόσβασης στο χώρο μέχρι την έναρξη υλοποίησης της αποκατάστασης.

Συνοπτική Παρουσίαση Προόδου του Προγράμματος Αποκατάστασης ΧΑΔΑ (28/3/2006)				
	14/2/2006		28/3/2006	
	Αριθμός ΧΑΔΑ	Ποσοστό επί του συνολικού αριθμού ΧΑΔΑ της καταδικαστικής Απόφασης του ΔΕΚ	Αριθμός ΧΑΔΑ	Ποσοστό επί του συνολικού αριθμού ΧΑΔΑ της καταδικαστικής Απόφασης του ΔΕΚ
Αποφάσεις Παύσης Λειτουργίας	985	87,6%	985	87,6%
Αποφάσεις Έγκρισης Περιβαλλοντικής Αποκατάστασης	755	67,1%	760	67,7%
Υλοποιούμενα Έργα Αποκατάστασης με ίδια μέσα των ΟΤΑ (Δεν απαιτείται χρηματοδότηση)	126	11,2%	111	9,9%
Ενταγμένα Έργα Αποκατάστασης σε Χρηματοδοτικά προγράμματα	240	21,3%	277	24,6%
Έργα υπό Ένταξη σε χρηματοδοτικό πρόγραμμα (Έχει υποβληθεί αίτηση και βρίσκεται στο στάδιο αξιολόγησης- ένταξης)	226	20,1%	255	22,7%
Αποκατεστημένοι ΧΑΔΑ (Ολοκλήρωση Εργασιών)	0	0,0%	9	0,8%

Ο συνολικός προϋπολογισμός των έργων αποκατάστασης ΧΑΔΑ που έχουν ενταχθεί σε διάφορα χρηματοδοτικά προγράμματα παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα (28/3/2006)				
	14/2/2006		28/3/2006	
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα	Αριθμός ΧΑΔΑ	Συνολικός Προϋπολογισμός	Αριθμός ΧΑΔΑ	Συνολικός Προϋπολογισμός
ΕΠΠΕΡ	138	42 εκ. €	169	52 εκ. €
ΠΕΠ	77	3,5 εκ. €	83	4,3 εκ. €
ΤΑΜΕΙΟ ΣΥΝΟΧΗΣ	25	Περίπου 25 εκ. €	25	Περίπου 25 εκ. €
ΘΗΣΕΑΣ	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ	240	Περίπου 70,5 εκ. €	277	Περίπου 81,3 εκ. €

Πίνακας 7.12: Συνοπτική Παρουσίαση Προόδου του Προγράμματος Αποκατάστασης ΧΑΔΑ

7.2.5. Το γενικότερο πλαίσιο κι οι κατευθύνσεις πολιτικής στη χώρα μας

Το πλαίσιο αυτό ορίζεται από την Οδηγία 2006/12/ΕΚ για την εφαρμογή της οποίας η ελληνική κυβέρνηση εξέδωσε την ΚΥΑ 50910/2003. Σύμφωνα με το πλαίσιο αυτό κάθε Κράτος – Μέλος της Ε.Ε. υποχρεούται να συντάξει το συντομότερο δυνατόν ένα ή περισσότερα Σχέδια Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων, τα οποία πρέπει να γνωστοποιηθούν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Οι γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των αποβλήτων προσδιορίζονται σε εθνικό επίπεδο και συνίστανται:

(α) στην κατάρτιση γενικού πλαισίου και στην υιοθέτηση επιμέρους διαχρονικών στόχων προς υλοποίηση για τη μελέτη και τον καθορισμό των μεθόδων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων,

(β) στη θέσπιση όρων καταλληλότητας και κριτηρίων συγκριτικής αξιολόγησης και επιλογής των χώρων των εγκαταστάσεων διάθεσης και αξιοποίησης των στερεών αποβλήτων και

(γ) στην καθιέρωση ενιαίων διαδικασιών και όρων για την εκπόνηση και εφαρμογή του σχεδιασμού διαχείρισης των στερεών αποβλήτων.

Οι γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των αποβλήτων που διαμορφώνονται και προσδιορίζονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τα συναρμόδια Υπουργεία, την ΚΕΔΚΕ, την Ένωση Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων Ελλάδας (ΕΝΑΕ) και εγκρίνονται με απόφαση του Υπουργού ΠΕΧΩΔΕ, αποσκοπούν στη λήψη των ενδεδειγμένων μέτρων, ώστε να προωθείται η πρόληψη ή και μείωση της παραγωγής και της βλαπτικότητας των αποβλήτων ιδίως με την ανάπτυξη καθαρών και πιο οικονομικών τεχνολογιών με τις οποίες μπορεί να γίνει ηπιότερη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, την τεχνική τελειοποίηση και τη διάθεση στην αγορά προϊόντων που είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μην συμβάλλουν καθόλου ή να συμβάλλουν όσο το δυνατόν λιγότερο, λόγω της παραγωγής, της χρήσης, ή της τελικής τους διάθεσης στην αύξηση της ποσότητας ή της βλαπτικότητας των αποβλήτων και των κινδύνων ρύπανσης, την ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών για την τελική διάθεση των επικινδύνων ουσιών που περιέχονται στα απόβλητα τα οποία προορίζονται για αξιοποίηση και η αξιοποίηση των αποβλήτων με ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση ή ανάκτηση ή οποιαδήποτε άλλη διαδικασία που έχει στόχο την παραγωγή δευτερογενών πρώτωνυλών, ή η χρησιμοποίηση των αποβλήτων ως πηγή ενέργειας.

Τα μέτρα που λαμβάνονται, περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο την κατάρτιση πλαισίου τεχνικών προδιαγραφών καθώς και την κατάρτιση γενικών προγραμμάτων διαχείρισης των αποβλήτων που αναφέρονται κυρίως στις μεθόδους διάθεσης, σε γενικές προδιαγραφές των μέσων προσωρινής αποθήκευσης, των αποβλήτων που δεν είναι δημοτικά και των χώρων που θα τα υποδεχθούν, σε κριτήρια καταλληλότητας και επιλογής των θέσεων των εγκαταστάσεων διάθεσης ή και αξιοποίησης των αποβλήτων, σε γενικές προδιαγραφές των εγκαταστάσεων διάθεσης και αξιοποίησης, σε γενικές προδιαγραφές αποκατάστασης των χώρων μετά από παύση λειτουργίας τους ή των σχετικών εγκαταστάσεων καθώς και των ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης ή αξιοποίησης, σε κριτήρια καθορισμού χρονικής διάρκειας της μετέπειτα φροντίδας των εγκαταστάσεων ή των χώρων μετά τον τερματισμό της λειτουργίας τους, στις μεθόδους και στον τρόπο διενέργειας ελέγχων από τον ίδιο τον φορέα διαχείρισης κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης ή του χώρου καθώς και κατά το στάδιο της μετέπειτα φροντίδας της (του), σε ειδικές διατάξεις που αφορούν συγκεκριμένους τύπους αποβλήτων και στην

δυνατότητα λήψης από τους φορείς διαχείρισης κατάλληλων μέτρων για την οργάνωση της διαχείρισης των αποβλήτων κ.λπ. Για τη λήψη των ως άνω μέτρων είναι δυνατόν το Υπουργείο ΠΕΧΩΔΕ να συνεργάζεται με άλλα Κράτη Μέλη και την Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων σε συνεργασία με τις αρμόδιες αρχές άλλων Κρατών Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης όταν αυτό κριθεί αναγκαίο ή σκόπιμο λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα μετά από γνώμη των συναρμόδιων Υπουργείων, της ΚΕΔΚΕ και της Ένωσης Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων Ελλάδας (ΕΝΑΕ) για τη δημιουργία ολοκληρωμένου και κατάλληλου δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης των στερεών αποβλήτων (Κόλλιας, 1993), που θα λαμβάνει υπόψη τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνολογίες που δεν συνεπάγονται υπερβολικό κόστος καθώς επίσης και τις γεωγραφικές συνθήκες ή άλλες ειδικές συνθήκες ή την ανάγκη ειδικών εγκαταστάσεων για ορισμένες κατηγορίες αποβλήτων. Με το δίκτυο αυτό επιδιώκεται η πραγματοποίηση της διάθεσης των αποβλήτων σε μία από τις πλησιέστερες εγκαταστάσεις που θα χρησιμοποιούν τις πιο κατάλληλες μεθόδους και τεχνολογίες για την εξασφάλιση υψηλού επιπέδου προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

7.3. Το ισχύον θεσμικό πλαίσιο

7.3.1. Το κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο

Η **Οδηγία πλαίσιο 75/442/ΕΟΚ**, η οποία τροποποιήθηκε από την **Οδηγία πλαίσιο 91/156/ΕΟΚ** και αυτή με την **Οδηγία 2006/12/ΕΚ**, περί των στερεών αποβλήτων ορίζουν τις έννοιες των στερεών αποβλήτων και των μεθόδων διαχείρισης αυτών (επεξεργασία, ανακύκλωση) και απαιτούν από τα Κ-Μ την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης των αποβλήτων. Με βάση την προσπάθεια για κοινή στρατηγική στο θέμα της διαχείρισης των αποβλήτων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.) με την **Απόφαση 94/3/ΕΚ**. Ο Ε.Κ.Α. είναι ένας εναρμονισμένος, μη εξαντλητικός κατάλογος αποβλήτων, ο οποίος πρόκειται ανά τακτά διαστήματα να αναθεωρείται και εφόσον είναι απαραίτητο, να ανασκευάζεται σύμφωνα με την διαδικασία της Επιτροπής. Ο Ε.Κ.Α. αποτελεί σήμερα ονοματολογία αναφοράς, παρέχοντας κοινή

για όλη την Κοινότητα ορολογία, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείριση των αποβλήτων. Τα απόβλητα του Ε.Κ.Α. που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται με αστερίσκο όπως ορίζει η **Απόφαση 2000/532/ΕΚ**. Θα πρέπει τέλος να τονιστεί, ότι ένα υλικό που περιλαμβάνεται στον Ε.Κ.Α. δεν είναι απόβλητο υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Ο όρος είναι δόκιμος μόνο όταν ικανοποιείται ο ορισμός του με βάση το άρθρο 1 της **Οδηγίας 75/442/ΕΟΚ**.

Όσον αφορά στη μεταφορά των αποβλήτων, αυτή καθορίζεται από τον **Κανονισμό 259/93**, ο οποίος ισχύει για μεταφορές αποβλήτων τόσο στο εσωτερικό της Κοινότητας όσο και όταν εισέρχονται στην κοινοτική επικράτεια ή εξέρχονται απ' αυτή. Με βάση τον προαναφερθέντα Κανονισμό, καθιερώνεται σύστημα αμοιβαίας και υποχρεωτικής κοινοποίησης, καθώς και ενιαίο έγγραφο παρακολούθησης της μεταφοράς αποβλήτων. Επιπλέον προβλέπεται διάκριση μεταξύ των αποβλήτων που προορίζονται για αξιοποίηση και αυτών που προορίζονται για τελική διάθεση, και ταξινομεί τα απόβλητα που προορίζονται για ανακύκλωση σε 3 κατηγορίες (πράσινος, πορτοκαλί και κόκκινος κατάλογος). Απαγορεύονται οι εξαγωγές αποβλήτων που προορίζονται για διάθεση, με εξαίρεση τις εξαγωγές προς χώρες της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελεύθερων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ) που είναι συμβαλλόμενα μέρη της Σύμβασης της Βασιλείας. Ομοίως απαγορεύονται οι προς την Κοινότητα εισαγωγές αποβλήτων που προορίζονται για διάθεση, με εξαίρεση τις εισαγωγές από χώρες που είναι συμβαλλόμενα μέρη της Σύμβασης της Βασιλείας ή από χώρες με τις οποίες η Κοινότητα (ή κράτος μέλος αυτής) έχει συνάψει διμερείς συμφωνίες. Τέλος απαγορεύονται οι προς την Κοινότητα εισαγωγές αποβλήτων που προορίζονται για αξιοποίηση, με εξαίρεση τις εισαγωγές από χώρες στις οποίες ισχύει η απόφαση του ΟΟΣΑ, από χώρες που είναι συμβαλλόμενα μέρη της Σύμβασης της Βασιλείας, τέλος δε από χώρες με τις οποίες η Κοινότητα (ή κράτος μέλος αυτής) έχει συνάψει διμερείς συμφωνίες. Ο Κανονισμός είναι υπό αναθεώρηση με στόχο την ενίσχυση των διαδικασιών που εφαρμόζονται σήμερα όσον αφορά στον έλεγχο των μεταφορών αποβλήτων.

Για την αποτροπή του κινδύνου μεταφοράς των αποβλήτων από τις ανεπτυγμένες στις αναπτυσσόμενες χώρες, χωρίς τις προϋποθέσεις που διασφαλίζουν την περιβαλλοντικά αποδεκτή διάθεσή τους, καταρτίστηκε και

υπεγράφη το 1989 η **Σύμβαση της Βασιλείας**. Με βάση αυτή τη σύμβαση τα υπογράφοντα Κράτη μέλη :

- Οφείλουν να μειώσουν στο ελάχιστο τις διασυνοριακές μεταφορές επικινδύνων αποβλήτων.
- Απαγορεύεται η εξαγωγή επικινδύνων αποβλήτων, με σκοπό την οριστική διάθεσή τους, προς χώρες που δεν είναι μέλη του ΟΟΣΑ.
- Οφείλουν να ιδρύσουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας στο εσωτερικό της χώρας, στο μέτρο του δυνατού, με σκοπό την βιώσιμη επεξεργασία και τελική διάθεση των αποβλήτων.

Η **Οδηγία 1999/31/ΕΚ** περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, στοχεύει στην πρόληψη ή στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της ταφής αποβλήτων στο περιβάλλον, και ειδικότερα στις επιπτώσεις στα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στον αέρα ή στην υγεία του ανθρώπου. Η Οδηγία ταξινομεί τους χώρους ταφής σε τρεις κατηγορίες:

- χώροι ταφής επικινδύνων αποβλήτων,
- χώροι ταφής μη επικινδύνων αποβλήτων,
- χώροι ταφής αδρανών αποβλήτων.

Επιπροσθέτως, αποσκοπώντας στη διασφάλιση της ελεγχόμενης διάθεσης των αποβλήτων, απαγορεύει τη διάθεση των ελαστικών, των νοσοκομειακών και άλλων τύπων αποβλήτων και καθορίζει τη διαδικασία για τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης χώρων ταφής. Τέλος θεσπίζονται συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι για τη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων κα επιβάλλεται η διαμόρφωση εθνικής στρατηγικής από τα κράτη μέλη, για την προσέγγιση των παραπάνω στόχων.

Αναφορικά με την αποτέφρωση των στερεών αποβλήτων, αυτή καλύπτεται από την **Οδηγία 2000/76/ΕΚ**. Στόχος της Οδηγίας είναι η πρόληψη και ο περιορισμός των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την αποτέφρωση και τη συνδυασμένη αποτέφρωση αποβλήτων, καθώς και των κινδύνων που απορρέουν για την ανθρώπινη υγεία. Η Οδηγία αφορά όχι μόνο τις προοριζόμενες για την αποτέφρωση αποβλήτων εγκαταστάσεις (“ειδικευμένες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης”), αλλά και τις εγκαταστάσεις “συνδυασμένης αποτέφρωσης”. Οι τελευταίες είναι εγκαταστάσεις των οποίων βασικός σκοπός είναι η παραγωγή ενέργειας ή υλικών προϊόντων και οι οποίες

χρησιμοποιούν ως κύριο ή βοηθητικό καύσιμο τα απόβλητα, αφού αυτά υποβληθούν σε θερμική επεξεργασία για την τελική διάθεσή τους.

Έχουν ακόμη εκδοθεί Κοινοτικές Οδηγίες που αναφέρονται στη διαχείριση συγκεκριμένων ρευμάτων αποβλήτων των οποίων η διάθεση από κοινού με τα οικιακά απορρίμματα θα δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα. Οι κυριότερες από τις Οδηγίες αυτές είναι:

1. **Οδηγία 75/439/ΕΟΚ** περί διαθέσεως των χρησιμοποιηθέντων ορυκτελαίων,
2. **Οδηγία 91/157/ΕΟΚ** για τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές που περιέχουν ορισμένες επικίνδυνες ουσίες,
3. **Οδηγία 94/62/ΕΚ** για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας,
4. **Οδηγία 96/59/ΕΚ** για τη διάθεση των πολυχλωροδιφαινυλίων και των πολυχλωροτριφαινυλίων (PCB/PCT),
5. **Οδηγία 2000/53/ΕΚ** για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους,
6. **Οδηγία 2002/95/ΕΚ** σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού,
7. **Οδηγία 2002/96/ΕΚ** σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).
8. **Οδηγία 91/689/ΕΟΚ**, για τα επικίνδυνα απόβλητα.
9. **Οδηγία 94/62/ΕΚ** για την εναλλακτική διαχείριση.
10. **Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ**, για την διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων και αποβλήτων.

7.3.2. Η εξέλιξη του ελληνικού θεσμικού πλαισίου

Έντεκα χρόνια πριν την έκδοση της **Οδηγίας 75/442/ΕΟΚ** για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, η Ελληνική νομοθεσία είχε ήδη εντάξει στο οπλοστάσιό της την **Υγειονομική Διάταξη Ε1β/301/64** “Περί συλλογής, αποκομιδής και διάθεσης απορριμμάτων”. Επρόκειτο για πρωτοπόρα για την εποχή της, νομοθετική πρόβλεψη, η οποία κάλυπτε με πληρότητα, τεχνική και διοικητική, το αντικείμενο της χωροθέτησης των εγκαταστάσεων διαχείρισης απορριμμάτων. Παράλληλα, καθόριζε τις βασικές τεχνικές κατευθύνσεις για την συλλογή, αποκομιδή και την υγειονομική ταφή των ΑΣΑ.

Η συνέχεια, δεν ήταν δυστυχώς η αναμενόμενη, με αποτέλεσμα να υπάρχει επί μακρόν σημαντικό έλλειμμα στο θεσμικό πλαίσιο της χώρας μας σχετικά

με τη διαχείριση των μη επικινδύνων ΑΣΑ. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι διατάξεις της πιο πάνω Υ.Δ. επικαιροποιήθηκαν 33 χρόνια αργότερα, οπότε και αντικαταστάθηκαν με την ΚΥΑ 114218/97, η οποία ισχύει και σήμερα στα σημεία αυτής που δεν καλύπτονται από μεταγενέστερες διατάξεις. Η πρώτη ολοκληρωμένη νομοθετική ρύθμιση για το πλαίσιο διαχείρισης των Σ.Α. έγινε το 1986:

(α) με τα άρθρα 11,12 (κυρίως) και 13 του νόμου-πλαισίου για την προστασία του Περιβάλλοντος (Ν.1650/86),

(β) σε συνδυασμό με την ΚΥΑ 49541/86 (“Στερεά Απόβλητα σε συμμόρφωση με την οδηγία 75/442/ΕΟΚ...”).

Η υπόψη ΚΥΑ αντικαταστάθηκε, δέκα χρόνια μετά, με την ΚΥΑ υπ.αρ. 69728/96 και αυτή με την ΚΥΑ υπ.αρ. 50910/2003, η οποία συμπεριέλαβε και το αντικείμενο του Εθνικού Σχεδιασμού και τον τρόπο κατάρτισης των Περιφερειακών Σχεδιασμών. Με την υπόψη ΚΥΑ καταργήθηκαν, επομένως, ρητά οι προγενέστερες, αφορώσες στα ζητήματα του Εθνικού και των Περιφερειακών σχεδιασμών, δηλ. οι ΚΥΑ υπ.αρ. **113944/97** και **14312/2000**.

7.3.3. Το πρόσφατο θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα

➤ **ΚΥΑ Η.Π. 50910/2727 , ΦΕΚ 1909Β/22-12-03**

“Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων/Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης”

Με την παραπάνω Κοινή Υπουργική απόφαση ενσωματώθηκε η βασική Κοινοτική Νομοθεσία που αφορά στα στερεά απόβλητα, όπως αυτή εκφράζεται από την οδηγία 75/442/ΕΟΚ “περί στερεών αποβλήτων”, η οποία τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΟΚ.

Ειδικότερα, τίθενται οι στόχοι και οι αρχές που πρέπει να ισχύουν σε επίπεδο χώρας και δίνονται οι γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, εξειδικεύεται η εθνική στρατηγική για τα στερεά απόβλητα η οποία στοχεύει στη λήψη των αναγκαίων μέτρων για τη ορθολογική και ολοκληρωμένη διαχείριση αυτών και τη βιώσιμη ανάπτυξη, ώστε:

- ❖ να εξασφαλίζεται ένα υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος και της Δημόσιας Υγείας,
- ❖ να εξοικονομούνται πρώτες ύλες, νερό, ενέργεια, επιφάνεια γης,

- ❖ να επιτυγχάνεται μείωση των αερίων εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου,
- ❖ τα δευτερογενή υλικά από την αξιοποίηση να μην παρουσιάζουν μεγαλύτερη βλαπτικότητα από τα συγκρίσιμα πρωτογενή υλικά ή από τα τελικά προϊόντα αυτών,
- ❖ να επιμηκύνεται ο διαθέσιμος χρόνος ζωής των Χώρων Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων (ΧΥΤΑ),
- ❖ η τελική διάθεση, όσων αποβλήτων είναι αδύνατη η αξιοποίησή τους, να μην αποτελεί κίνδυνο για τις επόμενες γενεές.

Ειδικότερα, η προαναφερθείσα ΚΥΑ προβλέπει τα παρακάτω όσον αφορά στους γενικούς στόχους και στις αρχές διαχείρισης των στερεών αποβλήτων:

- ✓ **Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων πραγματοποιείται κατά τρόπο ώστε να διασφαλίζεται ότι δεν τίθεται σε κίνδυνο, άμεσα ή έμμεσα, η υγεία του ανθρώπου και ότι δεν χρησιμοποιούνται διαδικασίες ή μέθοδοι που ενδέχεται να βλάψουν το περιβάλλον.**

Ειδικότερα, λαμβάνονται μέτρα ώστε:

α) να μην δημιουργούνται κίνδυνοι για το νερό, τον αέρα, το έδαφος, τη χλωρίδα, την πανίδα καθώς και την εν γένει βιώσιμη ανάπτυξη,

β) να μην προκαλούνται ενοχλήσεις από το θόρυβο ή τις οσμές,

γ) να μην προκαλείται αλλοίωση του τοπίου και των περιοχών που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικολογικό, πολιτιστικό, αισθητικό ενδιαφέρον (όπως αρχαιολογικοί χώροι, τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, ευαίσθητα οικοσυστήματα).

- ✓ **Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων διέπεται από τις ακόλουθες αρχές:**

α) Την αρχή της πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων.

β) Την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», με έμφαση στην ευθύνη του παραγωγού των αποβλήτων.

γ) Την αρχή της εγγύτητας σύμφωνα με την οποία επιδιώκεται τα απόβλητα, κατά το δυνατόν, να οδηγούνται σε μία από τις πλησιέστερες κατάλληλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας ή/και διάθεσης, με κύριο κριτήριο το περιβαλλοντικά αποδεκτό και οικονομικά εφικτό της διαχείρισης.

Εξάλλου, στον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), ο οποίος καταρτίζεται στο πλαίσιο της προαναφερθείσας ΚΥΑ, ιεραρχούνται τα παραπάνω ως ακολούθως:

1. Πρόληψη ή μείωση της παραγωγής αποβλήτων (ποσοτική μείωση) καθώς και μείωση της περιεκτικότητας αυτών σε επικίνδυνες ουσίες (ποιοτική βελτίωση).
2. Αξιοποίηση των υλικών που προέρχονται από τα απόβλητα με τη μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης και την ανάκτηση προϊόντων και ενέργειας.
3. Τελική διάθεση των αποβλήτων, που δεν υπόκεινται σε διεργασίες αξιοποίησης και των υπολειμμάτων της επεξεργασίας των αποβλήτων, κατά τρόπο περιβαλλοντικά αποδεκτό, στοχεύοντας στην αειφορία.

Η εξειδίκευση των παραπάνω γενικών στόχων στον ΕΣΔΑ οδηγεί στους εξής ειδικούς στόχους:

- στην εξάλειψη του φαινομένου της ανεξέλεγκτης διάθεσης με την παύση λειτουργίας των χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης στερεών αποβλήτων σε συνδυασμό με έργα αποκατάστασής τους.
- στην περιβαλλοντικά ασφαλή και οικονομικά συμφέρουσα μεταφορά αποβλήτων, με τη δημιουργία, όπου κρίνεται σκόπιμο, δικτύων σταθμών μεταφόρτωσης
- στην αξιοποίηση των αποβλήτων συσκευασίας και άλλων προϊόντων (οχήματα, ελαστικά, απόβλητα κατεδαφίσεων και κατασκευών, ηλεκτρικός & ηλεκτρονικός εξοπλισμός, έντυπο υλικό), με την καθιέρωση και εφαρμογή συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης των υλικών αυτών
- στην προώθηση προγραμμάτων διαλογής των αστικών στερεών αποβλήτων στην πηγή
- στη σταδιακή διαχρονική μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων υλικών που οδηγούνται προς υγειονομική ταφή, με τη δημιουργία σύγχρονων και οικονομοτεχνικά κατάλληλων εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων
- στην κάλυψη του συνόλου της χώρας με σύγχρονες και ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις τελικής διάθεσης αποβλήτων

- στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης επικοινωνιακής στρατηγικής που θα συμβάλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της διαχείρισης αποβλήτων
 - στην συνεχή και επιστημονικά τεκμηριωμένη πληροφόρηση και ευαισθητοποίηση του Κοινού ως προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής οποιουδήποτε σχεδιασμού (εθνικού ή περιφερειακού)
- ✓ **Για την επίτευξη των στόχων και την υλοποίηση των αρχών των προηγούμενων παραγράφων, οι αρμόδιες αρχές που ορίζονται στα άρθρα 5 και 6 καταρτίζουν Εθνικό και Περιφερειακά Σχέδια Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων.**

➤ **ΚΥΑ Η.Π. 29407/3508 , ΦΕΚ 1572Β/16-12-02**

“Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων”

Με την παραπάνω Κοινή Υπουργική Απόφαση ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο η κοινοτική οδηγία 99/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (“περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων”), η οποία:

- δεσμεύει την χώρα σε άμεση εισαγωγή τεχνολογιών επεξεργασίας αποβλήτων,
- θέτει αυστηρότερους κανόνες λειτουργίας των ΧΥΤΑ,
- εισάγει σημαντικές αλλαγές στην κοστολόγηση των παρεχόμενων υπηρεσιών,
- απαιτεί σημαντική αναβάθμιση και μετασχηματισμό των φορέων διαχείρισης,
- απαιτεί αλλαγές στην διαδικασία σχεδιασμού και αδειοδότησης των έργων.

Οι απαιτήσεις αυτές, ουσιαστικά οδηγούν στο να κατασκευάζονται όσο το δυνατόν λιγότεροι και πιο ελεγχόμενοι ΧΥΤΑ, να λειτουργούν με πολύ υψηλά πρότυπα (standards) και σταδιακά, όπου είναι δυνατό, να μετατρέπονται σε ΧΥΤΥ. Οι πλέον ουσιαστικές υποχρεώσεις που προκύπτουν για την Ελλάδα περιλαμβάνουν:

- Την υλοποίηση προγραμμάτων επεξεργασίας αποβλήτων, με την έννοια που αποδίδεται στον όρο από την αντίστοιχη ΚΥΑ (Η.Π.

29407/3508), σε όλα τα απόβλητα πριν αυτά οδηγηθούν προς υγειονομική ταφή.

- Την δέσμευση για μία μέγιστη ποσότητα Βιοαποδομήσιμων Αστικών Αποβλήτων (ΒΑΑ) που επιτρέπεται να οδηγείται σε χώρους ταφής, η οποία βαίνει σταδιακά μειούμενη για τα έτη 2010, 2013 και 2020.
- Τις αλλαγές που προβλέπονται όσον αφορά στον σχεδιασμό, στην κατασκευή, στην αδειοδότηση και στην λειτουργία των ΧΥΤΑ.
- Τις αλλαγές στην κοστολόγηση των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Συγκεκριμένα, οι στόχοι που θέτει η ΚΥΑ Η.Π. 29407/3508 στο άρθρο 4, για τα ΒΑΑ είναι:

- Μέχρι την 16 Ιουλίου του 2010, τα ΒΑΑ που προορίζονται για χώρους ταφής πρέπει να μειωθούν στο 75% της συνολικής (κατά βάρος) ποσότητας των ΒΑΑ που είχαν παραχθεί το 1995.
- Μέχρι την 16 Ιουλίου του 2013, τα ΒΑΑ που προορίζονται για χώρους ταφής πρέπει να μειωθούν στο 50% της συνολικής (κατά βάρος) ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995.
- Μέχρι την 16 Ιουλίου του 2020, τα ΒΑΑ που προορίζονται για χώρους ταφής πρέπει να μειωθούν στο 35% της συνολικής (κατά βάρος) ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995.

➤ **ΚΥΑ 22912/1117, ΦΕΚ 759Β/06-06-05**

“Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων”

Έχει εκδοθεί σε εναρμόνιση με τις διατάξεις της οδηγίας 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης εκεμβρίου 2000 “για την αποτέφρωση των αποβλήτων”.

Με την παραπάνω ΚΥΑ επιβάλλονται μέτρα, όροι και περιορισμοί στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης αποβλήτων (όπου συμπεριλαμβάνονται και τα αστικά απόβλητα από νοικοκυριά), ώστε να επιτυγχάνεται η πρόληψη ή ο περιορισμός, όσο είναι εφικτό, των επιπτώσεων στο περιβάλλον και ειδικότερα, της ρύπανσης από εκπομπές στην

ατμόσφαιρα, στο έδαφος και στα υπόγεια και επιφανειακά νερά, καθώς και των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου.

Ειδικότερα, για την επίτευξη του σκοπού αυτού:

- Επιβάλλονται συγκεκριμένες τεχνικές προδιαγραφές στις μονάδες αποτέφρωσης, τόσο σε σχέση με τον σχεδιασμό και την κατασκευή τους όσο και με τον εξοπλισμό και τις συνθήκες λειτουργία τους.
- Θεσπίζονται οριακές τιμές εκπομπής για τους αέριους ρύπους που προκύπτουν από την λειτουργία των μονάδων αποτέφρωσης
- Θεσπίζονται, επίσης, οριακές τιμές εκπομπής και για τις απορρίψεις στα νερά οι οποίες προκύπτουν από τον καθαρισμό των απαερίων.
- Καθορίζονται συγκεκριμένες διαδικασίες για την παράδοση και παραλαβή των προς αποτέφρωση αποβλήτων.
- Επιβάλλεται στις μονάδες αποτέφρωσης η εγκατάσταση εξοπλισμού μετρήσεων καθώς και η διενέργεια μετρήσεων αερίων ρύπων και παραμέτρων λειτουργίας καθώς και βαρέων μετάλλων, διοξινών και φουρανίων.
- Προδιαγράφονται οι προϋποθέσεις για την χορήγηση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων στις μονάδες αποτέφρωσης καθώς και της άδειας διάθεσης από τις αρμόδιες Υπηρεσίες.

Τέλος, λίγα χρόνια αργότερα ο Νόμος 2939/2001 διαμορφώνει το θεσμικό πλαίσιο για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων. Με τον νόμο αυτόν, ενσωματώνεται η προαναφερθείσα οδηγία 94/62/ΕΟΚ στο Εθνικό Δίκαιο, και καθορίζεται το πλαίσιο για την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης/ επαναχρησιμοποίησης/αξιοποίησης συσκευασιών και άλλων προϊόντων (μπαταρίες, ηλεκτρονικά, υλικά οικοδομών κ.α.), θέτοντας συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους και χρονικά όρια πραγματοποίησής τους. Ειδικά, τα σχετικά Προεδρικά Διατάγματα καθορίζουν τους επιμέρους όρους για το κάθε ρεύμα αποβλήτου.

Σε αντίθεση με το νομοθετικό έργο για τη διαχείριση των επικινδύνων αποβλήτων, από το οποίο απουσιάζει ακόμα ο Εθνικός Σχεδιασμός και οι Τεχνικές προδιαγραφές, το νομοθετικό καθεστώς των μη επικινδύνων στερεών αποβλήτων χαρακτηρίζεται από σχετική πληρότητα, παρουσιάζοντας επιμέρους, μόνο (αν και σημαντικές) ελλείψεις, όπως παρακάτω:

- ✓ Δεν έχει εκδοθεί η ΚΥΑ για τον καθορισμό των τεχνικών προδιαγραφών για την εκπόνηση των μελετών οργάνωσης και λειτουργίας α) των συστημάτων συλλογής και μεταφοράς και β) των εγκαταστάσεων προσωρινής αποθήκευσης, μεταφόρτωσης, διάθεσης και αξιοποίησης Σ.Α. (Άρθ.5, παρ.1γ της ΚΥΑ 50910/03)
- ✓ Δεν έχει διαμορφωθεί εθνικό πλαίσιο για την διαχείριση των ζωικών υποπροϊόντων και αποβλήτων. Παραμένουμε, ακόμη, στο σχετικό Κανονισμό της Ε.Ε.
- ✓ Δεν έχουν καλυφθεί τρία σημαντικά κενά έναντι των προβλέψεων του Ν2939/01 για την Εναλλακτική Διαχείριση:
 - Η οργάνωση και λειτουργία του ΕΟΕΔΣΑΠ
 - Η έκδοση του Π./τος για την εναλλακτική διαχείριση του Έντυπου Χαρτιού
 - Η έκδοση του Π./τος για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων εκσκαφών, κατεδαφίσεων και κατασκευών (ΑΕΚΚ).

7.4. Η οικονομική διάσταση της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων

7.4.1. Οικονομική αποδοτικότητα των μέχρι σήμερα επιλογών

Είναι προφανές ότι η μέχρι σήμερα συχνή επιλογή της ανεξέλεγκτης διάθεσης των απορριμμάτων (σε Χ.Α.Δ.Α) έχει στερήσει από τη χώρα μας γενικά –πέραν των νομικών συνεπειών που αυτή έχει - ένα πολύ μεγάλο δυναμικό σε ανακυκλώσιμα υλικά και μεγάλα ποσά ενέργειας παραγόμενης από την εκμετάλλευση των απορριμμάτων. Σε αυτά μπορεί να προστεθούν και οι αυξημένες απαιτήσεις σε υποδομές, μεταφορικά μέσα, καθώς και το κόστος κτήσης εδαφών, ακόμη και στην περίπτωση των νομίμως λειτουργούντων Χ.Υ.Τ.Α λόγω της καθολικής απόθεσης των απορριμμάτων σε αυτούς.

Η μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που οδηγούνται προς διάθεση, είτε για ταφή πρόκειται, είτε για καύση ή άλλη επεξεργασία, συνεπάγεται και ταυτόχρονη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα αυξάνει η διάρκεια ζωής των Χ.Υ.Τ.Α, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό τα τελευταία χρόνια δεδομένης της δυσκολίας ανεύρεσης χώρων για τέτοια

χρήση. Ακόμη η εφαρμογή προγραμμάτων ανακύκλωσης δίνει τη δυνατότητα να απομακρύνονται σε μεγαλύτερο ποσοστό επικίνδυνα και τοξικά υλικά από τα απορρίμματα πριν την τελική διάθεσή τους.

Η χρήση ανακυκλωμένων (δευτερογενών) υλικών σε αντικατάσταση πρωτογενών έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας, αλλά και μείωση της ρύπανσης κατά την παραγωγική διαδικασία των νέων προϊόντων. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι ωφέλειες που προκύπτουν αν αντικατασταθούν οι πρώτες ύλες με δευτερογενή υλικά που προέρχονται από ανακύκλωση.

	Χαρτί	Γυαλί	Χαλκός	Αλουμίνιο
Ενέργεια (%)	23-74	4-32	47-74	90-97
Αέρια ρύπανση (%)	73-74	6-22	85-86	95
Ρύπανση νερών (%)	35	-	76	97
Χρήση νερού (%)	58-60	50	40	-

Πίνακας 7.13: Οφέλειες από αντικατάσταση πρώτων υλών από υλικά ανακύκλωσης

Το μέσο κόστος αποκομιδής και διάθεσης για τους ΟΤΑ της Αττικής σύμφωνα με στοιχεία του ΕΣΔΚΝΑ (1995) μέχρι πρόσφατα ήταν 50 € και 3 € ανά τόνο αντιστοίχως. Μετά τον εκσυγχρονισμό της όλης διαχείρισης (2004) τα δύο κόστη έχουν διαμορφωθεί σε 25 € και 10 € αντιστοίχως. Σε αυτά δεν έχει ενσωματωθεί το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος διαχείρισης των διαρροών. Σχετικός είναι και ο Πίνακας που ακολουθεί:

	Αποκομιδή	Διάθεση
ΟΤΑ (1000 κάτ.)	150	75
Αττική 1995	50	3
Αττική 2004	25	10

Πίν. 7.14: Κόστος αποκομιδής/διάθεσης απορριμάτων (€/τόνο)

Η μέχρι τώρα λειτουργία των δύο μεγάλων εργοστασίων μηχανικού διαχωρισμού (Καλαμάτα, Άνω Λιόσια) αντιμετωπίζει προβλήματα με αποτέλεσμα τον μη ικανοποιητικό βαθμό λειτουργίας τους. Ο ρυθμός αξιοποίησης και ανακύκλωσης των συσκευασιών είναι μικρότερος κατά 30% των στόχων για το 2006 (αξιοποίηση 50-60% κ.β., ανακύκλωση 25-45% κ.β. και τουλάχιστον 15% ανά υλικό συσκευασίας). Προχωρούν αλλά

υπολείπονται των στόχων η συλλογή, ο διαχωρισμός και η επαναχρησιμοποίηση υλικών από μπαταρίες, ελαστικά αυτοκινήτων, αδρανή υλικά (μπάζα, λευκές και ηλεκτρονικές συσκευές).

Πρόσφατα άρχισε η εκμετάλλευση του βιοαερίου από τον ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων και της Θεσσαλονίκης (Ταγαράδες). Μέχρι σήμερα υπήρχε απώλεια χιλιάδων GWh ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και εκπομπής περίπου 100.000 τόννων βλαβερού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ο εξοικονομούμενος εθνικός ενεργειακός πόρος (λιγνίτης) ανέρχεται σε περίπου 200.000 τόννους ετησίως. Υπάρχει υστέρηση στη μείωση της ποσότητας του βιοαποδομήσιμου κλάσματος, όπου σε 5 χρόνια πρέπει να υπάρχει απομείωση κατά ¼ και σε 15 χρόνια απομείωση κατά τα 2/3.

Σε όλα τα στάδια μίας αποτελεσματικής διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων και με βάση τις ποσότητες που αυτά παράγονται, εκτιμάται ότι σήμερα στους ΟΤΑ, τις επιχειρήσεις τους και τις συνοδές εμπορικές και τεχνικές εταιρείες υπάρχει η δυνατότητα απασχόλησης επιπλέον 15.000 ατόμων διαφόρων ειδικοτήτων και ο συνολικός κύκλος των σχετικών εργασιών μπορεί να ανέλθει στο 0,5% του Α.Ε.Π..

Η μέχρι σήμερα καθυστέρηση στην εφαρμογή δόκιμων και βιώσιμων μεθόδων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων έχει και ένα (και οικονομικό) καλό. Οι διάφορες εγκαταστάσεις και έργα μπορούν να γίνονται μικρότερα και πιο εξειδικευμένα (σύσταση, συλλογή κλπ. των απορριμμάτων) και να αποφεύγονται οι μεγάλης κλίμακος εφαρμογές που είχαμε μέχρι σήμερα. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή και η έκταση των διαφόρων σταδίων κατά τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων μιας περιοχής δεν είναι μόνο τεχνοοικονομικό αλλά και κοινωνικό θέμα.

7.4.2. Πόροι για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων

Μέχρι σήμερα για την διαχείριση απορριμμάτων επενδύθηκαν από τα διάφορα χρηματοδοτικά μέσα (Ταμείο Συνοχής, ΠΕΠ, ΕΑΠΤΑ, ΕΠΠΕΡ, ΕΤΕΡΠΣ) και το εθνικό σκέλος, ποσά ύψους 542 εκατομμυρίων ΕΥΡ3. Συγκεκριμένα για την εκπόνηση μελετών διαχείρισης απορριμμάτων, την κατασκευή έργων ΧΥΤΑ, ΣΜΑ, εγκαταστάσεων επεξεργασίας, για αποκαταστάσεις χωματερών, εξοπλισμό αποκομιδής, προγράμματα και εξοπλισμό ανακύκλωσης, επενδύθηκαν την περίοδο 1993-1999 συνολικά

ποσά ύψους 322 εκατομμυρίων ΕΥΡΩ. Κατά την χρηματοδοτική περίοδο 2000-2003 επενδύθηκαν ποσά συνολικού ύψους 233 εκατομμυρίων ΕΥΡΩ. Για το ίδιο διάστημα το ΥΠΕΧΩΔΕ είχε δεσμεύσει από εθνικούς και κοινοτικούς πόρους για έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων πρόσθετες πιστώσεις συνολικού ύψους 293 εκατομμυρίων ΕΥΡΩ.

ΕΠΠΕΡ 2000-2006

Στο ΕΠΠΕΡ 2000-2006, ο Άξονας 2 ο οποίος αφορά στα Στερεά απόβλητα έχει στόχο τον σχεδιασμό και την εφαρμογή μέτρων για τον προσδιορισμό, την πρόληψη, τη συλλογή, διαλογή, μεταφορά, μεταφόρτωση, επεξεργασία, διάθεση στερεών μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων, καθώς και την αποκατάσταση από μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα χώρων και ακτών, όταν τα ΠΕΠ και το Ταμείο Συνοχής δεν παρεμβαίνουν. Στόχος είναι επίσης η ευαισθητοποίηση της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, των επιχειρήσεων και των πολιτών στο θέμα της εφαρμογής της στρατηγικής της διαχείρισης απορριμμάτων.

Τα Μέτρα 2.1 και 2.2. για τα μη επικίνδυνα και επικίνδυνα αντιστοίχως απόβλητα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα χρηματοοικονομικά στοιχεία:

Συνοπτικά χρηματοοικονομικά στοιχεία

Συνολικό κόστος:	21.216.000 ευρώ
Δημόσια δαπάνη:	21.216.000 ευρώ
Συμμετοχή ΕΤΠΑ:	14.851.200 ευρώ

Στον άξονα προτεραιότητας μπορούν να περιλαμβάνονται μέτρα, δράσεις και παρεμβάσεις που σχετίζονται με:

- Την διαχείριση των αστικών αποβλήτων.
- Την διαχείριση των βιομηχανικών μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων την αποκατάσταση χώρων εναπόθεσης στερεών αποβλήτων.
- Τον καθαρισμό ακτών τουριστικών περιοχών.
- Την αποκατάσταση – εξυγίανση ρυπασμένων χώρων από επικίνδυνα απόβλητα, ευαισθητοποίηση της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, των επιχειρήσεων και των πολιτών για θέματα διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων.

4ο ΚΠΣ 2007-2013

Η διαχείριση των απορριμμάτων εντάσσεται στις τομεακές πολιτικές για το έδαφος και αναφέρει: Οι εδαφικοί πόροι της Ελλάδας - σε σχέση με τις αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες- είναι σε σχετικά καλή κατάσταση, όμως δεδομένου του τύπου και του επιπέδου ανάπτυξης της χώρας δεν επιτρέπεται εφησυχασμός. Οι βασικοί κίνδυνοι υποβάθμισης των εδαφών προέρχονται κατά βάση από την προβληματική διαχείριση των αστικών στερεών αλλά και των επικίνδυνων αποβλήτων, από την έντονα εκτατική οικιστική ανάπτυξη, από την ολοένα αυξανόμενη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων στη γεωργία, την υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων για αρδευτική χρήση και από την καταστροφή των δασικών οικοσυστημάτων από πυρκαγιές ή και υπερβόσκηση. Τα προβλήματα αυτά σε συνδυασμό με το ξηροθερμικό κλίμα της χώρας συμβάλλουν στην προϊούσα εκδήλωση φαινομένων απερήμωσης σε άνυδρες περιοχές όπως π.χ. η Νότια Κρήτη.

Σκοπός του στρατηγικού σχεδίου στον τομέα «Έδαφος» για την περίοδο 2007–2013 είναι η «Προστασία των εδαφών από τη διάβρωση, την υποβάθμιση, την απερήμωση και τη ρύπανση».

Για την επίτευξη του προαναφερόμενου σκοπού, τίθενται μια σειρά από επιμέρους στόχους, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Υλοποίηση Εθνικού Σχεδιασμού ιαχείρισης Επικίνδυνων και μη αποβλήτων και εξάλειψη της ανεξέλεγκτης διάθεσης επικίνδυνων και μη αποβλήτων.
- Δημιουργία δυναμικού στην εγχώρια βιομηχανία για την επεξεργασία και διαχείριση επικίνδυνων και μη αποβλήτων.
- Μείωση της διάχυτης επιβάρυνσης των εδαφών με ουσίες που είναι επικίνδυνες για το περιβάλλον.
- Βιώσιμη διαχείριση των γεωργικών γαιών και δασικών εκτάσεων.
- Αναστροφή των τάσεων διάβρωσης των εδαφών σε φυσικές περιοχές, καθώς και της συμπίεσης και σφράγισης σε αστικές και περιαστικές.

Ταμείο Συνοχής 2007-2013

Συνολικά έχουν εγκριθεί από το Ταμείο Συνοχής II (2007-2013) περίπου 483 εκατομμύρια ΕΥΡΩ για την ΔΣΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

8.1. Υπάρχουσα κατάσταση από πλευράς τεχνικών υποδομών

Η κατάσταση στην Αττική, από πλευράς τεχνικών υποδομών ασφαλούς διαχείρισης των μη επικινδύνων ΑΣΑ, βρίσκεται στο χειρότερο σημείο της πρόσφατης «ιστορίας» της. Θετικά στοιχεία αποτελούν μόνο η έναρξη της δοκιμαστικής λειτουργίας (σε παραγωγική κλίμακα) του ΕΜΑΚ, με επιτευχθέν ήδη μέσο ημερήσιο φορτίο εισερχομένων απορριμμάτων 800 τόνων περίπου (δύο βάρδιες με 5ήμερη εργασία) και η έναρξη λειτουργίας των Σ.Σ.Ε.Δ. συσκευασιών ελαιολιπαντικών, εγκαταλειμμένων οχημάτων, ελαστικών επισώτρων, ηλεκτρικού-ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Στασιμότητα, όμως, παρουσιάζει, ως προς την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών, η κατασκευή νέων ΚΔΑΥ, πέραν του μοναδικού λειτουργούντος στο Μαρούσι, και δη μη αδειοδοτημένου, παρόλο που το εγκεκριμένο Σύστημα Συλλογικής Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών, με διαχειριστή την Ε.Ε.Α.Α. Α.Ε., είχε προγραμματίσει σημαντικές παρεμβάσεις.

Από εκεί και πέρα:

- Οι ανεξέλεγκτες χωματερές (ΧΑΔΑ) εξακολουθούν και «εκτρέφονται» με απορρίμματα. (βλέπε σχετική αναφορά παρακάτω)
- Ο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων, προ πολλού υπερκορεσθείς, «καταβροχθίζει» πλέον, ελλείπει χώρου, «τα παιδιά του», καθώς τα απορρίμματα καταλαμβάνουν τώρα σημαντικές εκτάσεις του αποκατασταθέντος, προ πολλών ετών, απορριμματικού αναγλύφου, και όχι μόνο. Στο μεταξύ, το λεγόμενο «ενδιάμεσο κύτταρο» που κατασκευάζεται πολύ κοντά σε κατοικίες και βιομηχανίες, επαρκεί μόλις για πέντε, το πολύ, μήνες, χωρίς άλλο «φως στον ορίζοντα».
- Η χωνεμένη και αφυδατωμένη λάσπη της Ψυττάλειας επανέρχεται δριμύτερη, εν μέσω θέρους (2006), καθώς ο χώρος που είχε απελευθερωθεί με τη μαζική μεταφορά στο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων το καλοκαίρι του 2005, έχει ήδη καταληφθεί από τις νέες ποσότητες που αποτέθηκαν και αποτίθενται με ρυθμό 700 τόνων/ημέρα περίπου.

Μέχρι την έναρξη αποδοτικής λειτουργίας της μονάδας ξήρανσης (αρχές 2008), ουδείς γνωρίζει (ή έστω ανακοινώνει) κάποια διέξοδο.

- Όλα τα άλλα έργα, περιλαμβανομένου και του 2ου ΧΥΤΑ υτικής Αττικής, την ευθύνη των οποίων έχει αναλάβει η Περιφέρεια Αττικής, έχουν παγώσει, ενόψει, πιθανώς, των σχετικών αποφάσεων του ΣΤΕ.

Α. Χ.Α.Δ.Α. στην Αττική

Τα παραγόμενα ΜΕΣΑ (μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα) της Αττικής (1885000 τον. – 1999) διατίθενται σήμερα κατά 95% (1795000 τον.) στον ΧΥΤΑ Δυτ. Αττικής, και κατά το υπόλοιπο μέρος τους (90.000 τόννοι), σε 25 ανεξέλεγκτες ή ημιελεγχόμενες χωματερές. Στην ηπειρωτική Αττική όπου παράγονται συνολικά 1.875.000 τόννοι ΜΕΣΑ, πέρα του ΧΥΤΑ Δυτ. Αττικής λειτουργούν 17 ανεξέλεγκτες / ημιελεγχόμενες χωματερές τις οποίες οι δύο (Οινόης και Ερυθρών) έπαυσαν πρόσφατα (2001) να λειτουργούν καθώς τα απορρίμματα των οικείων ΟΤΑ μεταφέρονται στον ΧΥΤΑ Δυτ. Αττικής μέσω του ΤΣΜΑ Βιλλίων.

- Από τις 15 χωματερές που παραμένουν σε λειτουργία μόνο μια βρίσκεται στη Νομαρχία Δυτ. Αττικής, αυτή των Μεγάρων. Οι υπόλοιπες 14 βρίσκονται στην Νομαρχία Ανατ. Αττικής και λειτουργούν στους παρακάτω ΟΤΑ: Κερατέας, Λαυρίου, Καλυβίων, Αυλώνα, Ωρωπού, Καπανδριτίου, Πολύδενδρου, Καλάμου, Παιανίας, Μαρκοπούλου Μεσογαίας, Μαρκοπούλου Ωρωπού, Κρωπίας, Βαρνάβα και Παλ. Φωκαίας.
- Οι υπόλοιπες 8 χωματερές βρίσκονται στο μη ηπειρωτικό τμήμα της Νομ. Πειραιά και συγκεκριμένα στους ΟΤΑ: Κηθύρων, Αντικηθύρων, Πόρου, Τροιζήνος, Δρυόπης, Μεθάνων, Ύδρας και Σπετσών.

Λεπτομερέστερα στοιχεία για τις πιο πάνω ανεξέλεγκτες και ημιελεγχόμενες χωματερές στην Αττική δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 1).

ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Δήμος	Θέση	Έκταση (στρ.)	Έτη λειτουργίας	Πληθυσμός απογραφής	Ποσότητα (τον/έτος)	Εξυπηρετού- μενος πληθυσμός	Τόπος διάθεσης
Κερατέας	Φαβόλες	25	50	9.700	20.000	15.000	απόρριψη
Λαυρίου	Μ.Καμινάδα	10	30	10.300	7.000	15.000	απόρριψη
Καλυβίων	Τίποτι	20	-	7.400	20.000	12.000	επικάλυψη
Αυλώνα	Κλίσεζα	1		6.400	1.200	7.000	
Ωρωπού	Αγ.Δημήτριος	1,5		900	16.000	17.500	
Καπανδρίτι	Μαυρινόρα			1.800	800	2.100	καύση
Πολυδένδρι	Παλιό Βαθύ	1		900	700	1.500	
Καλάμου	Λιμνιώνα	1		3.200	12.000	3.500	απόρριψη
Παιανίας	Ουλινέζε			9.700	14.000	20.000	επικάλυψη
Μαρκόπουλου (Ωρωπού)	Βρύση Πασά	18		2.200		10.000	επικάλυψη
Κρωπίας		25		16.800		25.000	καύση
Μαρκοπούλου		10		10.500		14.000	επικάλυψη
Βαρνάβα		10		1.400		2.500	απόρριψη
Π.Φώκαιας	Γερακίνα	5	40	2.100		10.000	
Σύνολο				85.291		155.100	

ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

Κυθήρων	Λαχνός	8		600		3.000	επικάλυψη
Πόρου	Κορέλι	40	20	3.600		15.000	απόρριψη
Τροιζηνίας	Μοναστήρι	200		800		3.000	απόρριψη
Τροιζηνίας	Δρυόπη	50		1.400		3.000	απόρριψη
Αντικύθηρων	Μήλος	1	7	100		70	επικάλυψη
Μέθανα	Χωνί	5	25	1.100		3.000	καύση
Ύδρα	Κριτάμι	20	32	2.400		2.500	επικάλυψη
Σπέτσες				3.600		4.000	
Σύνολο				13.600		33.570	

ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Μεγάρων	Κάμπια	160	-	25.000	13.000*	35.000	απόρριψη
Ερυθρών	4 Γεφύρια	8	40	3.500	Ανενεργός	3.000	απόρριψη
Οινόης	Γκουρίτσα	10		500	Ανενεργός	500	απόρριψη
Σύνολο				29.000		38.500	

*εκτίμηση ΥΠΕΧΩΔΕ

Πίν. 8.1: Υφιστάμενες χωματερές Ανεξέλεγκτης/Ημιανεξέλεγκτης Απόρριψης

Στους ανωτέρω πίνακες δεν συμπεριλαμβάνεται ο αριθμός των τουριστών κατά τους θερινούς μήνες. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι σε σύνολο εξυπηρετούμενου πληθυσμού 227.170 κατοίκων (όχι κατ'ανάγκη σε καθημερινή βάση) οι χωματερές της Νομαρχίας Ανατ. Αττικής καλύπτουν το 68,3% της δυναμικότητας των χωματερών όλης της Αττικής και το 82,2% της ηπειρωτικής Αττικής.

B. Επιπτώσεις από τη λειτουργία των ανεξέλεγκτων χωματερών

Παρόλο που η ποσότητα των απορριμμάτων που οδεύει στις ανεξέλεγκτες/ ημιελεγχόμενες χωματερές είναι μόνο το 5% των απορριμμάτων της Αττικής οι περιβαλλοντικές, υγειονομικές αλλά και αναπτυξιακές επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα καταστροφικές σε βάρος της ευρύτερης περιοχής τους αλλά και για όλη την ηπειρωτική Αττική, προκειμένου για τις χωματερές που λειτουργούν σ' αυτή. Πιο συγκεκριμένα:

➤ Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Αναφέρονται κύρια:

- Στα νερά, τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια λόγω της ανάμειξής τους με τα στραγγίσματα των χωματερών που με τη σειρά τους επηρεάζουν άμεσα τη γεωργική οικονομία όσο και την εν γένει χλωρίδα που έρχεται σε επαφή μαζί τους.
- Στον αέρα, εξαιτίας των δυσοσμίων αλλά και των καπνών και της σκόνης που αναδύονται από τους χώρους ανεξέλεγκτης απόρριψης. Ιδιαίτερα επικίνδυνοι είναι οι αέριοι ρύποι των καιομένων χωματερών (διοξείνες, φουράνια και άλλες τοξικές ουσίες) Τα στερεά επίσης σωματίδια που περιέχονται στα καπναέρια και στη σκόνη αποτελούν

και αυτά, κάτω από δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, σοβαρό κίνδυνο για τα ζώα και τον άνθρωπο.

- Στο πράσινο, λόγω του συνεχούς κίνδυνου πυρκαγιάς των γειτονικών εκτάσεων, που μεταδίδεται με τα ελαφρά καιόμενα υλικά (χαρτί, πλαστικό) που εύκολα παρασύρει ο αέρας, μέσω των πυκνών ξερόχορτων που μεταδίδουν τη φωτιά με μεγάλη ταχύτητα σε συνθήκες ισχυρών ανέμων.
- Στην οικολογική ισορροπία που ανατρέπεται ανεπανόρθωτα, στα πλαίσια του συγκεκριμένου ορατού οικοσυστήματος, αλλά και πλήττεται καίρια και σε ευρύτερη κλίμακα.
- Στο τοπίο, τέλος, εξαιτίας της αισθητικής του υποβάθμισης που προκαλεί η ύπαρξη χώρου ανεξέλεγκτης απόρριψης, και η διασπορά λόγω του ανέμου των πλαστικών με άμεσες και δυσμενείς συνέπειες στην τουριστική ανάπτυξη της περιοχής.

➤ Επιπτώσεις στη δημόσια υγεία

Εμμέσως προκύπτουν επιπτώσεις στην υγεία, μέσα από την προκαλούμενη υποβάθμιση έως καταστροφή του περιβάλλοντος, από τη χημική ρύπανση των νερών και του αέρα κι από τη μόλυνση τους. Άμεσα προσβάλλεται η υγεία μέσα από τους πιο διαφορετικούς μηχανισμούς. Αντικειμενική βάση της πιο πάνω λειτουργίας αποτελεί το γεγονός ότι τα απορρίμματα λόγω της σύνθεσης τους αποτελούν ιδανικό υπόστρωμα για τη φιλοξενία και, σε σημαντικό βαθμό, τον πολλαπλασιασμό μιας μεγάλης ποικιλίας παθογόνων μικροοργανισμών. Έτσι μέσα στα απορρίμματα των σημερινών σκουπιδοτόπων μικρών και μεγάλων, μπορούν να υπάρξουν μικρόβια, ιοί, μύκητες και παράσιτα καθώς και σπόροι τους και τοξικές τους ουσίες. Ενδεικτικά αναφέρονται: Οι διάφορες σαλμονέλλες (τυφοειδούς πυρετού, γαστρεντερίτιδας, δυσεντερείας), η ταινία (εντερικές λοιμώξεις), η βρουκέλλα (μελιταίος πυρετός), το μυκοβακτηρίδιο του KOCH (φυματίωση), το κορινοβακτηρίδιο (διφθερίτιδα), ο πυογενής στρεπτόκοκκος (σηψαιμία), το κλωστηρίδιο του τετάνου και της αεριογόνου γάγγραινας, ο ιός της πολυεμιλίτιδας, διάφοροι εντεροϊοί, ο ιός της ηπατίτιδας Α κ.λ.π.

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί, ότι δεν πρέπει να είναι από μόνα τους, κατ'ανάγκη, μολυσμένα τα απορρίμματα, για ν'αποτελέσουν εστία, μετάδοσης ασθενειών. Κάποιο άρρωστο ζώο, που θα πάει σ'ένα "ακίνδυνο" σωρό

σκουπιδιών για αναζήτηση τροφής (σκύλος, γάτα, ποντικός κ.λ.π.) μπορεί εύκολα να τον μετατρέψει με τα εκκρίματά του, σε μια επικίνδυνη εστία μόλυνσης.

Από κει και πέρα οι μηχανισμοί μετάδοσης της νόσου δεν είναι δύσκολο να δράσουν:

- Τα ζώα που τρέφονται ή απλά επισκέπτονται ένα μολυσμένο σωρό σκουπιδιών πολύ εύκολα μπορούν να μεταδώσουν τη νόσο με τα διάφορα εκκρίματά τους, με το δάγκωμα (σκυλιά, έντομα, τρωκτικά), με την μόλυνση τροφών του ανθρώπου, είτε τέλος, μέσω των ιστών τους όσα από αυτά αποτελούν, τα ίδια, τροφή του ανθρώπου (κότες, πρόβατα, γουρούνια κ.λ.π.).
- Οι σκόνες των σκουπιδοσωρών που παρασύρονται από τον αέρα, μεταφέρουν τεράστιους αριθμούς παθογόνων μικροοργανισμών, σε πολύ μεγάλες αποστάσεις που μέσω της αναπνευστικής ή πεπτικής οδού καταλήγουν στο εσωτερικό του ανθρώπου, προσβάλλοντας τα αντίστοιχα όργανα.

➤ Επιπτώσεις την τοπική ανάπτυξη

Από όσα, ήδη, αναφέρθηκαν προηγούμενα προκύπτει μια ισχυρή σύνδεση των ανεξέλεγκτων χωματερών με το πρόβλημα της τοπικής ανάπτυξης. Πρώτα - πρώτα έγινε φανερό ότι η σωστή διαχείρισή τους, και πάνω απ' όλα η σωστή υγειονομική τους ταφή, αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας, που είναι ουσιαστικοί συντελεστές μιας ανάπτυξης προς όφελος των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής.

Πέρα όμως από τη γενική αυτή σχέση, επισημαίνεται, ότι η σωστή διάθεση των απορριμμάτων επιδρά άμεσα και θετικά και σε μια σειρά σοβαρούς συντελεστές της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης όπως είναι:

- Η προστασία του υδατικού δυναμικού, επιφανειακού και υπόγειου.
- Η προστασία της κτηνοτροφικής παραγωγής.
- Η προστασία της γεωργικής παραγωγής.
- Η προστασία της δασοκομικής δραστηριότητας.
- Η ανάπτυξη του εξωτερικού και εσωτερικού τουρισμού.

Από τα παραπάνω προκύπτει αβίαστα αδήριτη ανάγκη για την άμεση παύση λειτουργίας και την επανένταξη στο γειτονικό τους περιβάλλον των ανεξέλεγκτων/ημιελεγχόμενων χωματερών της Αττικής.

8.2. Η διαχρονική εξέλιξη του ζητήματος

Το πρόβλημα της διαχείρισης και ειδικότερα της διάθεσης/αξιοποίησης των απορριμμάτων στο νομό Αττικής έχει απασχολήσει επανειλημμένα, σε όλο το διάστημα της μεταπολίτευσης μέχρι σήμερα, πέρα από τον υπεύθυνο φορέα διάθεσης, τον ΕΣΚΝΑ, και όλο το φάσμα των εμπλεκόμενων, περισσότερο ή λιγότερο άμεσα, φορέων: Τοπική Αυτοδιοίκηση (ΚΕΔΚΕ, ΤΕΔΚΝΑ, άμεσα εμπλεκόμενοι δήμοι και κοινότητες, Δ. Αθηναίων και Πειραιά), προηγούμενα Νομαρχιακά Συμβούλια και Νομαρχίες, Υπ. Εσωτερικών, ΥΠΕΧΩΔΕ, (ΠΕΡΠΑ και αργότερα Τμήμα ΔΣΑ), προηγούμενα επιστημονικούς φορείς (ιδιαίτερα του ΤΕΕ καθώς και του ΕΜΠ, του Συλλόγου Χημικών Μηχανικών, του ΓΕΩΤΕΕ κ.α.), άλλα ιδρύματα, συνδικαλιστικούς φορείς (ΠΟΕ-ΟΤΑ, ΠΟΕΔΗΝ), πολιτικά κόμματα. Επανειλημμένα, επίσης, απασχόλησε και τον ημερήσιο (κύρια) Τύπο.

Η σημερινή αδιέξοδη κατάσταση, ειδικότερα στην Αττική, στη διαχείριση των Σ.Α. βρίσκεται σε εμφανή αναντιστοιχία με το σημαντικό (από πλευράς έκτασης και βάθους) έργο που έχει μέχρι σήμερα πραγματοποιηθεί, τόσο σε επίπεδο μελετών όσο και σε επίπεδο αποφάσεων των οργάνων της Τ.Α.

Ξεκινώντας από τη διαπίστωση ότι (α) σημαντικό μέρος το έργου αυτού παραμένει άγνωστο, (β) η γνώση του (έστω η υπενθύμισή του) θα διαλύσει αρκετές παρανοήσεις για το βαθμό πληρότητας του επιστημονικο-τεχνικού υποβάθρου των γενόμενων επιλογών σε επίπεδο σχεδιασμού.

Για την επίλυση του προβλήματος έχουν κατά καιρούς πραγματοποιηθεί: Συγκεντρώσεις, ημερίδες, συνέδρια, συσκέψεις, εργασίες επιτροπών, διμερείς και πολυμερείς επαφές, συνεντεύξεις Τύπου, λαϊκές κινητοποιήσεις, αρθρογραφίες, παρεμβάσεις στο Κοινοβούλιο. Στη συνέχεια παρατίθενται οι σημαντικοί σταθμοί εξέλιξης του ζητήματος, με την επισήμανση ότι δεν γίνεται αναφορά, στο παρόν συνοπτικό ιστορικό, στις διαδικασίες και τις μελέτες που αναφέρονται στις μεθόδους διαχείρισης των Σ.Α.:

- Το Γενάρη του 1977 κλείνει η χωματερή "Βάρης", ύστερα από κινητοποιήσεις διαρκείας των κατοίκων του Κορωπίου.
- Το 1978 αρχίζουν οι κινητοποιήσεις του Δήμου Άνω Λιοσίων για την περιβαλλοντική αναβάθμιση της περιοχής και την κατασκευή παρακαμπτηρίου προς τη χωματερή δρόμου. Μέχρι τέλους του 1982 οριστικοποιείται το αίτημα του Δ. Άνω Λιοσίων για την **απομάκρυνση του ομώνυμου χώρου διάθεσης απορριμμάτων**.
- Το 1979 το Υπ. Εσωτερικών αναθέτει και εκπονείται **μελέτη για τον εντοπισμό νέων χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων**, ενώ ανατέθηκε (και παραδόθηκε το 1981) μελέτη για δίκτυο σταθμών μεταφόρτωσης απορριμμάτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας.
- Το 1983, σε συνέχεια επερώτησης στη Βουλή και σχετικών αποφάσεων του ΕΣΚΝΑ και του Δήμου Α. Λιοσίων **συγκροτείται επιτροπή για τον εντοπισμό νέων χώρων διάθεσης απορριμμάτων στην Αττική**. Η επιτροπή αποτελείται από εκπροσώπους (στην πλειοψηφία τους ειδικούς επιστήμονες) των ΥΠΕΧΩΔΕ, Υπ. Εσωτερικών, ΕΣΔΚΝΑ, Νομ. Συμβ. Αττικής, Δ. Αθηναίων και Δ. Πειραιά. Ολοκληρώνει το έργο της το 1984, χωρίς, όμως, να δοθεί οποιαδήποτε συνέχεια.
- Το 1984 ο ΕΣΚΝΑ οργανώνει τριήμερο πανελλαδικό συνέδριο για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, με ευρύτατη συμμετοχή εκπροσώπων Τ.Α., Κεντρικής Διοίκησης και επιστημονικών φορέων, που θα συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη δυνατή κοινωνική αποδοχή. Πραγματικά, με βάση τα συμπεράσματα του Συνεδρίου, **διαμορφώνεται ένα μεσοπρόθεσμο πρόγραμμα με τους παρακάτω άξονες δράσης:**
 1. **Κλείσιμο χωματερών Α. Λιοσίων και Σχιστού** και μέχρι τότε βελτίωση της διάθεσης. **Δημιουργία τριών σύγχρονων χώρων υγειονομικής ταφής** (Δυτ. Αττική, Β.Α. Αττική, Ν.Α. Αττική) και ενός μικρότερου στη Λαυρεωτική, σε επιλεγμένους ήδη χώρους.
 2. **Δημιουργία δικτύου 5 ΣΜΑ** (Σχιστού, Ελαιώνα, Βεΐκου, Αλίμου-Ελληνικού, Δυτ. Αθήνας) και τοπικών συστημάτων μεταφόρτωσης για τους απομακρυσμένους ΟΤΑ.

3. Ανάπτυξη του ερευνητικού και πειραματικού έργου του ΕΣΔΚΝΑ στην κατεύθυνση κύρια της **ανακύκλωσης**, της παραγωγής εδαφοβελτιωτικού υλικού, της αξιοποίησης ή καύσης βιοαερίου, της καύσης των νοσοκομειακών αποβλήτων, της διάθεσης των πετρελαιοειδών και λοιπών παρόμοιων καταλοίπων.

4. Διεύρυνση του αντικειμένου του ΕΣΔΚΝΑ για μια **ουσιαστική βοήθεια στους ΟΤΑ** της χώρας.

- Το 1985 αρχίζει το **πειραματικό πρόγραμμα Διαλογής στην Πηγή** (Δ.σ.Π.) του ΕΣΔΚΝΑ σε συνεργασία με 10 Δήμους-μέλη του.
 - Το 1985 είναι ένα χρόνος "επίθεσης" **πληροφόρησης των πολιτών** (με πολύπτυχα, αφίσες, διαλέξεις) για την αναγκαιότητα της ανακύκλωσης με τη διαλογή στην πηγή, με υλικά στόχους το χαρτί, το γυαλί και τα μέταλλα.
 - Το 1986 διαπιστώνεται ότι:
 - (α) αναπτύσσεται το ερευνητικό πειραματικό σκέλος του προγράμματος του ΕΣΔΚΝΑ (πυρολυτικός αποτεφρωτήρας, πιλοτική μονάδα μηχανικής ανακύκλωσης, διερεύνηση βιοαερίου, Δ.σ.Π.).
 - (β) βελτιώθηκε δραστικά η διάθεση των απορριμμάτων στις δύο υπάρχουσες χωματερές, κύρια χάρη στην αυτεπιστασία.
 - (γ) προωθείται ο ΣΜΑ Σχιστού.
- Αντίθετα είχε καθηλωθεί το πρόγραμμα δημιουργίας νέων ΧΥΤΑ εξαιτίας των αντιδράσεων των ΟΤΑ, στα διοικητικά όρια των οποίων βρίσκονταν οι χώροι που είχαν υποδειχθεί από το 1984. Έτσι, στο ετήσιο τακτικό συνέδριο της ΤΕΔΚΝΑ (1986) περιλαμβάνεται ξεχωριστή εισήγηση του Προέδρου του ΕΣΔΚΝΑ με θέμα "Η διαχείριση των απορριμμάτων στην Ελλάδα". Στην κατάληξη της εισήγησης αυτής διατυπώνεται όλη η αγωνία για την έλλειψη συνεργασίας από τους άμεσα αφορούμενους ΟΤΑ για τη δημιουργία των νέων ΧΥΤΑ.
- Το 1987 και 1988 αναπτύσσονται πρωτοβουλίες από το ΤΕΕ και το ΕΜΠ με ημερίδες για τα ζητήματα διάθεσης των απορριμμάτων.
 - Το 1988 η ΤΕΔΚΝΑ αποφασίζει να αναλάβει συγκεκριμένες πρωτοβουλίες για την εξασφάλιση των νέων χώρων με προτεραιότητα το χώρο της Δυτ. Αττικής. Συγκροτείται επιτροπή από τους άμεσα αφορούμενους ΟΤΑ (Α. Λιόσια, Ασπρόπυργο, Ελευσίνα, Ζεφύρι,

Καματερό, Κερατσίνι, Μαγούλα, Μάνδρα, Μέγαρα, Νέα Πέραμος, Νίκαια, Πέραμα, Φυλή) για τον καθορισμό των κριτηρίων επιλογής του χώρου και την προώθηση του όλου ζητήματος, η οποία όμως δεν είχε σημαντική συνέχεια στη λειτουργία της.

- Ναυαγεί (1988) η προσπάθεια των ΟΤΑ της Λαυρεωτικής για τη δημιουργία τοπικού ΧΥΤΑ, όταν ο δήμος Κερατέας ανακαλύπτει ότι ο επικρατέστερος χώρος βρίσκεται στα διοικητικά του όρια και δηλώνει την κατηγορηματική του διαφωνία. Ο δήμαρχος Λαυρεωτικής καταθέτει «ιστορικό» έγγραφο, δηλώνοντας την πλήρη απογοήτευσή του.
- Το 1988 άρχισε να λειτουργεί η πιλοτική μονάδα ανακύκλωσης του ΕΣΔΚΝΑ δυναμικότητας 32 τόνων/ημέρα (16ωρη λειτουργία) Μετά από πολλούς ελέγχους και προσαρμογές η βελτιστοποίηση της ολοκληρώθηκε το Μάρτη του 1991, με δαπάνες της κατασκευάστριας εταιρείας. Η Τ.Υ. του ΕΣΔΚΝΑ αποκόμισε πολύτιμα συμπεράσματα που καταγράφηκαν σε μία σειρά εργασίες.
- Το 1989 ο ΕΣΔΚΝΑ πραγματοποιεί **επαφές με εκπροσώπους των πολιτικών κομμάτων** και τον οικουμενικό πρωθυπουργό, ενώ ο υπουργός Εσωτερικών αναλαμβάνει πρωτοβουλίες οργανώνοντας συσκέψεις με τους άμεσα αφορώμενους δημάρχους και κοινοτάρχες. **Συγκροτείται διεπιστημονική ομάδα εργασίας** για την επιλογή θέσης στη Δυτ. Αττική, εκτός του Θριασίου Πεδίου. Η Ομάδα εργασίας παραδίδει τα πορίσματα της το Μάρτη του 1990. Τα πορίσματα γίνονται αποδεκτά από την πολιτική ηγεσία του Υπ. Εσωτερικών, από τον ΕΣΔΚΝΑ και το ήμο Άνω Λιοσίων. Προβλέπονται μια σειρά μή χρηματικές αντισταθμιστικές παροχές και συμφωνείται από τους τρεις πιο πάνω φορείς ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα δράσης για την παύση λειτουργίας του ΧΑΔΑ Άνω Λιοσίων. Και πάλι, όμως, καμία συνέχεια δεν δίνεται.
- Τον Απρίλη του 1991 **έκλεισε λόγω υπερκορεσμού** η χωματερή Σχιστού και άρχισε η λειτουργία του ΣΜΑ Σχιστού με μεταφορά των απορριμμάτων στο μοναδικό, πλέον, ΧΔΑ Άνω Λιοσίων. Ο έγκαιρος προγραμματισμός και υλοποίηση του έργου, απάλλαξε τους δήμους της περιοχής από τον εφιάλτη της μεταφοράς των απορριμμάτων.

- Το Μάρτη του 1991 ολοκληρώθηκαν οι **εγκρίσεις καταλληλότητας** από τους νομάρχες υποψηφίων χώρων και ο ΕΣΔΚΝΑ δημοπρατεί και αναθέτει δύο μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (μία για τη υτ. Αττική και μία για τη Β.ΒΑ και Ν.ΝΑ Αττική) προκειμένου να επιλεγούν οι δύο χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Η πορεία της κάθε μελέτης παρακολουθείται από ευρεία επιτροπή παρακολούθησης.
- Επίσης από το 1991, λόγω και της συγκέντρωσης όλων των απορριμμάτων στον ΧΑΔΑ. Λιοσίων, αρχίζει να καταβάλλεται στους οχλούμενους ΟΤΑ χρηματική **αντισταθμιστική εισφορά**. Τη «μερίδα του λέοντος» αποσπά ο δήμος Α. Λιοσίων.
- Στις αρχές του 1992 υποβάλλεται η 1η φάση της κάθε μελέτης (υτ. Αττικής, Α. Αττικής) και με σημαντική καθυστέρηση ο υφυπουργός ΠΕΧΩΔΕ **εκδίδει την προέγκριση χωροθέτησης** για δύο χώρους για κάθε μελέτη.
- Στις 19 Ιανουαρίου 1993 η Δ.Ε. της ΤΕΔΚΝΑ συγκάλεσε Γ.Σ. των μελών της, ύστερα από δίμηνη εντατική προετοιμασία, στην οποία περιλαμβάνονται και συσκέψεις με όλους τους αφορώμενους ΟΤΑ. Τόσο η εισήγηση της ΤΕΔΚΝΑ, που προετοιμάστηκε σε στενή συνεργασία με τον ΕΣΔΚΝΑ, αποτέλεσμα, μάλιστα, έντονης συζήτησης, όσο και οι τελικές αποφάσεις που πάρθηκαν, ενίσχυσαν ουσιαστικά και το ρόλο γενικά, και το μεσοπρόθεσμο πρόγραμμα του ΕΣΔΚΝΑ ειδικότερα, καθώς:
 - Απέτυχε η προσπάθεια μερικών δήμων, με προεξάρχοντα το δήμο Πειραιά, να περιοριστεί ο ρόλος του ΕΣΔΚΝΑ στο επίπεδο του επιτελικού σχεδιασμού. Απορρίφθηκε, επίσης, η πρόταση να αποσπασθεί από τον ΕΣΔΚΝΑ το αντικείμενο της διάθεσης, επεξεργασίας και μεταφόρτωσης των απορριμμάτων και να δοθεί στους γειτονικούς με τον κάθε ΧΥΤΑ ή ΣΜΑ δήμους.
 - Επιβεβαιώθηκε η ανάγκη να σεβαστούν όλοι οι ΟΤΑ της Αττικής τον ενιαίο σχεδιασμό του ΕΣΔΚΝΑ.
 - Επιβεβαιώθηκε πλήρως η μέχρι τότε πορεία εκπόνησης των δύο Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) και αποφασίστηκε να αρχίσει η εκπόνηση της Β΄φάσης με αφετηρία τα συμπεράσματα της Α΄φάσης των δύο μελετών. Η εισηγητική πρόταση της ΔΕ της ΤΕΔΚΝΑ

να περιοριστεί η Β' φάση των ΜΠΕ, για χώρους εντός Αττικής με αποκλεισμό της περιοχής «Ριτσώνας» καταψηφίστηκε με μεγάλη πλειοψηφία.

- Το διάστημα από Γενάρη '93 μέχρι εκέμβρη '94 ήταν μια περίοδος όπου το ζήτημα της χωροθέτησης πάγωσε στην πράξη, αναπτύχθηκαν όμως άλλοι τομείς του προγράμματος του ΕΣΔΚΝΑ, όπως:
 - Η ανάπτυξη του συστήματος τοπικής μεταφόρτωσης των απορριμμάτων, που μελέτησε και προώθησε η Τ.Υ. του ΕΣΔΚΝΑ.
 - Η πειραματική εφαρμογή, στο δήμο Χαλανδρίου του καινοτομικού συστήματος εμπροσθοπλάγιας αποκομιδής και συνδυασμένης μεταφόρτωσης των απορριμμάτων.
 - Το ξεκίνημα του προγράμματος Δ.Σ.Π. χαρτιού στους 14 δήμους του Ν. Α. Λεκανοπεδίου, με λογότυπο «Καν' το κι εσύ».
 - Η διασφάλιση της επιχορήγησης, από το Ταμείο Συνοχής και το Β. Κ.Π.Σ. σημαντικών έργων του ΕΣΔΚΝΑ, όπως οι αποκαταστάσεις των δύο παλαιών Χ.Δ.Απορριμμάτων Σχιστού και Ανω Λιοσίων, το εργοστάσιο μηχανικής ανακύκλωσης - βιοσταθεροποίησης, ο αποτεφρωτήρας παθογόνων απορριμμάτων, το σύστημα δεματοποίησης απορριμμάτων, ο ΣΜΑ Ελαιώνα.
 - Η δημοπράτηση των έργων αποκατάστασης των δύο παλαιών χωματερών
- Το Δεκέμβρη 1994 το Δ.Σ. Α. Λιοσίων **αποδέχθηκε τη δημιουργία, του ΧΥΤΑ Δυτ. Αττικής** στα διοικητικά του όρια, κατ'επέκταση της υπάρχουσας χωματερής των Άνω Λιοσίων καθώς και την κατασκευή του **εργοστασίου μηχανικής ανακύκλωσης** δυναμικότητας 300.000 τον./έτος και του αποτεφρωτήρα νοσοκομειακών παθογόνων απορριμμάτων.
- Στις 13 Δεκέμβρη 1994, η Δ.Ε. της ΤΕΔΚΝΑ σε συνέχεια σύσκεψης Δημάρχων και Προέδρων Κοινοτήτων του Ν. Αττικής, παρουσία και του Υπουργού ΠΕΧΩΔΕ, συμφώνησε με ομόφωνη απόφασή της στην κατασκευή του πιο πάνω εργοστασίου μηχανικής ανακύκλωσης και του ΧΥΤΑ και κάλεσε τον ΕΣΔΚΝΑ να συνεχίσει τις διαδικασίες για την προώθηση του προγράμματός του με άλλους δύο ΧΥΤΑ και εργοστάσια ανακύκλωσης, καθώς και σταθμούς μεταφόρτωσης που θα

οριστικοποιηθούν απο την πολιτεία. Η απόφαση ορίζει ότι: «Την συνολική ευθύνη για τη διαχείριση του όλου συστήματος την έχει ο ΕΣΔΚΝΑ».

Με την ίδια απόφαση συνιστάται στους Ο.Τ.Α.- μέλη του ΕΣΔΚΝΑ να δεχθούν μια σημαντική αύξηση των αντισταθμιστικών τελών υπέρ του Δ. Άνω Λιοσίων, προκειμένου αυτός να δεχθεί την παράταση λειτουργίας του χώρου διάθεσης πέραν του 1994. Την ίδια απόφαση επιβεβαίωσε η ΔΕ της ΤΕΔΚΝΑ τον Ιανουάριο 1995 με νέα απόφασή της.

- Στις 11/6/1996 εγκρίνεται από το Δ.Σ. του ΕΣΔΚΝΑ και αποστέλλεται σε συνέχεια στο ΥΠΕΧΩΔΕ για την έκδοση αποφάσεων προέγκρισης χωροθέτησης, η μελέτη «Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από Ίδρυση Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στην Β. Β.Α. και Ν. Ν.Α. Αττική», που ολοκληρώθηκε σύμφωνα και με τη σχετική υπ' αριθμ.6750/10-11-95 Συμπληρωματική (της αρχικής υπ' αριθμ. 4227/16-9-91) Σύμβαση. Ο ανάδοχος μελετητής υποδεικνύει τελικά δύο υποψηφίους χώρους, ένα για κάθε χωρική ενότητα, δηλαδή:
 - ❖ Ένα χώρο για την χωρική ενότητα Β. Β.Α. Αττική, ήτοι τη θέση Ριτσώνα 2 στα διοικητικά όρια του Ν. Ευβοίας
 - ❖ Ένα χώρο για τη χωρική ενότητα Ν. και Ν.Α. Αττικής, ήτοι τη θέση Κερατέα.
- Στη Συνεδρίασή του, στις 24-1-97, το Περιφερειακό Συμβούλιο της Αττικής αποφασίζει κατά πλειοψηφία την **ανατροπή των μέχρι τότε κρατούντων** ως προς τη χωροθέτηση των τριών ΟΕΔΑ (τρεις ισοδύναμες ΟΕΔΑ, περιμετρικά του κεντρικού Λεκανοπεδίου της Αθήνας). Με την απόφαση αυτή ορίζεται ότι στη Νομαρχία Αττικής θα κατασκευασθεί μία μόνο μονάδα, για τα σκουπίδια αποκλειστικά της Νομ. Αττικής (1000 τον/ημ).
- Με βάση την παραπάνω απόφαση ο Υπουργός ΠΕΧΩΔΕ εκδίδει την υπ' αριθμ.15043/4921/16-5-97 Απόφαση Προέγκρισης Χωροθέτησης ΟΕΔΑ στα διοικητικά όρια της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Ανατολικής Αττικής για τις θέσεις, Αυλώνα 1 και 2, Κερατέα και Μαύρο Βουνό Γραμματικού, η οποία ακυρώνεται από το ΣτΕ.

- Κατά της πιο πάνω απόφασης προέγκρισης χωροθέτησης του κ. Υπουργού ΠΕΧ3Ε προσέφυγαν στο ΣτΕ οι ΟΤΑ, Κερατέας, Αυλώνα και Γραμματικού. Και το μεν Ε΄ Τμήμα του ΣτΕ έκανε δεκτές, κατ΄ αρχήν, τις ενστάσεις, η Ολομέλεια όμως του ΣτΕ, στην οποία παραπέμφθηκε, ως μείζονος σημασίας, το θέμα, τις απέρριψε με το αιτιολογικό ότι: Εφόσον, τελικώς, σύμφωνα και με την οικεία απόφαση του Περιφερειακού Συμβουλίου Αττικής, επρόκειτο να δημιουργηθεί μια μόνο ΟΕΔΑ στην περιοχή της Νομαρχίας Ανατολικής Αττικής, η προσβαλλόμενη πράξη του Υπουργού δεν συνιστούσε εκτελεστή πράξη της Διοίκησης αλλά προπαρασκευαστική ενέργεια, μη αποτελούσα, δηλ. την κατά νόμο προβλεπόμενη Απόφαση Προέγκριση Χωροθέτησης.
- Στο ενδιάμεσο διάστημα ανατέθηκαν για το υπόψη θέμα και εκπονήθηκαν, ανεξάρτητα η μία από την άλλη, τρεις ακόμη μελέτες, οι οποίες αναφέρονται στην συνέχεια:
 - i. Η μελέτη του Πανεπιστημίου Πατρών (Μελετητές Χ. Τσιλιγιάννης κ.α.) που εκπονήθηκε στο τέλος του 1996 για λογαριασμό της ΤΕΔΚΝΑ, με τίτλο «Αξιολόγηση Τεχνολογιών Επεξεργασίας και Διάθεσης Απορριμμάτων – Χωροθετήσεις για την Αττική». Η μελέτη αυτή επιλαμβάνεται του θέματος των χωροθετήσεων εγκαταστάσεων διάθεσης απορριμμάτων σε αλληλεξάρτηση θέσης – Εφαρμοζόμενης μεθόδου.

Είναι χαρακτηριστικό ότι μεταξύ των χώρων που ερευνήθηκαν σε όλη την Αττική για τη χωροθέτηση δύο ΟΕΔΑ (δηλ. Εγκατάσταση Μηχανικού Διαχωρισμού και Βιοσταθεροποίησης και Χώρος Υγειονομικής Ταφής των Υπολειμμάτων της), ως επικρατέστερες από τις θέσεις της Νομ. Ανατολικής Αττικής προκρίνονται η Κερατέα-«Οβριόκαστρο» και «Ντράφι Διονύσου» με την απαγορευτική, όμως, υπόμνηση για την τελευταία ότι εμπίπτει στο όριο των 13 χλμ. από τον αερολιμένα «Ελευθέριος Βενιζέλος». Τα τελικά συμπεράσματα της έρευνας υπό τον χαρακτηριστικό τίτλο «3.Προτεινόμενος Σχεδιασμός»έχουν ως εξής:

 1. Σταδιακή εφαρμογή της διαλογής στη πηγή με προτεραιότητα το χαρτί και το αλουμίνιο και κέντρα διαλογής υλικών (MRFs)

2. Κατασκευή μιάς δεύτερης μονάδας Μηχανικού Διαχωρισμού και Βιοσταθεροποίησης που είναι μια διαφορετική ονομασία του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ) με ένα δεύτερο χώρο υγειονομικής ταφής των υπολειμμάτων.

3. Κατασκευή μια Ολοκληρωμένης Εγκατάστασης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΟΕΔΑ) στην Ανατολική Αττική, η οποία περιγράφεται ως «Εγκατάσταση Ολοκληρωμένη Μονάδας ΜΔΒ με Χώρο Ταφής των Υπολειμμάτων».

4. Κατασκευή ενός ξεχωριστού ΧΥΤΑ, για τα μη επιδεχόμενα επεξεργασίας στερεά μη επικίνδυνα απόβλητα. [Σημειώνεται στο ζήτημα αυτό, ότι στο Πλαίσιο Περιφερειακού Σχεδιασμού (2001) τα απόβλητα αυτά αντί να κατευθύνονται σε ένα κεντρικό (για όλη την Αττική) ΧΥΤΑ επιλέχθηκε να κατευθύνονται (κατ' εφαρμογή της Αρχής της Εγγύτητας), προς τον πλησιέστερο από τους προβλεπόμενους ΧΥΤΑ της αντίστοιχης ΟΕΔΑ).

5. Κατασκευή μιας σύγχρονης, με δοκιμασμένη τεχνολογία, μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης του RDF που ανακτάται από τα εργοστάσια ανακύκλωσης – κομποστοποίησης μέγιστης δυναμικότητας 500 τόννων/ημέρα.

6. Εκπόνηση στοχοθετημένων ερευνητικών προγραμμάτων με αντικείμενο την περαιτέρω βελτίωση ανακτώμενων προϊόντων και τεχνολογιών.

ii. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγει και η επίσης εμπειριστατωμένη (τρίτομη) μελέτη που ολοκληρώθηκε το εκέμβριο του 1994 από ομάδα ειδικών επί του θέματος επιστημόνων για την Περιφέρεια Αττικής με τίτλο : «Μελέτη για τον καθορισμό Πολιτικών Διαχείρισης Αποβλήτων Τοπικής Αυτοδιοίκησης στην Περιφέρεια Αττικής.» Η μελέτη αυτή είναι θεματολογικά και γεωγραφικά ευρύτερη της προηγούμενης, καθώς επεκτείνεται σε όλες τις φάσεις διαχείρισης των απορριμμάτων και αναφέρεται σε όλη τη διοικητική έκταση της Περιφέρειας Αττικής. Τα τελικά συμπεράσματα της υπό τον τίτλο «9.10. Συγκεντρωτική παρουσίαση προτεινομένου διαχειριστικού πλαισίου», έχουν ως εξής (διατηρείται η αρίθμηση του πρωτότυπου κειμένου):

1. Αναβάθμιση της προσωρινής αποθήκευσης, συλλογής και μεταφοράς των απορριμμάτων με :

- Καθολική εφαρμογή της μηχανικής αποκομιδής
- Ανανέωση – επέκταση κάδων και containers
- Εκσυγχρονισμό του στόλου των απορριματοφόρων

2. Δημιουργία πέντε νέων Σταθμών Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (πλέον του λειτουργούντος στο Σχιστό) για τα απορρίμματα του Λεκανοπεδίου της Αθήνας που ταυτίζονται με αυτούς του Προγράμματος του ΕΣΔΚΝΑ, και τεσσάρων ακόμα περιφερειακών, συνολικής δυναμικότητας 3450 τόννων/ημέρα.

3. Κεντρική διαχείριση των παθογόνων νοσοκομειακών αποβλήτων με σύγχρονο αποτεφρωτήρα και σύστημα συλλογής

4. Ανάπτυξη της ανακύκλωσης με διαλογή στην πηγή χρήσιμων υλικών (και με Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών, ΚΔΑΥ ή MRFs) δυναμικότητας 420.000 τόννων/έτος.

5. Κατασκευή τριών κεντρικών ΧΥΤΑ (υτ. Αττική, Βόρεια Αττική, Ν-ΝΑ Αττική (Μεσόγεια)) και τοπικών ΧΥΤΑ στις επαρχίες Μεγαρίδας και Τροιζηνίας καθώς και στα νησιά Σαλαμίνα, Αίγινα, Αγκίστρι, Σπέτσες, Ύδρα και Κύθηρα.

6. Κατασκευή μονάδας παραγωγής εδαφοβελτιωτικού υλικού, δυναμικότητας 200.000 τόννων/έτος σε συνεργασία με πρόγραμμα συλλογής δύο ρευμάτων, ζυμώσιμων και μη ζυμώσιμων.

7. Πρόγραμμα υποστήριξης του όλου διαχειριστικού σχεδίου με άξονες την ενημέρωση του πολίτη, τη δημιουργία κέντρων πληροφόρησης, την εξασφάλιση επιστημονικής και τεχνικής βοήθειας, της επιδότησης φορέων.

8. Αποκατάσταση των παλαιών χώρων διάθεσης Άνω Λιοσίων και Σχιστού, κλείσιμο και αποκατάσταση των ανεξέλεγκτων χωματερών της Αττικής που δεν προσφέρονται για εξυγίανση και περαιτέρω λειτουργία τους ως ΧΥΤΑ και εκσυγχρονισμό όσων από αυτές μπορούν να συνεχίσουν την λειτουργία τους ως ΧΥΤΑ.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω η μόνη διαφοροποίηση της μελέτης αυτής από τους βασικούς στόχους του πλαισίου ΠεΣΔΑ, συνίσταται στην παντελή έλλειψη μονάδων μηχανικού διαχωρισμού

σύμμεικτων απορριμμάτων. Επί του σημείου αυτού παρατηρείται ότι παρόλο που ως μέθοδος διαχείρισης το σενάριο των δύο ρευμάτων (εν προκειμένω ζυμώσιμων και μη ζυμώσιμων) προσφέρεται έναντι αυτής των σύμμεικτων απορριμμάτων, είναι γεγονός ότι μέχρι το 1994, οπότε υποβλήθηκε το πρώτο Τεχνικό Δελτίο για τη χρηματοδότηση του έργου, περιορισμένη μόνο και ευκαιριακή χρήση εγένετο των κάδων μηχανικής αποκομιδής πράγμα που καθιστούσε ανέφικτη την εφαρμογή της μεθόδου.

iii. Η Μελέτη με τίτλο «Διαχείριση Απορριμμάτων Ανατολικής Αττικής – Εντοπισμός και Αξιολόγηση Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων και Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης» που εκπονήθηκε από το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (Μελετητές κ. Παπακυριακόπουλος κ.α.) για λογαριασμό της Νομ. Ανατολικής Αττικής. Η υπόψη μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει χώρος στη Νομ. Ανατολικής Αττικής για ΕΜΑΚ και ΧΥΤ των υπολειμμάτων του παρά μόνο μια θέση στο Γραμματικό για προσωρινή χρήση.

Σύμφωνα όμως με τους ίδιους τους μελετητές η θέση Κερατέα αποκλείεται με την παρακάτω αιτιολογία:

«Γεινίαση με ασυμβίβαστες χρήσεις ή δραστηριότητες, καθώς επίσης και με το λειτουργικό τους χώρο (ΚΑΠ – 2.4) λόγω γεινίασης με αρχαιολογική περιοχή , αν δε μετακινηθεί στα πλησιέστερα επιτρεπτά όρια, επέρχεται μείωση του χώρου και κατά συνέπεια μείωση της διάρκειας ζωής κατά το ήμισυ (10 χρόνια) και συνεπώς εμπίπτει στο κριτήριο αποκλεισμού λόγω επάρκειας χώρου (ΚΑΠ-3.1)».

Πέραν του γεγονότος ότι τα 10 έτη δεν μπορούσαν πλέον να τίθενται ως όριο αποκλεισμού, αποδεικνύεται σύμφωνα με εργασία των Τεχνικών υπηρεσιών του ΕΣΔΚΝΑ, ότι ο χώρος , ακόμη κι αν μετατοπιστεί, για να διαπλισασθεί το όριο προστασία από τη θέση «Οβριόκαστρο (ή «Αυρόκαστρο»), είναι επαρκέστατος (εμφανίζει χωρητικότητα για 30 χρόνια), όπως άλλωστε υποδηλώνεται και στη μνημονευθείσα μελέτη του Πανεπιστημίου Πατρών.

- Τον Αύγουστο του 2001 περαιώνεται η Μελέτη του Πλαισίου ΠεΣΔΑ Αττικής που εγκρίθηκε με μικρές τροποποιήσεις από το Περιφερειακό

Συμβούλιο Αττικής στη συνεδρίαση της 19/9/01. Η έγκριση εγένετο με μία μόνο αρνητική ψήφο, πολιτικού χαρακτήρα, αυτήν του Νομάρχη Ανατολικής Αττικής. Ως προς την περιοχή της Νομαρχίας Ανατολικής Αττικής, το πλαίσιο σχεδιασμού, αποδεχόταν τις κύριες προτάσεις του πλαισίου που πρότεινε η Νομαρχία. Πράγματι, διαφοροποιούμενο πλήρως από το Πρόγραμμα του ΕΣΔΚΝΑ που προέβλεπε τρεις ισοδύναμες ΟΕΔΑ περιφερειακά του Κεντρικού Λεκανοπεδίου της Αθήνας, υιοθετούσε την κατανομή: 75% των αστικών στερεών αποβλήτων της ηπειρωτικής Αττικής διατίθεται/αξιοποιείται στην ΟΕΔΑ Δυτ.Αττικής και το 25% στις δύο ΟΕΑ (από 12,5% στην κάθε μία) της Νομαρχίας Ανατολικής Αττικής. Η ακριβής, ανά μονάδα, κατανομή των απορριμμάτων φαίνεται στο σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί παρακάτω.

- Το 2003 εκπονήθηκε ο Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Απορριμμάτων Αττικής-Β' Στάδιο, ο οποίος υιοθέτησε τις προβλέψεις (στόχους, διαχείρισης, διαχειριστικές ενότητες, επιλεγόμενες μεθόδους διαχείρισης, απαιτούμενα έργα ανά διαχειριστική ενότητα, κριτήρια καταλληλότητας και αποκλεισμού, φορείς διαχείρισης) του Πλαισίου ΠεΣΔΑ (2001). Σε σχέση με τη χωροθέτηση ΟΕΔΑ στην Νότιο - Ανατολική Αττική, από τις τέσσερις συνολικά θέσεις που εξετάσθηκαν, προκρίθηκαν ως κατάλληλες και εντάχθηκαν προς βαθμολόγηση, δύο θέσεις. Από τις δύο αυτές θέσεις τη μεγαλύτερη βαθμολογία έλαβε η θέση «Βραγόνι-Κερατέα».
- Ο Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης στερεών αποβλήτων της Περιφέρειας Αττικής, ολοκληρώθηκε με το νόμο 3164/2003 (ΦΕΚ 176/Α').
- Σε συμμόρφωση με σχετική διάταξη της ΚΥΑ 50910/03, ο Πε.Σ.Δ.Α. αναθεωρήθηκε πρόσφατα, με την υπ'αρ. 319/Φ.Περ.Σ-Α/05-2006 Απόφαση του Γεν. Γρ. Περιφέρειας Αττικής. Η πιο πάνω, όμως, Απόφαση, έρχεται, σε βασικά σημεία της (ΦοΔΣΑ, Μέθοδοι επεξεργασίας), σε αντίθεση με την εγκεκριμένη Μελέτη στην οποία στηρίζεται, χωρίς σχετική αιτιολόγηση (βλ. οικείο Κεφάλαιο). Ειδικότερα η παράγραφος 3 που αναφέρεται στους ΦοΣΔΑ περιπλέκει το θέμα της

γεωγραφικής τους έκτασης και, μαζί με αυτό, και τη δυναμικότητα των τριών ΟΕΔΑ.

8.3. Το Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠεΣΔΑ) Περιφέρειας Αττικής

Το ΠεΣΔΑ Αττικής, εγκρίθηκε με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας Αττικής στις 22 Φεβρουαρίου 2006. Η έγκριση έγινε σύμφωνα με τα οριζόμενα στην ΚΥΑ 50910/2727/03 (ΦΕΚ 1909/Β/22-12-2003) βάσει τη σχετικής μελέτης που εκπονήθηκε. Η απόφαση αναφέρεται στους ποσοτικούς στόχους για την επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος και για την αξιοποίηση του κλάσματος των αποβλήτων συσκευασιών των Α.Σ.Α., όπως αυτοί προκύπτουν από την συνεισφορά της Περιφέρειας Αττικής στους αντίστοιχους εθνικούς στόχους, σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ). Ειδικότερα για τα Βιοποδομήσιμα Αστικά Απόβλητα (Β.Α.Α.) που οδηγούνται προς τελική διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α. προβλέπεται σταδιακή μείωσή τους με βάση το ακόλουθο χρονοδιάγραμμα:

- ✓ Έτος 2010: μείωση στο 75% των Β.Α.Α. που παράγονταν το 1995.
- ✓ Έτος 2013: μείωση στο 50% των Β.Α.Α. που παράγονταν το 1995.
- ✓ Έτος 2020: μείωση στο 35% των Β.Α.Α. που παράγονταν το 1995.

Επίσης όσον αφορά στα απόβλητα συσκευασίας, προβλέπεται σταδιακή αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης/αξιοποίησής τους σύμφωνα με το ακόλουθο χρονοδιάγραμμα:

[Μέχρι 31/12/2005](#) (Η ημερομηνία έχει παρέλθει αλλά παραμένει η απαίτηση ικανοποίησης του στόχου που έχει τεθεί από την νομοθεσία)

- ✓ Αξιοποίηση τουλάχιστον 50% κ.β. του συνόλου.
- ✓ Ανακύκλωση τουλάχιστον 25% κ.β. του συνόλου.

262

Ανακύκλωση τουλάχιστον 15% κ.β. κάθε υλικού συσκευασίας.

[Μέχρι 31/12/2011](#)

- ✓ Αξιοποίηση τουλάχιστον 60% κ.β. του συνόλου
- ✓ Ανακύκλωση τουλάχιστον 55% κ.β. του συνόλου
- ✓ Ανακύκλωση:
 - τουλάχιστον 60% κ.β. γυαλί

- τουλάχιστον 60% κ.β. χαρτί και χαρτόνι
- τουλάχιστον 50% κ.β. μέταλλα
- τουλάχιστον 22,5% κ.β. πλαστικά
- τουλάχιστον 15% κ.β. ξύλο

Οι στόχοι που αφορούν τα υλικά επεξεργασίας μπορεί να διαφοροποιηθούν εάν αυτό κριθεί σκόπιμο, από τον σχεδιασμό των εγκεκριμένων σχεδίων Συστημάτων Εναλλακτικής Διαχείρισης Αποβλήτων Υλικών Συσκευασίας σε Εθνικό Επίπεδο.

Στο σχεδιασμό για τη επεξεργασία των αποβλήτων λαμβάνονται υπ' όψιν οι ποσότητες που πρόκειται να ανακυκλώνονται μέσω προγραμμάτων Διαλογής στην Πηγή (ΔσΠ) που προβλέπει το Σύστημα Συλλογικής Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών ΣΣΕΔ– Ανακύκλωσης για την Περιφέρεια Αττικής. Επίσης για τον υπολογισμό των ποσοτήτων εκτροπής Β.Α.Α. θα πρέπει να συνυπολογίζονται και οι ποσότητες εκτροπής αποβλήτων χαρτιού, δεδομένου ότι το χαρτί είναι τόσο βιοποδομήσιμο όσο και απόβλητο προς αξιοποίηση.

Ως προς την διάρθρωση η Περιφέρεια Αττικής περιλαμβάνει δύο διαχειριστικές Ενότητες (Δ.Ε.). Η πρώτη αφορά στο σύνολο της Περιφέρειας Αττικής πλην των νήσων Κηθύρων και Αντικηθύρων και η δεύτερη αποτελείται από τα νησιά Κήθηρα και Αντικήθηρα.

- Έργα Τελικής Διάθεσης

Στην 1η Δ.Ε. (Αττική πλην νήσων Κυθήρων και Αντικυθήρων), εκτός από τον υφιστάμενο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων, ο οποίος σύντομα θα κλείσει, προβλέπονται 3 νέοι ΧΥΤΑ, ένας σε κάθε ΟΕΔΑ. Στη 2η διαχειριστική ενότητα προβλέπονται 2 ΧΥΤΑ για τα νησιά Κύθηρα και Αντικύθηρα.

- Σταθμοί Μεταφόρτωσης

Για τη μεταφορά δεν γίνεται αναφορά στην ανάγκη δημιουργίας νέων ΣΜΑ. Σύμφωνα όμως με τον τρέχοντα σχεδιασμό του ΕΣΔΚΝΑ προβλέπεται η λειτουργία 14 ΣΜΑ. Από αυτούς οι 7 αποτελούν μέρος του διασυνδεδεμένου δικτύου, 5 είναι τοπικοί σταθμοί που λειτουργούν οι ΟΤΑ και 2 εξυπηρετούν νησιά.

- Ανακύκλωση

Για διαλογή στην πηγή προβλέπονται, εκτός από το υφιστάμενο ΚΔΑΥ Αμαρούσιου, 3 νέα ΚΔΑΥ, από ένα στις 3 ΟΕΔΑ της 1ης Δ.Ε..

- Επεξεργασία

Εφαρμογή προγράμματος διαλογής στην πηγή του οργανικού (βιοαποδομήσιμου) κλάσματος των αποβλήτων και η κατασκευή μονάδων κομποστοποίησης για επεξεργασία αυτού με πιθανή ταυτόχρονη ενεργειακή αξιοποίηση. Η κλιμάκωση της εφαρμογής εξαρτάται από το/τους ΦοΔΣΑ.

Επεξεργασία σύμμεικτων ΑΣΑ (όσων έχουν μείνει μετά το πρόγραμμα εκτροπής επιλεγμένων κλασμάτων) προβλέπεται μόνο για την 1η Δ.Ε. (Αττική πλην νήσων Κυθήρων και Αντικυθήρων) στις ακόλουθες 3 ΟΕΔΑ:

ΟΕΔΑ Δ. Αττικής (δίχως να αναφέρονται δυναμικότητες)

- Χρήση του υφιστάμενου ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων, για όσο διάστημα λειτουργεί
- Νέο ΧΥΤΑ (στο . Φυλής) που θα διαδεχθεί τον ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων
- Νέο ΚΑΥ και διοικητική ένταξη υφιστάμενου ΚΑΥ Αμαρούσιου
- 1η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ (υφιστάμενο εργοστάσιο Αερόβιας Μηχανικής - Βιολογικής Επεξεργασίας)
- 2η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ, για την οποία όλες οι τεχνολογίες θεωρούνται κατάλληλες
- Μονάδα κομποστοποίησης προδιαλεγμένων οργανικών υλικών ή/και πρασίνων.

ΟΕΔΑ Β.Α. Αττικής στο Μαύρο Βουνό Γραμματικού (δίχως να αναφέρονται δυναμικότητες)

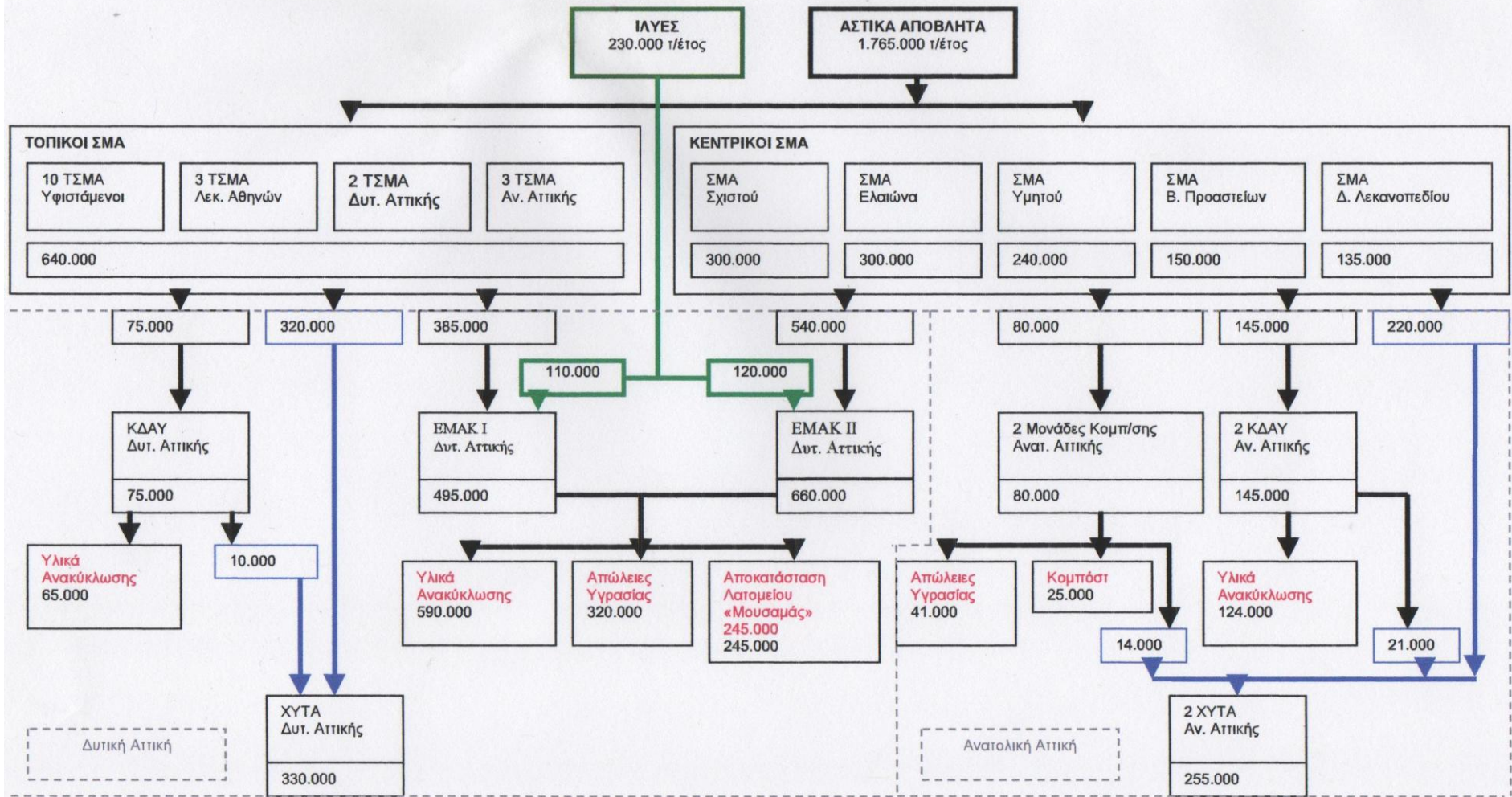
- ΧΥΤΑ που θα μετεξελιχθεί σε ΧΥΤΥ
- ΚΑΥ
- Μονάδα κομποστοποίησης προδιαλεγμένων οργανικών υλικών ή/και πρασίνων
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ, για την οποία όλες οι τεχνολογίες θεωρούνται οικονομικά βιώσιμες. Σημειώνεται ότι έχει ήδη εκπονηθεί ΜΠΕ και έχουν ήδη εγκριθεί οι περιβαλλοντικοί όροι για ίδρυση μονάδας βιολογικής ξήρανσης ως προεπεξεργασία με διάθεση του παραγόμενου SRF στο ΧΥΤΑ.

ΟΕΔΑ Ν.Α. Αττικής στη Κερατέα (δίχως να αναφέρονται δυναμικότητες)

- ΧΥΤΑ που θα μετεξελιχθεί σε ΧΥΤΥ.
- ΚΑΥ
- Μονάδα κομποστοποίησης προδιαλεγμένων οργανικών υλικών ή/και πρασίνων

-Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ, για την οποία όλες οι τεχνολογίες θεωρούνται οικονομικά βιώσιμες. Σημειώνεται ότι έχει ήδη εκπονηθεί ΜΠΕ και έχουν ήδη εγκριθεί οι περιβαλλοντικοί όροι για ίδρυση μονάδας βιολογικής ξήρανσης ως προεπεξεργασία με διάθεση του παραγόμενου SRF στο ΧΥΤΑ.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

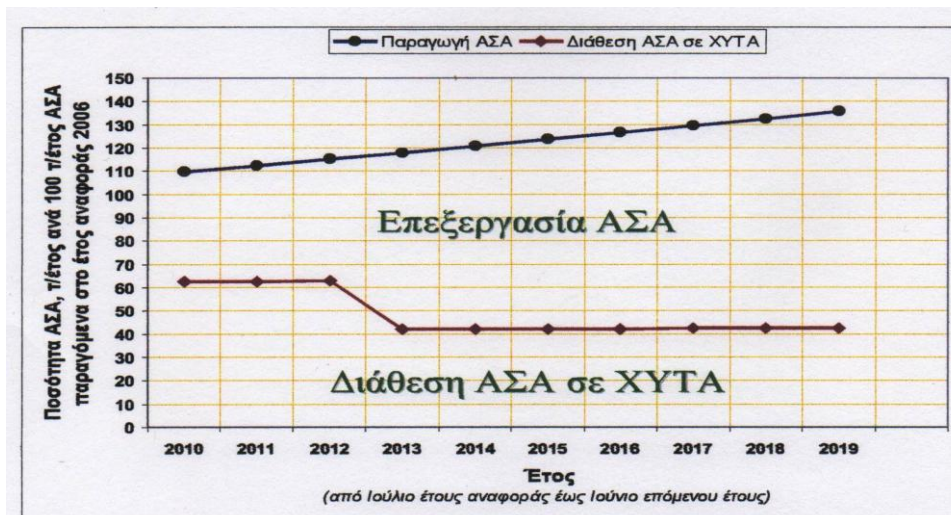
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

9.1. Απαιτήσεις επεξεργασίας απορριμμάτων

Καθώς αρχίζει η ισχύς των αυστηρών απαιτήσεων ανακύκλωσης, αξιοποίησης και επεξεργασίας των ΑΣΑ, η χώρα μας καλείται να πάρει ωρθολογικές αποφάσεις σε περίπλοκα τεχνικά θέματα με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές προεκτάσεις καθώς και νέες δαπανηρές εγκαταστάσεις πρέπει να ιδρυθούν. Από τις βασικότερες αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν, είναι αυτή που αφορά στην επιλογή των μεθόδων επεξεργασίας και του συνδυασμού αυτών, διότι επηρεάζει καθοριστικά το συνολικό κόστος της διαχείρισης. Η απόφαση αυτή αφορά επίσης στην ποσότητα και στην ποιότητα των προς ανάκτηση υλικών, τον τύπο και την ποιότητα των παραγομένων προϊόντων, αλλά και τις ποσότητες των αχρήστων που πρέπει να διατεθούν.

Τα παραπάνω πρέπει να ληφθούν υπόψη σε σχέση με τις απαιτήσεις που πηγάζουν από τις οδηγίες της Ε.Ε. όπως η 75/442/EEC (προτεραιότητες διαχείρισης), η 94/62/EC όπως αναθεωρήθηκε από την 2004/12/EC (εναλλακτική διαχείριση υλικών συσκευασίας) και η 99/31/EC (περιορισμοί σε ποσότητες των οργανικών υλικών που μπορεί να διατεθούν σε ΧΥΤΑ).

Αν ληφθούν υπόψη: (α) η αύξηση της ποσότητας των απορριμμάτων που τυπικά ανέρχεται σε 2,5 % ετησίως, και (β) ο σταδιακός περιορισμός των ποσοτήτων του οργανικού (βιοαποδομήσιμου) κλάσματος των αποβλήτων, που σύμφωνα με τη νομοθεσία επιτρέπεται να διατίθεται σε ΧΥΤΑ και (γ) η υποχρέωση ανακύκλωσης 60 % χαρτιού και χαρτονιού, που αποτελούν και μέρος του οργανικού κλάσματος, μπορεί κανείς να δείξει ότι, χονδρικά, από το 2010 και μετά είναι σύννομη η απ' ευθείας ταφή του 56 % των ΑΣΑ, από το 2013 του 35 % των ΑΣΑ και από το 2020 του 18 % των ΑΣΑ. Το παρακάτω διάγραμμα παρέχει την χρονική εξέλιξη των παραγομένων ποσοτήτων ΑΣΑ και αυτών που μπορεί να διατεθούν απ' ευθείας σε ΧΥΤΑ δίχως επεξεργασία ανά 100 τ/έτος παραγομένων ΑΣΑ στο έτος αναφοράς 2006.



Σχήμα 9.1: Ετήσιες ποσότητες παραγομένων ΑΣΑ και ετήσιες ποσότητες ΑΣΑ που μπορούν να διατεθούν απ' ευθείας σε ΧΥΤΑ ανά 100 τίτλους παραγομένων στο έτος αναφοράς 2006

9.2. Εθνικός σχεδιασμός για την διαχείριση των απορριμμάτων οικιακού τύπου

9.2.1. Εθνικός σχεδιασμός 2000

Αν αναζητήσει κανείς την πορεία προς τη σημερινή κατάσταση διαχείρισης των οικιακού τύπου απορριμμάτων θα παρατηρήσει ότι ο σχεδιασμός της διαχείρισης ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990 σε Νομαρχιακό επίπεδο. Τούτο θα ήταν λογικό μερικές δεκαετίες νωρίτερα, όταν το κόστος διαχείρισης ήταν μικρό και οι επερχόμενες ριζικές αλλαγές άγνωστες. Έγκαιρα όμως ήταν γνωστές οι επερχόμενες αυστηρές απαιτήσεις για ανακύκλωση, επεξεργασία και διάθεση και η συνεπαγόμενη σημαντική αύξηση του κόστους της διαχείρισης. Υπό τις παραπάνω συνθήκες θα ήταν προφανής η ανάγκη ολοκληρωμένου και ορθολογικού σχεδιασμού.

Η χώρα μας όμως δεν προσαρμόστηκε στις εξελίξεις αυτές και έτσι οργάνωσε τη διαχείριση στη μικροκλίμακα της Νομαρχίας με λογική βαθύτατα επηρεασμένη από το απλοϊκό σύνδρομο της διαχείρισης σε επίπεδο ΟΤΑ. Ο σχεδιασμός δεν υπήρξε ολοκληρωμένος μια και βασικός στόχος υπήρξε η εξάλειψη των ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης δίχως τεκμηριωμένη βελτιστοποίηση και χωρίς πρόβλεψη για την ανάγκη κάλυψης των επερχόμενων απαιτήσεων επεξεργασίας, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί συντεταγμένη μετάβαση

από τους υφιστάμενους ΧΥΤΑ σε ΟΕΔΑ. Αποτέλεσμα των σχεδιασμών αυτών υπήρξε η ίδρυση πολυάριθμων ΧΥΤΑ σε εθνικό επίπεδο. Ο ενδιάμεσος Εθνικός Σχεδιασμός του 1998 προωθούσε την κατασκευή 75 ΧΥΤΑ για εξυπηρέτηση του 75 % του πληθυσμού. Το 85 % των ΧΥΤΑ αυτών είχαν δυναμικότητα μικρότερη από 50 τόνους την ημέρα.

Ο Εθνικός Σχεδιασμός του 2000, που προέκυψε από τη σύνθεση των Νομαρχιακών, προέβλεπε τη δημιουργία 124 ΧΥΤΑ (70 στην Ηπειρωτική Ελλάδα, 11 στην Κρήτη και 43 στα υπόλοιπα νησιά. Από αυτούς, η συντριπτική πλειοψηφία είχε δυναμικότητα μικρότερη από 50 τόνους την ημέρα. Ο σχεδιασμός αυτός διαφέρει ριζικά από τα χαρακτηριστικά του ορθολογικού εθνικού σχεδιασμού και δημιουργεί σειρά προβλημάτων, όπως για παράδειγμα:

- Οι πολυπληθείς μικροί ΧΥΤΑ δεν παρέχουν την αναγκαία οικονομία κλίμακας με αποτέλεσμα το κόστος διάθεσης των απορριμμάτων σε αυτούς να είναι πολλαπλάσιο από όσο το κόστος μεταφοράς και τελικής διάθεσης σε μεγάλους κεντρικούς ΧΥΤΑ.
- Στη μεγάλη πλειοψηφία των υφιστάμενων ΧΥΤΑ, είτε δεν υπάρχουν συστήματα ελέγχου διασταλαγμάτων και βιοαερίου, είτε είναι ασύμφορη η λειτουργία τους λόγω μικρού μεγέθους. Προφανώς, και παρά τις μεγάλες δαπάνες που έχουν γίνει, οι ΧΥΤΑ αυτοί λίγο διαφέρουν ως προς το περιβαλλοντικό αποτέλεσμα από τους ανεξέλεγκτους χώρους διάθεσης (χωματερές) τους οποίους αντικαθιστούν.
- Οι πολυπληθείς μικροί ΧΥΤΑ που πρόσφατα έγιναν, και θα συνεχίσουν να γίνονται μέχρι το τέλος του 2008, δεν μπορούν να μετεξελιχθούν από το 2010 και ύστερα σε ΟΕΔΑ, έτσι ώστε να τηρηθούν οι απαιτήσεις επεξεργασίας, μια και το κόστος επεξεργασίας σε πολυπληθείς μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις είναι απαγορευτικό.
- Πολλοί ΧΥΤΑ είναι χωροθετημένοι σε μικρή απόσταση από κατοικημένες περιοχές με αποτέλεσμα τις συχνά μαζικές και έντονες αντιδράσεις των κατοίκων, πολυπληθείς προσφυγές στο Σ.τ.Ε. και καθυστερήσεις στην εφαρμογή. Στην Ηπειρωτική Ελλάδα

αντιστοιχεί ένας τουλάχιστον ΧΥΤΑ για κάθε πόλη με πληθυσμό μεγαλύτερο από 9.000 κατοίκους.

9.2.2. Προβλήματα εθνικού σχεδιασμού 2000

Ο σχεδιασμός της διαχείρισης των οικιακού τύπου απορριμμάτων θεσμοθετήθηκε πριν είκοσι χρόνια, με αφετηρία το επαρχιακό επίπεδο (ΚΥΑ 49541/86) και μετά, πριν από δέκα περίπου χρόνια, σε Νομαρχιακό επίπεδο (ΚΥΑ 58726/96). Το τελευταίο θα ήταν λογικό μερικές δεκαετίες νωρίτερα, όταν το κόστος διαχείρισης ήταν μικρό και οι επερχόμενες αυστηρές απαιτήσεις για ανακύκλωση, επεξεργασία και διάθεση γνωστές. Η χώρα μας όμως αγνόησε τις εξελίξεις και οργάνωσε τη διαχείριση στη μικροκλίμακα της Νομαρχίας με λογική βαθύτατα επηρεασμένη από το απλοϊκό σύνδρομο της διαχείρισης σε επίπεδο ΟΤΑ. Ο σχεδιασμός δεν υπήρξε ολοκληρωμένος, μια και βασικός στόχος υπήρξε η εξάλειψη των ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης, δίχως πρόβλεψη για την ανάγκη κάλυψης των επερχόμενων απαιτήσεων επεξεργασίας, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί συντεταγμένη μετάβαση από τους αρχικούς χώρους υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) σε ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις διάθεσης απορριμμάτων (ΟΕΔΑ).

Αποτέλεσμα των σχεδιασμών αυτών υπήρξε η προώθηση πολυάριθμων ΧΥΤΑ. Ο Εθνικός Σχεδιασμός του 2000 (Κ.Υ.Α. 14312/1302 ΦΕΚ 723 Β'/9.6.2000 και 26469/1501/Ε103 ΦΕΚ 864 Β'/1.7.2003), που διαμορφώθηκε από τη σύνθεση των νομαρχιακών, προέβλεπε τη δημιουργία 124 ΧΥΤΑ (70 στην Ηπειρωτική Ελλάδα, 11 στην Κρήτη και 43 στα υπόλοιπα νησιά. Από αυτούς, η συντριπτική πλειοψηφία είχε δυναμικότητα πολύ μικρή, μικρότερη από 50 τόνους την ημέρα.

Ο σχεδιασμός αυτός υπήρξε δαπανηρός (το ανά τόνο κόστος διάθεσης είναι υψηλό σε μικρούς ΧΥΤΑ λόγω έλλειψης οικονομίας κλίμακας), αδυνατούσε, στις περισσότερες περιπτώσεις να προστατεύσει το περιβάλλον (η ορθή διαχείριση διασταλαγμάτων και βιοαερίου δεν είναι οικονομικά εφικτή σε μικρούς ΧΥΤΑ), δεν είχε μέλλον (οι πολυάριθμοι μικροί ΧΥΤΑ δεν μπορούν να μετεξελιχθούν σε ΟΕΔΑ προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτήσεις επεξεργασίας από το 2010) και δημιούργησε εντονότερες κοινωνικές αντιδράσεις και προσφυγές στο Σ.τ.Ε. (σε κάθε πόλη με πληθυσμό μεγαλύτερο από 9.000 αντιστοιχούσε ένας τουλάχιστον ΧΥΤΑ).

9.2.3. Περιφερειακοί Σχεδιασμοί 2005 / 2006

Για τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω, η υλοποίηση των έργων που προέβλεπαν οι Νομαρχιακοί σχεδιασμοί κρίθηκε στην πράξη ιδιαίτερα δαπανηρή και προωθήθηκε η διαμόρφωση σχεδίων σε Περιφερειακό επίπεδο. Η ανάγκη διαμόρφωσης Περιφερειακών σχεδιασμών επισημάνθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ (π.χ. εγκύκλιος Η.Π.11836/1951/27.6.2002) και θεσμοθετήθηκε με την ισχύουσα νομοθεσία, σύμφωνα με την οποία, οι ΠΕΣΔΑ (Περιφερειακοί Σχεδιασμοί Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων) θα έπρεπε να έχουν εγκριθεί μέχρι τις 22/12/2005. Μέχρι τα τέλη Μαΐου 2006 είχαν εγκριθεί και ήταν διαθέσιμοι μόνο 8 από τους 13 ΠΕΣΔΑ. Εμείς θα αναφερθούμε ειδικότερα στον ΠΕΣΔΑ Αττικής:

Στοιχεία ΠΕΣΔΑ Αττικής

• Έργα Τελικής Διάθεσης

Στην 1η Δ.Ε. (Αττική πλην νήσων Κυθήρων και Αντικυθήρων), εκτός από τον υφιστάμενο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων, ο οποίος σύντομα θα κλείσει, προβλέπονται 3 νέοι ΧΥΤΑ, ένας σε κάθε ΟΕΔΑ. Στη 2η διαχειριστική ενότητα προβλέπονται 2 ΧΥΤΑ για τα νησιά Κύθηρα και Αντικύθηρα.

• Σταθμοί Μεταφόρτωσης

Για τη μεταφορά δεν γίνεται αναφορά στην ανάγκη δημιουργίας νέων ΣΜΑ. Σύμφωνα όμως με τον τρέχοντα σχεδιασμό του ΕΣΔΚΝΑ προβλέπεται η λειτουργία 14 ΣΜΑ. Από αυτούς οι 7 αποτελούν μέρος του διασυνδεδεμένου δικτύου, 5 είναι τοπικοί σταθμοί που λειτουργούν οι ΟΤΑ και 2 εξυπηρετούν νησιά.

• Ανακύκλωση

Για διαλογή στην πηγή προβλέπονται, εκτός από το υφιστάμενο ΚΔΑΥ Αμαρούσιου, 3 νέα ΚΔΑΥ, από ένα στις 3 ΟΕΔΑ της 1ης Δ.Ε..

• Επεξεργασία

Εφαρμογή προγράμματος διαλογής στην πηγή του οργανικού (βιοαποδομήσιμου) κλάσματος των αποβλήτων και η κατασκευή μονάδων κομποστοποίησης για επεξεργασία αυτού με πιθανή ταυτόχρονη ενεργειακή αξιοποίηση. Η κλιμάκωση της εφαρμογής εξαρτάται από το/τους ΦοΔΣΑ.

Επεξεργασία σύμμεικτων ΑΣΑ (όσων έχουν μείνει μετά το πρόγραμμα εκτροπής επιλεγμένων κλασμάτων) προβλέπεται μόνο για την 1η Δ.Ε. (Αττική πλην νήσων Κυθήρων και Αντικυθήρων) στις ακόλουθες 3 ΟΕΔΑ:

ΟΕΔΑ Δ. Αττικής (δίχως να αναφέρονται δυναμικότητες)

- Χρήση του υφιστάμενου ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων, για όσο διάστημα λειτουργεί
- Νέο ΧΥΤΑ (στο Δ. Φυλής) που θα διαδεχθεί τον ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων
- Νέο ΚΔΑΥ και διοικητική ένταξη υφιστάμενου ΚΔΑΥ Αμαρούσιου
- 1η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ (υφιστάμενο εργοστάσιο Αερόβιας Μηχανικής - Βιολογικής Επεξεργασίας)
- 2η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ, για την οποία όλες οι τεχνολογίες θεωρούνται κατάλληλες
- Μονάδα κομποστοποίησης προδιαλεγμένων οργανικών υλικών ή/και πρασίνων.

ΟΕΔΑ Β.Α. Αττικής στο Μαύρο Βουνό Γραμματικού (δίχως να αναφέρονται δυναμικότητες)

- ΧΥΤΑ που θα μετεξελιχθεί σε ΧΥΤΥ
- ΚΔΑΥ
- Μονάδα κομποστοποίησης προδιαλεγμένων οργανικών υλικών ή/και πρασίνων
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ, για την οποία όλες οι τεχνολογίες θεωρούνται οικονομικά βιώσιμες. Σημειώνεται ότι έχει ήδη εκπονηθεί ΜΠΕ και έχουν ήδη εγκριθεί οι περιβαλλοντικοί όροι για ίδρυση μονάδας βιολογικής ξήρανσης ως προεπεξεργασία με διάθεση του παραγόμενου SRF στο ΧΥΤΑ.

ΟΕΔΑ Ν.Α. Αττικής στη Κερατέα (δίχως να αναφέρονται δυναμικότητες)

- ΧΥΤΑ που θα μετεξελιχθεί σε ΧΥΤΥ.
- ΚΔΑΥ
- Μονάδα κομποστοποίησης προδιαλεγμένων οργανικών υλικών ή / και πρασίνων
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας Σύμμεικτων ΑΣΑ, για την οποία όλες οι τεχνολογίες θεωρούνται οικονομικά βιώσιμες. Σημειώνεται ότι έχει ήδη εκπονηθεί ΜΠΕ και έχουν ήδη εγκριθεί οι περιβαλλοντικοί όροι για ίδρυση μονάδας βιολογικής ξήρανσης ως προεπεξεργασία με διάθεση του παραγόμενου SRF στο ΧΥΤΑ.

9.3. Κριτική θεώρηση Περιφερειακών σχεδιασμών

Η μη διαθεσιμότητα εγκεκριμένων ΠΕΣΔΑ για όλες τις Περιφέρειες κατέστησε αναγκαία τη χρήση συμπληρωματικών στοιχείων από τον εθνικό σχεδιασμό του 2000, όπως επικαιροποιήθηκε το 2003, αλλά και από άλλες πηγές. Παρ' όλα αυτά θεωρήθηκε αναγκαία η έγκαιρη ανάλυση της κατάστασης που διαμορφώνεται με τους νέους ΠΕΣΔΑ διότι από τη μια μεριά διαπιστώνεται η δυνατότητα σημαντικής βελτίωσης ορισμένων θεμάτων του σχεδιασμού και από την άλλη μεριά οι επιμέρους ελλείψεις δεν είναι δυνατόν να επηρεάσουν τα γενικά συμπεράσματα που εξάγονται.

Το βασικότερο χαρακτηριστικό των ΠΕΣΔΑ είναι η ασάφεια με την οποία συχνά ορίζουν αυτά που πρέπει να γίνουν. Ιδιαίτερη ασάφεια χαρακτηρίζει τις βασικές μονάδες επεξεργασίας σε ότι αφορά τις τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν, τους χρόνους έναρξης εκάστης, τις ποσότητες αχρήστων και προϊόντων και τον τρόπο διάθεσης ή αξιοποίησής τους κτλ. Ασάφεια συχνά χαρακτηρίζει και το γενικότερο πλαίσιο διαχείρισης σε ότι αφορά τον ακριβή τρόπο επίτευξης των στόχων που θέτει η Ε.Ε. για μείωση των οργανικών και ανακύκλωση υλικών. Επίσης, το πρόγραμμα ανάπτυξης των ΧΥΤΑ δεν φαίνεται να συσχετίζεται ιδιαίτερα από το πρόγραμμα επεξεργασίας των ΑΣΑ.

Αξιοσημείωτο είναι τέλος το γεγονός ότι για τη λήψη όλων των παραπάνω κρίσιμων αποφάσεων εξουσιοδοτούνται οι ΦοΔΣΑ, που και αυτοί στις περισσότερες περιπτώσεις θα οριστούν με αποφάσεις της Περιφέρειας στο μέλλον.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει με συνοπτικό τρόπο βασικά στοιχεία των Περιφερειακών Σχεδιασμών σε ότι αφορά τον αριθμό των μονάδων μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης. Με βάση τους διαθέσιμους ΠΕΣΔΑ, αλλά και τα αναλυτικότερα στοιχεία από συναφείς μελέτες που συμβαίνει να είναι διαθέσιμα, επιχειρείται μια κριτική θεώρηση των Περιφερειακών σχεδιασμών, επιμέρους και συνολικά, και τα συμπεράσματα συνοψίζονται παρακάτω.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Πληθ.(2001)	ΧΥΤΑ		ΣΜΑ	Μονάδες Επεξεργασίας	
		Έως 1999	Νέοι		Έως Σήμερα	Νέες

Α. Μακεδ. & Θράκης*	611.067	2	6	10		1
Κεντρικής Μακεδονίας	1.874.214		16	18		7
Δυτικής Μακεδονίας*	301.522		1	9		1
Ηπείρου*	353.820		7	12		-
Θεσσαλίας*	753.888	2	7	18		1
Ιονίων Νήσων*	212.984	2	5	3		1
Δυτικής Ελλάδας	740.506	1	8	9		3
Στερεάς Ελλάδας	605.329	2	9	>18-14		5
Αττικής	3.761.810	1	2	14	1	6
Πελοποννήσου	638.942		7	>8	1	1
Βορείου Αιγαίου	206.121	1	7	5-6		5
Νοτίου Αιγαίου	302.686		32-39	0-7		-
Κρήτης	601.131	3	9	10	1	1
Σύνολο		14	117-224	129-143	3	32

* Στοιχεία από Εθνικό Σχεδιασμό 2000 και άλλες πηγές

Πίνακας 9.1: Επιλεγμένα στοιχεία από Περιφερειακούς Σχεδιασμούς 2005

Για τους παραπάνω λόγους, η υλοποίηση των έργων που προέβλεπαν οι Νομαρχιακοί σχεδιασμοί κρίθηκε στην πράξη μη αποδοτική και προωθήθηκε η διαμόρφωση νέων σχεδιασμών σε Περιφερειακό επίπεδο, αρχικά μεν με εγκυκλίους του ΥΠΕΧΩΔΕ, και στη συνέχεια νομοθετικά (Κ.Υ.Α. 50910/2727 ΦΕΚ 1909/22.12.2003). Θεσμοθετήθηκε έτσι η υποχρέωση σύνταξης Περιφερειακών Σχεδίων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠΕΔΣΑ) μέχρι το τέλος του 2005. Όπως όμως προκύπτει από την συζήτηση που ακολουθεί, οι νέοι ΠΕΣΔΑ όχι μόνο δεν έλυσαν τα προβλήματα των νομαρχιακών σχεδιασμών, αλλά προσθέσανε νέα και πολύ σοβαρότερα. Αναλυτικότερα:

➤ ΧΥΤΑ

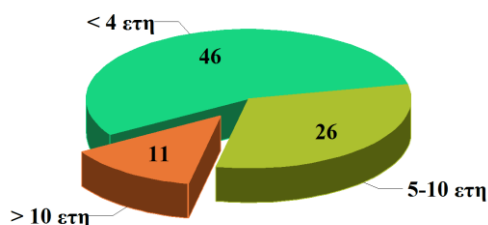
Ο υπερβολικός αριθμός ΧΥΤΑ που προβλεπόταν στους Νομαρχιακούς σχεδιασμούς αυξήθηκε αντί να μειωθεί. Συνεπώς, τα σχετικά προβλήματα των Νομαρχιακών σχεδιασμών μεταφέρθηκαν και στους τρέχοντες Περιφερειακούς σχεδιασμούς.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΕΣ	Νομαρχιακοί Σχεδιασμοί 2000	Περιφερειακοί Σχεδιασμοί 2005
Ηπειρωτική Ελλάδα (5 από 8 Περιφέρειες)		
Κεντρική Μακεδονία	11	16
Δυτική Ελλάδα	10	9
Στερεά Ελλάδα	11	11
Αττική	1	3
Πελοπόννησος	10	7
Νησιά (3 από 4 Περιφέρειες)		
Κρήτη	11	12
Βόρειο Αιγαίο	6	8
Νότιο Αιγαίο	32	32-39
Σύνολο	92	98-105

Πίνακας 9.2: Σύγκριση αριθμού προβλεπόμενων ΧΥΤΑ από Νομαρχιακούς Σχεδιασμούς 2000 και Περιφερειακούς σχεδιασμούς 2005

Καθίσταται επομένως προφανές ότι ο εξορθολογισμός των δαπανηρών Νομαρχιακών σχεδιασμών, που αποτέλεσε το βασικό σκοπό, για τον οποίο το ΥΠΕΧΩΔΕ προώθησε το σχεδιασμό σε Περιφερειακό επίπεδο δεν επιτεύχθηκε. Έτσι, τα προβλήματα των Νομαρχιακών σχεδιασμών, μεταφέρονται αυτούσια και στους τρέχοντες Περιφερειακούς σχεδιασμούς.

Αξιοσημείωτο είναι ότι από τους υφιστάμενους ΧΥΤΑ, περιορισμένος μόνο αριθμός έχει ηλικία μεγαλύτερη των 5 ετών και αρκετοί από αυτούς ευρίσκονται στο στάδιο της επέκτασης ή/και αναβάθμισης (βλέπε π.χ. ΧΥΤΑ Περιφέρειας Κρήτης). Περισσότεροι από το 60 % του συνολικού αριθμού των ΧΥΤΑ πρόκειται να ιδρυθούν τα επόμενα χρόνια με στόχο την έναρξη λειτουργίας έως το τέλος του 2008. Προκύπτει επομένως ότι το σύνολο της υποδομής των ΧΥΤΑ είναι νέο. Δεδομένου ότι ο τυπικός σχεδιασμός καλύπτει το σύνολο των ΑΣΑ της περιοχής μελέτης και εξασφαλίζει, με τις προβλεπόμενες επεκτάσεις, επάρκεια χωρητικότητας τουλάχιστον για 20 χρόνια, η συντριπτική πλειοψηφία της υποδομής σε ΧΥΤΑ που θα έχει δημιουργηθεί μέχρι το 2008 έχει δυνατότητα κάλυψης των αναγκών τελικής διάθεσης των ΑΣΑ πολύ πέρα από το 2020.



Σχήμα 9.2: Εκτιμώμενη κατανομή ηλικιών ΧΥΤΑ Ηπειρωτικής Ελλάδας και Κρήτης κατά το έτος 2010

	Αριθμός	Ηλικία το 2010 [έτη]
Ηπειρωτική Ελλάδα και Κρήτη		
Σε λειτουργία το 1999	11	>10
Πρόσθετα σε λειτουργία ως το 2005	26	5-10
Υπό κατασκευή το 2005	5	<5
Πρόσθετα μέχρι τέλος 2008	41	<3
Σύνολο	83	7
Σύνολο Χώρας		
Σε λειτουργία το 1999	14	>10
Πρόσθετα σε λειτουργία ως το 2005	26	5-10
Υπό κατασκευή το 2005	5	<5
Πρόσθετα μέχρι τέλος 2008	86-93	<3
Σύνολο	131-138	

Πίνακας 9.3: Κατανομή ηλικιών των ΧΥΤΑ που προβλέπεται να λειτουργούν σε όλη τη χώρα το 2010

➤ Σταθμοί μεταφόρτωσης

Οι σταθμοί μεταφόρτωσης θεωρούνται, τώρα, από τη νομοθεσία δευτερεύουσες εγκαταστάσεις και από τους ΠΕΣΔΑ απαιτείται απλή αναφορά του προβλεπόμενου αριθμού τους, δίχως περαιτέρω τεκμηρίωση. Παρά ταύτα, με βάση τα προκαταρκτικά αυτά στοιχεία προωθείται η δημιουργία έργων με εγκρίσεις χρηματοδοτήσεων και εκτέλεση των αναγκαίων μελετών «ωρίμανσης».

Για τις περιφέρειες που είναι διαθέσιμα τα εγκεκριμένα ΠΕΣΔΑ, απλή και μόνο θεώρηση της κατάστασης, φανερώνει ότι ο αριθμός των προβλεπόμενων σταθμών μεταφόρτωσης είναι πολλαπλάσιος του ορθολογικού. Οι περισσότεροι ΣΜΑ δέχονται μικρά ημερήσια φορτία, μερικοί μικρότερα και από το ωφέλιμο

φορτίο ενός απορριμματοφόρου ή/και μεταφέρουν τα απορρίμματα σε πολύ μικρές αποστάσεις. Υπάρχει επίσης γενικότερο πρόβλημα έλλειψης ορθολογικού ορισμού των περιοχών εξυπηρέτησης και των διαδρομών μεταφοράς.

Ιδιαίτερα εμφανής είναι η έλλειψη ενός ολοκληρωμένου συστήματος οδικής, σιδηροδρομικής και θαλάσσιας μεταφοράς, που περιορίζει σημαντικά τις δυνατότητες διαχείρισης σε εθνικό επίπεδο και συνδέεται στενά με τα υφιστάμενα πολυάριθμα τοπικά προβλήματα διαχείρισης.

➤ **Εγκαταστάσεις επεξεργασίας**

Ο προβλεπόμενος αριθμός 35 μονάδων επεξεργασίας, είναι υπερβολικός, πενταπλάσιος με δεκαπλάσιος από τον βέλτιστο. Αποτέλεσμα τούτου είναι το υπερβολικό κόστος επεξεργασίας λόγω έλλειψης οικονομίας κλίμακας.

Σε ότι αφορά τη χρήση τεχνολογιών για τις βασικές μονάδες επεξεργασίας, τους χρόνους έναρξης εκάστης, τις ποσότητες αχρήστων και προϊόντων και τον τρόπο διάθεσης ή αξιοποίησης αυτών, τα ΠΕΣΔΑ χαρακτηρίζονται, σε γενικές γραμμές, από ασάφεια. Χαρακτηριστικό είναι και το γεγονός ότι το πρόγραμμα ανάπτυξης των ΧΥΤΑ γίνεται χωρίς εμφανή συσχέτιση με το πρόγραμμα επεξεργασίας των ΑΣΑ.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η αναφερόμενη αξιολόγηση των εναλλακτικών τεχνολογιών επεξεργασίας είναι γενική με αυτοαναιρούμενες αναφορές όπως: «από τα ποσοτικά δεδομένα παραγωγής των ΑΣΑ προκύπτει ότι όλες οι τεχνολογίες επεξεργασίας - αξιοποίησης ΑΣΑ είναι αποδεκτές και μπορούν να εφαρμοστούν από πλευράς βιωσιμότητας». Η διατύπωση αυτή επαναλαμβάνεται στερεότυπα ακόμη και όταν οι ποσότητες είναι τόσο μικρές που αποκλείουν κάποιες μεθόδους (π.χ. καύση). Θεσμοθετείται επίσης, χωρίς τεκμηρίωση, η απαίτηση περί «θερμικής αξιοποίησης των ΑΣΑ», στην οποία περιλαμβάνεται και η καύση.

Λόγω της ασάφειας των ΠΕΣΔΑ, δεν μπορούν να εξαχθούν άμεσα στοιχεία σε ότι αφορά την επιλογή των τεχνολογιών επεξεργασίας. Η χρήση όμως της βιολογικής ξήρανσης εμφανίζεται πιθανή στις περισσότερες περιφέρειες. Η τεχνολογία αυτή προκρίνεται απ' ευθείας στο ΠΕΣΔΑ Πελοποννήσου. Επίσης, αν και δεν αναφέρεται η επιλογή τεχνολογιών στο ΠΕΣΔΑ Αττικής, η δημιουργία μονάδων βιολογικής ξήρανσης έχει ήδη «ωριμάσει» από το 2004 με ΜΠΕ και έγκριση των περιβαλλοντικών όρων για τις ΟΕΔΑ Γραμματικού και Κερατέας.

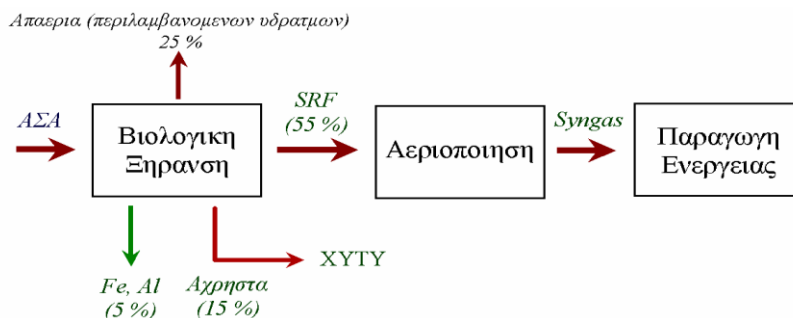
➤ Απαιτήσεις επεξεργασίας, νέοι ΧΥΤΑ και βιολογική ξήρανση

Από την παράθεση των βασικών χαρακτηριστικών των ΠΕΣΔΑ που προηγήθηκε εντύπωση προκαλούν τα ακόλουθα:

- Η σαφής τάση επεξεργασίας του συνόλου σχεδόν των ΑΣΑ από το 2010, με κύρια εξαίρεση την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και Θράκης. Οι απαιτήσεις επεξεργασίας όμως είναι περιορισμένες και κλιμακώνονται σταδιακά. Η υπέρβαση αυτή συνεπάγεται βαρύτατη οικονομική επιβάρυνση, η οποία ούτε καν αναφέρεται στα ΠΕΣΔΑ και βέβαια δεν δικαιολογείται.
- Υπάρχει προφανής αντίφαση μεταξύ της ευρύτατης ανάπτυξης της υποδομής σε ΧΥΤΑ έως το τέλος του 2008 και της τάσης επεξεργασίας του συνόλου σχεδόν των ΑΣΑ από το 2010, που λογικά συνεπάγεται δραστική μείωση των αναγκών διάθεσης.

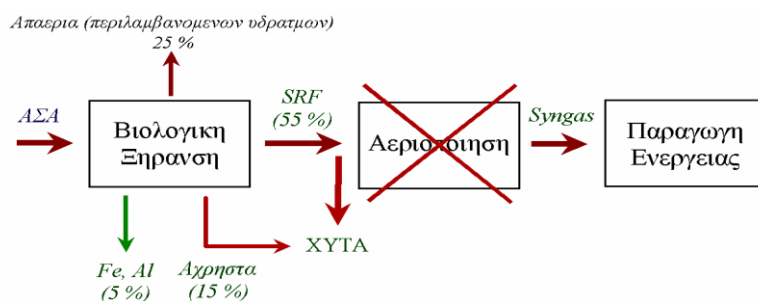
Ένας ορθολογικός σχεδιασμός θα προωθούσε τη σταδιακή ανάπτυξη των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, έτσι ώστε να τηρούνται οι απαιτήσεις που επιβάλουν οι οδηγίες της Ε.Ε., με παράλληλη ανάπτυξη της αναγκαίας υποδομής σε ΧΥΤΑ για απ' ευθείας διάθεση των υπολοίπων ΑΣΑ. Τούτο θα ήταν εφικτό για όλες τις περιπτώσεις των μεθόδων επεξεργασίας, εκτός από την περίπτωση της βιολογικής ξήρανσης, η οποία, όπως αναφέρθηκε, δεν έχει νόημα εάν πρόκειται να συνδυαστεί με ΧΥΤΑ.

Η βιολογική ξήρανση αποτελεί προεπεξεργασία, η οποία διαχωρίζει από τα ΑΣΑ μέταλλα (περίπου 5 %) και αδρανή (περίπου 15 %) και μειώνει την υγρασία των ΑΣΑ στο 15 % διασπώντας και ένα μικρό ποσοστό των οργανικών. Με αυτή τη διαδικασία τα ΑΣΑ μετατρέπονται σε Solid Refuse Fuel (SRF) που είναι καταλληλότερο για αεριοποίηση. Από την αεριοποίηση αναμένεται παραγωγή συνθετικού αερίου, που μπορεί να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 9.3: Προσδοκώμενες δυνατότητες συνδυασμού της βιολογικής ξήρανσης με αεριοποίηση για παραγωγή ενέργειας.

Όμως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα βιβλιογραφικής και διαδικτυακής έρευνας, η τεχνολογία αεριοποίησης του SRF δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί. Οι εναλλακτικές δυνατότητες χρήσης του SRF σε λέβητες εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε περιστροφικούς κλιβάνους παραγωγής κλίνκερ στην τσιμεντοβιομηχανία είναι πολύ περιορισμένες λόγω των λειτουργικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούν. Χρήση του SRF σε μονάδες καύσης απορριμμάτων δεν είναι ορθολογική μια και το συνολικό κόστος είναι πολλαπλάσιο αυτού της απ' ευθείας καύσης των ΑΣΑ δίχως να υπάρχει κάποιο εμφανές περιβαλλοντικό ή άλλο πλεονέκτημα. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η διάθεση της μεγαλύτερης ποσότητας του παραγόμενου SRF σε ΧΥΤΑ. Τούτο συμβαίνει στην Ευρώπη και το ίδιο προβλέπεται και από τις ΜΠΕ των μονάδων βιολογικής ξήρανσης για Γραμματικό και Κερατέα. Υπό αυτές τις συνθήκες και μέχρις ότου αναπτυχθεί η τεχνολογία για την αεριοποίηση του SRF και δημιουργηθεί η αναγκαία υποδομή.



Σχήμα 9.4: Υφιστάμενες δυνατότητες χρήσης της βιολογικής ξήρανσης

Η βιολογική ξήρανση επιφέρει, περιορισμένη μείωση των οργανικών στα ΑΣΑ. Επομένως, εάν χρησιμοποιηθεί η βιολογική ξήρανση, απαιτείται επεξεργασία του συνόλου των ΑΣΑ από το 2010 για να επιτευχθούν ακόμα και οι περιορισμένες αρχικές απαιτήσεις μείωσης των οργανικών, και αυτό με την προϋπόθεση ότι η τσιμεντοβιομηχανία απορροφά κάποιες ποσότητες SRF. Υπό αυτές τις συνθήκες απαιτείται εκτενής χρήση ΧΥΤΑ για διάθεση των άχρηστων και του SRF, όση σχεδόν και για την απ'ευθείας διάθεση των ανεπεξέργαστων ΑΣΑ.

Τα παραπάνω παρέχουν μια λογική εξήγηση σε αμφότερα τα ερωτήματα που τεθήκαν παραπάνω, γιατί δηλαδή τα ΠΕΣΔΑ προωθούν με ταχύτατους ρυθμούς την κατασκευή ΧΥΤΑ έως το τέλος του 2008 και ταυτόχρονα στοχεύουν στην καθολική σχεδόν επεξεργασία των ΑΣΑ από τα μέσα του 2010.

Ο συνδυασμός όμως της βιολογικής ξήρανσης με την ανάγκη επεξεργασίας του συνόλου σχεδόν των ΑΣΑ από το 2010, δημιουργεί, στο βαθμό που ισχύει, υπερβολική επιβάρυνση της εθνικής οικονομίας. Επιπλέον, για την επίτευξη της των αυξημένων απαιτήσεων μείωσης των οργανικών που διατίθενται σε ΧΥΤΑ από το 2013 και ιδιαίτερα από το 2020, δημιουργεί την ανάγκη αξιοποίησης του SRF, είτε σε μονάδες αεριοποίησης εφόσον η σχετική τεχνολογία αναπτυχθεί στα αμέσως επόμενα χρόνια είτε σε μονάδες στοιχειομετρικής καύσης, πράγμα που συνεπάγεται πρόσθετο σημαντικότερο κόστος.

➤ **Κόστος εναλλακτικών τεχνολογιών επεξεργασίας**

Τα στοιχεία κόστους επεξεργασίας των ΑΣΑ με εναλλακτικές τεχνολογίες για τα ακόλουθα δύο σενάρια:

(α) Η μονάδα επεξεργασίας ιδρύεται και λειτουργείται από ΦοΔΣΑ (Ν.Π.Δ.Δ.)

Το ετήσιο κόστος κεφαλαίου λαμβάνεται ίσο με 5,5 % και ο μέσος χρόνος ζωής των εγκαταστάσεων 20 χρόνια. Ο ΦοΔΣΑ εξυπηρετεί τα μέλη του, τα οποία καλύπτουν τα έξοδα μέσω εισφορών, και επομένως δεν επιβαρύνεται με ΦΠΑ.

(β) Η μονάδα επεξεργασίας ιδρύεται με αυτοχρηματοδότηση

Το ετήσιο κόστος κεφαλαίου λαμβάνεται 14,0 % και ο μέσος χρόνος ζωής των εγκαταστάσεων 20 χρόνια. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει επιβάρυνση ΦΠΑ.

Στα προαναφερθέντα διαγράμματα παρουσιάζεται, τόσο το κόστος της βιολογικής ξήρανσης (προεπεξεργασίας) όσο και το κόστος βιολογικής ξήρανσης και αεριοποίησης (ολοκληρωμένης επεξεργασίας) των ΑΣΑ. Το πρώτο σχετίζεται με το ενδεχόμενο άμεσης ίδρυσης μονάδων βιολογικής ξήρανσης. Το δεύτερο σχετίζεται με το ενδεχόμενο συμπλήρωσης των μονάδων βιολογικής ξήρανσης με μονάδες αεριοποίησης του παραγόμενου SRF όταν η σχετική τεχνολογία αναπτυχθεί. Παρόμοιο με το τελευταίο είναι και το κόστος της βιολογικής ξήρανσης συμπληρωμένης με μονάδες στοιχειομετρικής καύσης για αξιοποίηση του παραγόμενου SRF.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, έναντι της αερόβιας μηχανικής - βιολογικής επεξεργασίας, το πρόσθετο κόστος από τη χρήση της βιολογικής ξήρανσης προσεγγίζει τα 60 € / έτος ανά εξυπηρετούμενο πολίτη και σε περίπτωση αεριοποίησης ή στοιχειομετρικής καύσης του παραγόμενου SRF, τα 110 € / έτος ανά εξυπηρετούμενο πολίτη. Το κόστος αυτό θα ήταν απαγορευτικό για τους ΦοΔΣΑ δίχως επιδοτήσεις του αρχικού κεφαλαίου ή/και των προϊόντων. Η δυ-

νατότητες όμως των αναγκαίων επιδοτήσεων υπάρχουν. Για παράδειγμα:

- Η απόφαση επιδότησης με 100 €/τόνο υλικών συσκευασίας στο RDF από τη μονάδα ΕΜΑΚ Ι Δ. Αττικής, προκειμένου τούτο να αξιοποιηθεί θερμικά αντί να διατίθεται σε ΧΥΤΑ, αποτελεί προάγγελο σημαντικής επιδότησης και του SRF από τις μονάδες βιολογικής ξήρανσης, με το ίδιο ακριβώς σκεπτικό. Οι αναγκαίοι πόροι προέρχονται από την επιβάρυνση των καταναλωτικών προϊόντων με το κόστος διαχείρισης των υλικών συσκευασίας τους και επιβαρύνουν τους καταναλωτές εν αγνοία τους. Υπάρχουν επομένως οι μηχανισμοί για την είσπραξη των αναγκαίων εσόδων και για την καταβολή του οποιουδήποτε ύψους σχετικών επιδοτήσεων κριθεί σκόπιμο.
- Η ολική ή μερική επιδότηση του κόστους κατασκευής του εργοστασίου με επιδοτήσεις από την Ε.Ε. με εθνικούς πόρους έχει μακρά ιστορία σε έργα διαχείρισης απορριμμάτων. Τα ανταποδοτικά τέλη που καταβάλλουν οι ΟΤΑ, σπάνια καλύπτουν το κόστος του κεφαλαίου και κατά κανόνα περιορίζονται στα λειτουργικά έξοδα. Η προώθηση έργων με τη μέθοδο των ΣΔΙΤ δεν αποκλείει παρόμοιες πρακτικές, σε ότι αφορά τη συμμετοχή του δημοσίου. Η πρακτική αυτή έχει δημιουργήσει σημαντικότερες σπατάλες κοινοτικών και εθνικών κονδυλίων με την κατασκευή πληθώρας οικονομικά ασύμφωνων έργων, που όμως προκρίνονται με το κριτήριο του περιορισμένου λειτουργικού κόστους.
- Η κατασκευή πολυάριθμων ΧΥΤΑ μέχρι το τέλος του 2008, που εξασφαλίζουν δυνατότητα διάθεσης του συνόλου των ΑΣΑ πολύ πέρα του 2020, αποτελεί εκ των πραγμάτων έμμεση, πλην σημαντικότητας, επιδότηση της βιολογικής ξήρανσης με κονδύλια από την Ε.Ε. και εθνικούς πόρους. Με κάθε άλλη μέθοδο επεξεργασίας η τόσο εκτενής ανάγκη χρήσης ΧΥΤΑ λείπει.

Με τις παραπάνω επιδοτήσεις το πρόσθετο κόστος διαχείρισης των ΑΣΑ μεταβιβάζεται στην κοινωνία μέσω της αντιοικονομικής επένδυσης διαθέσιμων πόρων και στους καταναλωτές με την επιβάρυνση των αγαθών που προμηθεύονται. Αναμφίβολα όμως, το πρόσθετο αυτό κόστος θα επιβαρύνει σταδιακά και τους ευεργετούμενους ΦοΔΣΑ μια και η διάρκεια ζωής κάθε εγκατάστασης είναι πεπερασμένη και οι επιδοτήσεις προϊόντων, όπως του SRF,

δεν μπορεί παρά να μειωθούν όσο οι παραγόμενες ποσότητες αυξάνουν και οι εισπρακτικοί μηχανισμοί αδυνατούν να τις καλύψουν.

9.4. Αρχές ορθολογικού εθνικού σχεδιασμού

Οι ολοένα και αυστηρότερες απαιτήσεις για επεξεργασία, ανάκτηση και αξιοποίηση υλικών, διάθεση και προστασία του περιβάλλοντος, αυξάνουν σημαντικότερα το κόστος της διαχείρισης των απορριμμάτων, σε σημείο όπου η λήψη ορθών αποφάσεων αποκτά εθνική σημασία μιας κι επηρεάζει την αναπτυξιακή πορεία της χώρας.

Για τη λήψη των σωστών αποφάσεων θα πρέπει να αναλυθούν σύνθετα τεχνικά, οικονομικά και κοινωνικά θέματα, και να συνδυαστούν οι αναγκαίες δράσεις έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η τήρηση, με βέλτιστο οικονομικά τρόπο, πολλαπλών απαιτήσεων, που συχνά γίνονται αυστηρότερες με την πάροδο του χρόνου. Μια λογική διαδικασία για την επίτευξη των παραπάνω στόχων περιλαμβάνει τα ακόλουθα διαδοχικά στάδια:

➤ Λήψη στρατηγικών αποφάσεων

Ο στόχος στη φάση αυτή είναι η επιλογή των πλέον πρόσφορων συνδυασμών μεθόδων διαχωρισμού στην πηγή, συλλογής και μεταφοράς, επεξεργασίας και διάθεσης, δίχως την ανάγκη κατάρτισης λεπτομερών σχεδίων δράσης. Οι στρατηγικές αποφάσεις που λαμβάνονται σε αυτή τη φάση βασίζονται σε ορισμένες παραδοχές (π.χ. αναμενόμενες αποδόσεις των εναλλακτικών συστημάτων διαχωρισμού στην πηγή και την χρονική τους εξέλιξη) και πρέπει να επιτρέπουν τη διαμόρφωση ενός σχήματος διαχείρισης το οποίο:

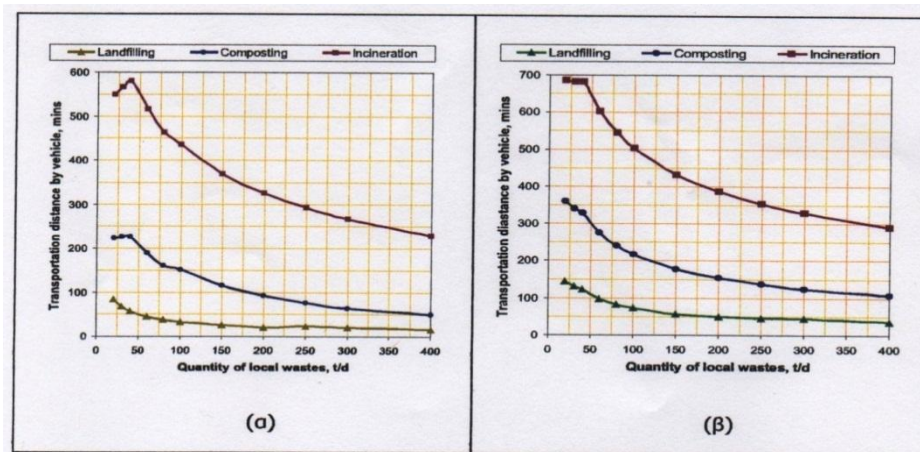
- Είναι σε θέση να εκπληρώσει όλες τις απαιτήσεις απορρέουν από τις οδηγίες της Ε.Ε. (75/442/EEC, 94/62/EC, 2004/12/EC, 99/31/EC κτλ.).
- Είναι οικονομικά αποδοτικό. Η εκτίμηση της οικονομικής αποδοτικότητας στο στάδιο αυτό γίνεται, αναγκαστικά, με θεώρηση τυπικών στοιχείων κόστους συλλογής, μεταφοράς και διάθεσης.
- Είναι περιβαλλοντικά αποδοτικό. Τούτο εκτιμάται με Ανάλυση Κύκλου Ζωής, που παρέχει ολικά ισοζύγια πρώτων υλών, ενέργειας και εκπομπής ρύπων της κάθε διεργασίας και των προϊόντων αυτής. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να αξιολογηθούν με σωστό τρόπο εναλλακτικές διαχειριστικές προσεγγίσεις και μέθοδοι επεξεργασίας και να τεθούν ορθές προτεραιότητες. Οι τελευταίες συχνά διαφέρουν από αυτό που εκ

πρώτης όψεως εμφανίζεται προφανές. Για παράδειγμα, ένα σχέδιο διαχείρισης που δίνει έμφαση στην ανακύκλωση υλικών είναι πιθανό ότι θα αποδειχθεί ενεργειακά αποδοτικότερο και περιβαλλοντικά φιλικότερο από ένα άλλα σχήμα που δίνει έμφαση στην «ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ».

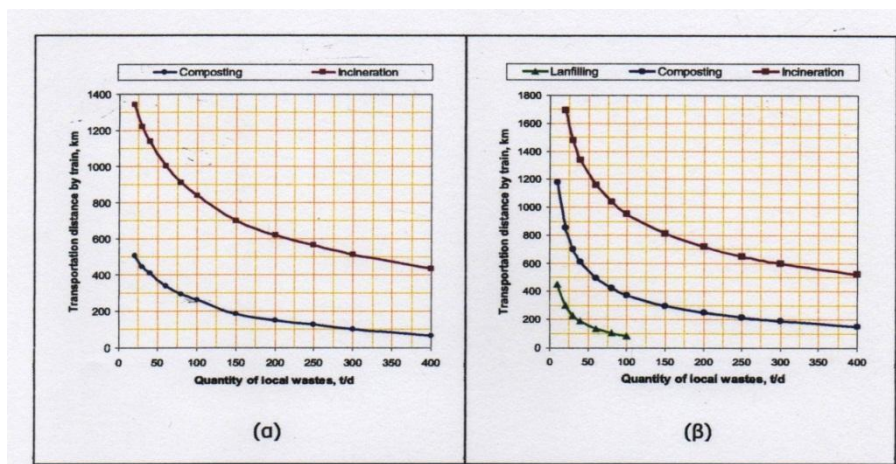
Λόγω της σημασίας που έχει η παραπάνω ανάλυση, αναπτύσσονται τα τελευταία χρόνο νέα συστήματα λογισμικού που επιτρέπουν τον έλεγχο δεδομένων στρατηγικών και τη σύγκριση των περιβαλλοντικών και οικονομικών αποτελεσμάτων τους.

➤ **Ορθολογική επιλογή θέσεων για δημιουργία κεντρικών ΟΕΔΑ**

Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται κατ' αρχήν στη διαμόρφωση διαγραμμάτων, τα οποία επιτρέπουν ευχερή εκτίμηση της μέγιστης απόστασης που συμφέρει οικονομικά η μεταφορά των ΑΣΑ προκειμένου η επεξεργασία ή/και διάθεση να γίνει σε μεγάλη κεντρική εγκατάσταση αντί σε μικρή τοπική.



Σχήμα 9.5: Μέγιστη απόσταση οδικής μεταφοράς προς κεντρική ΟΕΔΑ (α) σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει ΣΜΑ και (β) σε περίπτωση όπου ήδη χρησιμοποιείται ΣΜΑ



Σχήμα 9.6: Μέγιστη απόσταση σιδηροδρομικής μεταφοράς προς κεντρική ΟΕΔΑ (α) σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει ΣΜΑ και (β) σε περίπτωση όπου ήδη χρησιμοποιείται ΣΜΑ

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι οι οριακές αποστάσεις, στις οποίες το αυξημένο κόστος μεταφοράς αντισταθμίζεται από τη μεγαλύτερη οικονομία κλίμακας της κεντρικής ΟΕΔΑ, είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι γενικά πιστεύεται. Επίσης ότι το κόστος της μεταφοράς των απορριμμάτων, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις, είναι περιορισμένο σε σύγκριση με το κόστος επεξεργασίας και διάθεσης. Τα προαναφερθέντα παρέχουν σημαντική ευελιξία στο σχεδιασμό της διαχείρισης των απορριμμάτων, διευρύνοντας στην περίπτωση μεγάλων αστικών περιοχών τον ορίζοντα αναζήτησης νέων, κοινωνικά αποδεκτών, θέσεων ΟΕΔΑ, δίχως σημαντικό πρόσθετο κόστος. Οι κεντρικές αυτές ΟΕΔΑ μπορούν να εξυπηρετήσουν ευρύτατες περιοχές της περιφέρειας με μεγάλη οικονομία κλίμακας, έτσι ώστε το τελικό οικονομικό αποτέλεσμα να είναι ακόμα και θετικό.

Για τον εντοπισμό των αναγκαίων θέσεων ίδρυσης ΟΕΔΑ με χρήση των παραπάνω διαγραμμάτων έχει αναπτυχθεί επίσης μια βήμα προς βήμα διαδικασία εφαρμογής. Σύμφωνα με αυτή η ανάλυση ξεκινάει με θεώρηση ικανού αριθμού υποψήφιων θέσεων, κάποιες από τις οποίες μπορεί να είναι γνωστές ως ιδιαίτερα κατάλληλες (π.χ. λιγνιτωρυχεία ΔΕΗ) και οι υπόλοιπες μπορούν να οριστούν προσεγγιστικά σε πρώτη φάση, δίχως έρευνα πεδίου, έτσι ώστε να παρέχουν ικανοποιητική χωρική κάλυψη της περιοχής μελέτης. Με την προαναφερθείσα βήμα προς βήμα διαδικασία, επιτυγχάνεται σταδιακός αποκλεισμός των περισσότερων από τις αρχικές θέσεις που θεωρήθηκαν, έτσι ώστε να απομείνουν οι απαραίτητες. Στη διαδικασία αυτή προτεραιότητα δίνεται στη διατήρηση των θέσεων που είναι γνωστές ως ιδιαίτερα κατάλληλες. Εάν στις τελικές επιλογές περιλαμβάνονται και θέσεις, εκτός από αυτές που είναι από την αρχή γνωστές ως ιδιαίτερα κατάλληλες, απαιτείται μελέτη χωροθέτησης στην ευρύτερη περιοχή εκάστης.

Με εφαρμογή της διαδικασίας αυτής στην περιοχή της Ηπειρωτικής Ελλάδας προκύπτει ότι ο βέλτιστος αριθμός ΟΕΔΑ δεν υπερβαίνει τις 7 για αερόβια Μηχανική – Βιολογική επεξεργασία και τις 3 για μονάδες στοιχειομετρικής καύσης. Οι ανάγκες αυτές καλύπτονται από τις ιδιαίτερα κατάλληλες θέσεις

ΟΕΔΑ που παρουσιάζονται στο χάρτη κι ενδεχομένως από μια νέα θέση που πρέπει να χωροθετηθεί μεταξύ των Περιφερειών Δ. Ελλάδος / Ηπείρου.



Σχήμα 9.7: Θέσεις ΟΕΔΑ που θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν την Ηπειρωτική Ελλάδα με ενδεχόμενη ανάγκη μιας πρόσθετης ΟΕΔΑ στην περιοχή Δ. Ελλάδος / Ηπείρου

Με την απλή αυτή διαδικασία θα μπορούσε να έχει λυθεί (και θα πρέπει να λυθεί) ένα χρόνιο πρόβλημα, που έχει δημιουργήσει εντονότερες κοινωνικές αντιδράσεις, πολλαπλές προσφυγές στο Σ.τ.Ε., καθυστερήσεις στην εφαρμογή, απώλειες επιδοτήσεων από την Ε.Ε., αστοχία στην προστασία του περιβάλλοντος και υπέρμετρες δαπάνες.

Εάν στις τελικές επιλογές περιλαμβάνονται και θέσεις, εκτός από αυτές που είναι από την αρχή γνωστές ως ιδιαίτερα κατάλληλες, απαιτείται μελέτη χωροθέτησης στην ευρύτερη περιοχή εκάστης. Για παράδειγμα, στην παραπάνω εφαρμογή της Ηπειρωτικής Ελλάδας αναφέρθηκε η ανάγκη εύρεσης μιας νέας θέσης μεταξύ των Περιφερειών Δ. Ελλάδος/ Ηπείρου.

Η αναζήτηση αυτή μπορεί να γίνει με προηγμένες μεθόδους (ευρεία χρήση GIS και ψηφιακών χαρτών), λαμβάνοντας υπόψη στη φάση αυτή μόνο παραμέτρους καταλληλότητας και όχι παραμέτρους κόστους. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η επιλογή θέσεων που πληρούν όλα τα κριτήρια περιβαλλοντικής καταλληλότητας δίχως τους γνωστούς αμφίσημους συμψηφισμούς δεκάδων περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών παραμέτρων. Από την αναζήτηση κάθε θέσης, που συνήθως γίνεται σε έκταση

ενός ή περισσότερων νομαρχιών, είναι δυνατόν να προκύψουν περισσότερες από μία κατάλληλες θέσεις. Όλες αυτές οι θέσεις μπορούν να ληφθούν υπόψη από το σύστημα βελτιστοποίησης. Στο στάδιο της βελτιστοποίησης και της ανάλυσης ευαισθησίας θεωρούνται, για κάθε θέση, τα ιδιαίτερα στοιχεία κόστους κατασκευής (π.χ. κόστος οδών πρόσβασης, διαμόρφωσης, μεταφοράς υλικών κάλυψης κτλ.) και βεβαίως εκτιμάται το κόστος μεταφοράς, έτσι ώστε να επιλεγούν οι πλέον πρόσφορες θέσεις και να οριστεί η βέλτιστη χρήση τους.

➤ **Διαμόρφωση βέλτιστου λεπτομερούς σχεδίου διαχείρισης**

Τα αποτελέσματα από τις διαδικασίες λήψης στρατηγικών αποφάσεων και επιλογής υποψήφιων θέσεων για ΟΕΔΑ παρέχουν βασικά στοιχεία, με χρήση των οποίων μπορεί να διαμορφωθεί το βέλτιστο λεπτομερές σχέδιο διαχείρισης για όλη την περιοχή μελέτης με χρήση προηγμένων πακέτων λογισμικού. Η διαμόρφωση του σχεδίου δράσης σε εθνικό αντί σε περιφερειακό επίπεδο παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, επιτρέποντας τη διαμόρφωση οικονομικά αποδοτικότερων και κοινωνικά προτιμότερων λύσεων.

Στα πλαίσια του σχεδιασμού αυτού επιλέγονται από το λογισμικό βέλτιστου σχεδιασμού οι προσφορότερες από τις διαθέσιμες θέσεις για ίδρυση νέων εγκαταστάσεων (σταθμών μεταφόρτωσης, μονάδων ενδιάμεσης και τελικής επεξεργασίας, εγκαταστάσεων τελικής διάθεσης).

Για κάθε νέα εγκατάσταση επιλέγεται η προσφορότερη τεχνολογία, ορίζεται ο χρόνος έναρξης λειτουργίας, η δυναμικότητα, οι πηγές των εισερχομένων φορτίων και οι αποδέκτες των εξερχόμενων φορτίων και εκτελείται αξιόπιστη εκτίμηση του κόστους κεφαλαίου και λειτουργίας. Παράλληλα βελτιστοποιείται η χρήση κάθε υφιστάμενης εγκατάστασης επεξεργασίας, μεταφοράς και διάθεσης και με αυτό τον τρόπο εντάσσεται στο σχεδιασμό και εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση όλης της υφιστάμενης υποδομής. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτει ένα αναλυτικό σχέδιο διαχείρισης, το οποίο τηρεί τις σημερινές και επερχόμενες απαιτήσεις επεξεργασίας με το ελάχιστο άθροισμα του ετήσιου κόστους λειτουργίας και του ετήσιου κόστους κεφαλαίου.

Με χρήση του ίδιου λογισμικού είναι δυνατόν να εκτελεστεί ανάλυση ευαισθησίας προκειμένου να διερευνηθεί το κόστος επιλεγμένων περιορισμών π.χ. το κόστος επιβολής ή/και αποκλεισμού χρήσης κάποιων τεχνολογιών ή/και θέσεων ίδρυσης εγκαταστάσεων (σταθμών μεταφόρτωσης, μονάδων επεξεργασίας, χώρων διάθεσης) ή/και επιβολής ορίων στη δυναμικότητα ή

χωρητικότητα κάποιων εγκαταστάσεων κτλ. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ένας ικανός αριθμός εναλλακτικών σχεδίων διαχείρισης, καθένα από τα οποία εκπληρώνει ένα σύνολο επιθυμητών περιορισμών και για το οποίο υπάρχει λεπτομερής ανάλυση των οικονομικών συνεπειών, συνολικά και ανά ΟΤΑ. Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει όλη η αναγκαία πληροφόρηση, που επιτρέπει στους αρμόδιους πολιτικούς και κοινωνικούς φορείς να επιλέξουν το καταλληλότερο από τα σχέδια αυτά με συναινετικές διαδικασίες.

Η παραπάνω διαδικασία είναι ώριμη και έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία στην Περιφέρεια Δ. Μακεδονίας το 1995/96 για τη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης των απορριμμάτων και στην Αττική το 2002/03 για τη διαμόρφωση του βέλτιστου συστήματος μεταφοράς των απορριμμάτων.

9.5. Προτάσεις για λύση του υφισταμένου προβλήματος

Η δυνατότητα διαμόρφωσης ενός ενιαίου σχεδίου διαχείρισης των Α.Σ.Α. σε εθνικό επίπεδο παρέχει καίρια πλεονεκτήματα, παρέχοντας πρόσθετες σημαντικές δυνατότητες χωροθέτησης και αξιοποίησης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και διάθεσης. Για το λόγο αυτό καθιστά δυνατή τη διαμόρφωση πολύ ορθολογικότερων λύσεων από περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική σκοπιά σε σχέση με τους επιμέρους σχεδιασμούς σε επίπεδο περιφέρειας.

Ένας νέος σχεδιασμός σε εθνικό επίπεδο με τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα αξιοποιούσε ασφαλώς με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την σημαντική υποδομή σε υφιστάμενους και προωθούμενους ΧΥΤΑ, αλλά και την υποδομή σε σταθμούς μεταφόρτωσης και μονάδες επεξεργασίας, εξασφαλίζοντας συνάμα μια ομαλή μετάβαση από το σημερινό σύστημα διαχείρισης στο βέλτιστο εθνικό.

Στο πλαίσιο του νέου αυτού σχεδιασμού αναμένεται να προκύψει προτεραιότητα στην επεξεργασία του συνόλου των απορριμμάτων της Αττικής, η οποία δεν διαθέτει σήμερα αξιόλογη υποδομή σε ΧΥΤΑ. Τούτο θα εξασφάλιζε την τήρηση των απαιτήσεων επεξεργασίας μέχρι το 2020 σε εθνικό επίπεδο, με ενδεχόμενη ανάγκη επεξεργασίας των απορριμμάτων από κάποιες ακόμα επιλεγμένες περιοχές μετά το 2013. Με αυτό τον τρόπο παρέχεται χρόνος στις υπόλοιπες Περιφέρειες να αξιοποιήσουν τη σημαντική υποδομή, που οι

περισσότερες θα διαθέτουν σε ΧΥΤΑ, για οικονομική απ' ευθείας διάθεση των απορριμμάτων τους.

Με τη διαδικασία αυτή θα οδεύσουμε σταδιακά, από τη χρήση της πληθώρας των υφιστάμενων και αναμενόμενων ΧΥΤΑ, στην ίδρυση και λειτουργία ολιγάριθμων κεντρικών ΟΕΔΑ σε θέσεις, σαν αυτές που αναφέρονται για την Ηπειρωτική Ελλάδα, που δεν προκαλούν τοπικές οχλήσεις και κοινωνικά προβλήματα, αλλά αντιθέτως αποτελούν πολύτιμους πόλους οικονομικής ανάπτυξης. Τα απορρίμματα θα μεταφέρονται στις κεντρικές αυτές εγκαταστάσεις με ένα ολοκληρωμένο δίκτυο οδικής, σιδηροδρομικής και ακτοπλοϊκής μεταφοράς. Το δίκτυο αυτό είναι βέβαιο ότι μπορεί να εξυπηρετήσει το σύνολο της Ηπειρωτικής Ελλάδος, αλλά και την πλειονότητα των νησιών με οικονομικά πολύ πιο πρόσφορο τρόπο, προσφέροντας παράλληλα προφανή περιβαλλοντικά και κοινωνικά πλεονεκτήματα.

Η ορθολογικοποίηση του όλου συστήματος διαχείρισης των οικιακού τύπου απορριμμάτων προσφέρει εθνικής εμβέλειας οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά και αναπτυξιακά πλεονεκτήματα και συνάμα λύσεις που δεν υφίστανται σε χρονικούς περιορισμούς. Από τη σωστότερη και μόνο επιλογή του συστήματος επεξεργασίας προκύπτει οικονομία που μπορεί να φτάσει τα 1,24 δισ. € ετησίως.

Με την προτεινόμενη προσέγγιση αξιοποιείται το σύνολο της υφιστάμενης υποδομής και τίθενται ρεαλιστικότεροι και ελεγχόμενοι στόχοι, που μπορούν να εφαρμοστούν ταχύτερα και ασφαλέστερα από τα προβλεπόμενα στους ΠεΣΔΑ. Πράγματι, έναντι των πολυπληθών ΦοΔΣΑ που θα δημιουργηθούν, θα μελετήσουν, θα αποφασίσουν και θα προωθήσουν την κατασκευή δεκάδων εγκαταστάσεων επεξεργασίας, συχνά μέσα από έντονες αντιδράσεις και προσφυγές των τοπικών κοινωνιών, πολύ ρεαλιστικότερη και ταχύτερη είναι η προώθηση μιας κεντρικής εκτός Αττικής ΟΕΔΑ, η οποία, μαζί με τη μονάδα ΕΜΑΚ Ι των Α. Λιοσίων, θα εξυπηρετήσει τόσο την Αττική όσο και ευρύτερες περί αυτήν περιοχές. Με τη μονάδα αυτή θα μπορούσαν να καλυφθούν όλες οι ανάγκες επεξεργασίας των ΑΣΑ της χώρας έως τουλάχιστον το 2013. Πολύ νωρίτερα θα μπορούσε να έχει ολοκληρωθεί και το νέο βέλτιστο εθνικό σχέδιο διαχείρισης, το οποίο θα ορίσει την περαιτέρω πορεία.

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι το μέγεθος του σημερινού προβλήματος διαχείρισης των ΑΣΑ είναι μεγάλο και οι οικονομικές του

επιπτώσεις σημαντικές για την εθνική οικονομία, υπάρχουν όμως συγκεκριμένες, ορθολογικές και γρήγορα εφαρμόσιμες λύσεις. Εν όψει της κατάστασης αυτής λογικό θα ήταν να επανεξεταστεί η σκοπιμότητα συνέχισης της υφιστάμενης πορείας εφαρμογής των ΠΕΣΔΑ, οι οποίοι, αντί να παρουσιάσουν και να τεκμηριώσουν ένα ολοκληρωμένο σχεδιασμό, ως εξορισμού είχαν υποχρέωση να κάνουν, δημιούργησαν, κατά κύριο λόγο, δομές εφαρμογής μέσω ΦοΔΣΑ (η πλειονότητα των οποίων θα οριστεί από τις Περιφέρειες) παρέχοντας σε αυτούς a priori εξουσιοδότηση για τη λήψη των όλων των κρίσιμων αποφάσεων.

9.6. Προτάσεις πολιτικής

1. Σύμφωνα με όσα προηγήθηκαν, η Ο.Ε. με ιδιαίτερη ανησυχία διαπιστώνει ότι ως βάση για τις προτάσεις πολιτικής που ακολουθούν, παραμένει απολύτως επίκαιρη η προ δεκαετίας θέση της Διοικούσας Επιτροπής του ΤΕΕ, που καταγράφεται στο ελτίο Τύπου της 31/5/96. Σύμφωνα με αυτή:

«Η λύση τέτοιων προβλημάτων [όπως αυτό της ορθολογικής διαχείρισης των ΑΣΑ] της οποίας μια πλευρά αποτελεί και η αντιμετώπιση των εξάρσεων τους, απαιτεί συντονισμένη προσέγγιση από όλους τους πολιτικά υπεύθυνους για αυτές. Απαιτεί τη διαρκή και αποτελεσματική παρουσία της Πολιτείας, που δεν είναι συμβατή με την αναβλητικότητα για την εφαρμογή των επεξεργασμένων επιστημονικά και κοινωνικά αποφάσεων ευρείας αποδοχής. Εντελώς διαφορετική θα ήταν σήμερα η κατάσταση, ουσιαστικές λύσεις θα είχαν δρομολογηθεί, αν έγκαιρα η Πολιτεία είχε ασπασθεί τις βασικές υποδείξεις του ΤΕΕ για την αναμόρφωση, σε λειτουργική κατεύθυνση, της νομοθεσίας για τα στερεά απόβλητα, για τη χάραξη εθνικής στρατηγικής στα απορρίμματα, για την εκπόνηση ενός πλαισίου γενικών τεχνικών προδιαγραφών, για τη διαμόρφωση εθνικής πολιτικής για την ανακύκλωση και την ενθάρρυνση (οικονομική, θεσμική, τεχνική) παρεμβάσεων υπέρ της προώθησης της διαλογής στην πηγή, την κατασκευή σύγχρονων εγκαταστάσεων ανακύκλωσης και χώρων υγειονομικής ταφής των υπολειμμάτων τους, την παύση λειτουργίας και σταδιακή αποκατάσταση των χιλιάδων ανεξέλεγκτων χωματερών, τη λύση του καθοριστικού, όπως αποδείχθηκε προβλήματος [των χρήσεων] γης.»

2. Παρόλαυτα, στη 10ετία που πέρασε, άπρακτη δυστυχώς στο μεγαλύτερο μέρος για τη χώρα μας, οι σύγχρονες τεχνολογίες διαχείρισης των ΑΣΑ έχουν αποδώσει χειροπιαστά θετικά αποτελέσματα στις χώρες της Ευρώπης αλλά και στις υπόλοιπες ανεπτυγμένες τεχνολογικά χώρες του κόσμου, σε συγκεκριμένους τομείς όπως:

- Η ανακύκλωση με διαλογή στην πηγή
- Η μεταφόρτωση
- Η μηχανική ανακύκλωση με βιοσταθεροποίηση του οργανικού κλάσματος
- Η ενεργειακή αξιοποίηση του υψηλής θερμογόνου δύναμης κλάσματος των ΑΣΑ (RF)
- Η αποκατάσταση και επανένταξη στο περιβάλλον των παλαιών χώρων διάθεσης απορριμμάτων
- Η ασφαλής υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων αλλά και των πρωτογενών απορριμμάτων

3. Οι θετικές αυτές εξελίξεις στον τομέα των επιμέρους μεθόδων και τεχνολογιών διαχείρισης και ειδικότερα διάθεσης των Σ.Α., σε συνδυασμό με την υποχρέωση της τήρησης των βασικών στρατηγικών στόχων που έχουν υιοθετηθεί διεθνώς, καθώς και σε επίπεδο Ε.Ε. (περιορισμός της ποσότητας και της βλαπτικότητας των παραγόμενων Σ.Α., προτεραιότητα της ανακύκλωσης έναντι της ενεργειακής αξιοποίησης, ασφαλής τελική διάθεση, ορθολογική και ασφαλής μεταφορά) οδηγούν το αντικείμενο της διαχείρισης των Σ.Α. σε ένα βέλτιστο συνδυασμό των διαφόρων μεθόδων, που εκδηλώνεται ήδη ως η επικρατούσα τάση στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες. Βασικά προσδιοριστικά στοιχεία της τάσης αυτής είναι:

- Η συστηματική ανάπτυξη της ανακύκλωσης με διαλογή στην πηγή (ως συστήματος (i) θεσμών, (ii) μηχανισμών εφαρμογής και (iii) τεχνολογιών) στα υλικά συσκευασιών καθώς και σε απόβλητα πέραν των συσκευασιών, όπως είναι τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, οι εξαντλημένοι συσσωρευτές και ηλεκτρικές στήλες, τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, τα αδρανή στερεά απόβλητα, τα παλαιά επίσωτρα, το έντυπο χαρτί κλπ.
- Ο περιορισμός των απαιτήσεων σε χώρους για την τελική διάθεση (υγειονομική ταφή) των Σ.Α. Ήδη, σε πολλές χώρες επιβάλλεται ένα πρόσθετο τέλος σε βάρος των Σ.Α. που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ. Επίσης,

επεκτείνεται ταχύτατα η εφαρμογή συστημάτων ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής επιτήρησης και παρακολούθησης (monitoring) των ΧΥΤΑ τόσο στη φάση της λειτουργίας τους όσο και σε αυτήν της μεταφροντίδας τους. Παράλληλα, επεκτείνεται η ενεργειακή αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου

- Η εμπειριστατωμένη ανάλυση του κύκλου ζωής όλων των προϊόντων, ώστε να μελετηθεί και αξιολογηθεί πλήρως η περιβαλλοντική συμπεριφορά τους από την στιγμή παραγωγής τους μέχρι την αξιοποίηση και την τελική διάθεση των όποιων αποβλήτων τους, με στόχο τον επανασχεδιασμό τους ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στους τεθέντες στρατηγικούς στόχους για την πρόληψη στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης.

4. Οι παραπάνω κατευθύνσεις θα πρέπει να ενσωματωθούν όχι μόνο σε επίπεδο σχεδιασμού, αλλά και σε επίπεδο εφαρμογής και στη χώρα μας. Η αναγκαιότητα, όμως, αυτή δεν είναι συμβατή με τον πολυκατακερματισμό του ηπειρωτικού ελλαδικού χώρου και των μεγάλων νησιών σε εκατοντάδες διαχειριστικές ενότητες και ισάριθμους ή και περισσότερους ΦοΔΣΑ. Χωρίς να ανασταλεί η εξέλιξη των ώριμων χρηματοδοτικά έργων, θα πρέπει η Πολιτεία να προχωρήσει από τώρα στην προετοιμασία ενός ανασχεδιασμού, όχι τόσο ως προς τις προτεινόμενες τεχνολογίες, όσο κυρίως ως προς τον αριθμό και το μέγεθός τους, σε συνδυασμό με το δίκτυο τροφοδοσίας τους (ΣΜΑ). Το ΤΕΕ, ως Τεχνικός Σύμβουλος της Πολιτείας, με αποδεδειγμένη την πολύχρονη και εποικοδομητική παρέμβασή του στον τομέα αυτό, είναι πρόθυμο να συμβάλει σε μια τέτοια κατεύθυνση.

5. Θα πρέπει να αναληφθούν από την Κεντρική Διοίκηση και την Τοπική Αυτοδιοίκηση συγκεκριμένες δράσεις και να υιοθετηθούν διαφανέστερες και πλέον αξιόπιστες στάσεις για το ξεπέρασμα των εμποδίων που είναι γνωστά ως «προβλήματα κοινωνικής αποδοχής». Προς την κατεύθυνση αυτή, βασικό ρόλο έχει η ανεξαρτησία των μελετητών στο έργο τους και ο σεβασμός των τεκμηριωμένων προτάσεών τους, χωρίς παρασκηνακές παρεμβάσεις καθοδήγησης των τελικών αποτελεσμάτων, κύρια ως προς το ζήτημα των χωροθετήσεων. Οι βεβαρημένες από ανθρωπογενείς δραστηριότητες περιοχές δεν θα πρέπει πλέον να αντιμετωπίζονται, στην πράξη, ως προτιμησιακοί χώροι περαιτέρω συγκέντρωσης οχλουσών δραστηριοτήτων. Αντίθετα, το στοιχείο

αυτό να αποτελεί δυσμενή για την χωροθέτηση παράγοντα και σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ. Θριάσιο Πεδίο) απαγορευτικό.

Καθοριστική θα είναι η συμβολή στην επίλυση του προβλήματος αυτού του καθορισμού χρήσεων γης σε επίπεδο χώρας.

6. Να αξιοποιηθεί το νέο χρηματοδοτικό μέσο 2007-2013 (Δ'ΚΠΣ – Ταμείο Συνοχής) δίνοντας προτεραιότητα στην υποστήριξη έργων διαχείρισης Α.Σ.Α. που συνάδουν με τις παραπάνω κατευθύνσεις. Με την οπτική αυτή θα πρέπει να αντιμετωπιστούν και όλες οι παρεμβάσεις που αφορούν στην αποκατάσταση των ανεξέλεγκτων χωματερών.

7. Ιδιαίτερο βάρος να δοθεί στην έμπρακτη διευκόλυνση των ΟΤΑ να αναπτύξουν προγράμματα με διαλογή στην πηγή, σε συνεργασία με τα εγκεκριμένα συστήματα συλλογικής εναλλακτικής διαχείρισης (ΣΣΕΔ) και ιδιαίτερα με το ΣΣΕΔ Συσκευασιών «Ανακύκλωση», το οποίο οφείλει και θα πρέπει να καλύπτει πλήρως το διαφορικό κόστος, με μέρος του οποίου επιβαρύνονται τώρα οι ΟΤΑ.

Η Πολιτεία να τηρήσει τις υποχρεώσεις της που προκύπτουν από το Ν.2939/01 για την Εναλλακτική Διαχείριση, και κύρια όσον αφορά:

- Στη συγκρότηση των οργάνων και υπηρεσιών του φορέα διαχείρισης που προβλέπεται (ΕΟΕΔΣΑΠ)
- Στη δημοσίευση του Π.Δ. για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές και κατεδαφίσεις.
- Στη δημοσίευση του Π.Δ. για την εναλλακτική διαχείριση του έντυπου χαρτιού.

8. Ειδικότερα για την Αττική, επιβάλλεται, προς αποτροπή του επικείμενου αδιεξόδου, η άμεση υλοποίηση των παραπάνω κατευθύνσεων, με έμφαση:

- Στην αναζήτηση χώρων επεξεργασίας και διάθεσης των ΑΣΑ και εκτός των ορίων της Αττικής.
- Στην άμεση αποσαφήνιση των προτεινόμενων τεχνολογιών επεξεργασίας των σύμμεικτων απορ/των, στη βάση των συμπερασμάτων του παρόντος.
- Στη δίκαιη και χωροταξικά ορθολογική χωροκατανομή των νέων μονάδων επεξεργασίας και τελικής διάθεσης των σύμμεικτων απορριμμάτων με αποκλεισμό της ιδιαίτερα βεβαρημένης περιοχής του Θριασίου Πεδίου.

- Στην απορρύπανση της ευρύτερης περί τον ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων περιοχής από τις κατά καιρούς ανεξέλεγκτες απορρίψεις αποβλήτων.
- Στο ξεκαθάρισμα των ρόλων και των σχέσεων μεταξύ του υπάρχοντα ΦοΔΣΑ (δηλ. του ΕΣΔΚΝΑ), των ΟΤΑ της Αττικής, των νέων προβλεπομένων ΦοΔΣΑ, εφόσον τελικά συγκροτηθούν, και της Περιφέρειας Αττικής.
- Στη διαμόρφωση ενός αξιόπιστου, με επιστημονικά κριτήρια και προϋποθέσεις δομημένου χρονοδιαγράμματος ενεργειών, δράσεων και χρηματοδοτήσεων, με προοπτική τουλάχιστον 15ετίας, που θα καλύπτει στο σύνολό του το ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης των απορριμμάτων στην Αττική, ενταγμένου στο πλαίσιο ενός βέλτιστου εθνικού σχεδίου διαχείρισης.

9.7. Γενικά Συμπεράσματα

1. Το θεσμικό πλαίσιο για την διαχείριση των ΑΣΑ στην Ελλάδα, μετά τον νόμο πλαίσιο για το Περιβάλλον (1650/86), εξειδικεύτηκε με βάση την κοινοτική νομοθεσία, η οποία και αποτέλεσε στην ουσία την κινητήριο δύναμη για την ύπαρξή του. Το ισχύον σήμερα θεσμικό πλαίσιο για τα μή επικίνδυνα στερεά απόβλητα όπως έχει διαμορφωθεί χρειάζεται ορισμένες βελτιώσεις και εξειδικεύσεις, είναι όμως εν πολλοίς σύγχρονο και επαρκές.
2. Η ανεπάρκεια σε εγκαταστάσεις υποδομής της διαχείρισης των απορριμμάτων στην Ελλάδα δεν οφείλεται σε θεσμικούς λόγους, αλλά κυρίως στην έλλειψη καθαρής άποψης για την αναγκαία πολιτική, για τις δυνατότητες της τεχνολογίας, για την εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του κοινού, καθώς και για το ρόλο της Κεντρικής Διοίκησης και της Αυτοδιοίκησης.
3. Το Δ΄ ΚΠΣ με το Ταμείο Συνοχής δίνει μία σημαντική ευκαιρία για την προώθηση επενδύσεων στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ. Προϋπόθεση είναι η ορθολογική τεχνολογική και οικονομική προσέγγιση του θέματος.
4. Ειδικότερα, οι ισχύοντες Περιφερειακοί Σχεδιασμοί σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να επικαιροποιηθούν στην κατεύθυνση της μείωσης του αριθμού και της αύξησης της δυναμικότητας των προβλεπόμενων κέντρων επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ – ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗ

10.1. Γενικά

Η καλύτερη μέθοδος προστασίας των υπόγειων νερών από την μόλυνση, είναι η πρόληψη, δηλαδή η αποφυγή της εισόδου των ρύπων στους υδροφόρους ορίζοντες και κυρίως σε αυτούς που μας τροφοδοτούν με πόσιμο ή ποτιστικό νερό.

Στην περίπτωση όμως που τα μέτρα προστασίας δεν έχουν το προσδοκώμενο αποτέλεσμα ή η ρύπανση προκληθεί από ατύχημα ή άλλη απρόβλεπτη αιτία, τότε πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για τον όσο δυνατό πληρέστερο καθαρισμό (απορρύπανση) της περιοχής.

Οι λόγοι που επιβάλλουν τη λήψη μέτρων προστασίας και απορρύπανσης των εδαφών και των υδροφόρων, συνοπτικά είναι οι εξής:

- Η διαπίστωση ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι τέτοιος που προκαλεί σημαντικούς κινδύνους στη δημόσια υγεία. Τα τελευταία χρόνια λόγω της μείωσης των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων ρύπανσης, έχουμε σημαντική αύξηση των περιοχών που έχουν ανάγκη για προστασία ή απορρύπανση.
- Η ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος σε μία περιοχή, ακόμη και αν η ρύπανσή της δεν έχει ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια.
- Οικονομικοί λόγοι, όπως η ανάγκη αύξησης της εμπορικής αξίας των ακινήτων της περιοχής.
- Η ανάγκη ανάπτυξης μιας περιοχής βιομηχανικά και οικιστικά, επομένως η απορρύπανσή της γίνεται απαραίτητη.

Η πιο απλή μέθοδος περιβαλλοντικής αποκατάστασης είναι αυτή που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή οι φυσικοί μηχανισμοί εξασθένησης της ρύπανσης. Όμως στις περισσότερες περιπτώσεις η φύση αδυνατεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις μεγάλες συγκεντρώσεις των ρυπογόνων ουσιών που δέχεται.

Μία άλλη μέθοδος που εφαρμόζεται, χωρίς σημαντικά αποτελέσματα, είναι η επιβολή περιορισμών στην πρόσβαση και χρήση της περιοχής που έχει

μολυνθεί, ώστε να αναιρεθεί η πηγή της ρύπανσης. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου αποτελούν προσωρινό μέτρο και όχι οριστική λύση του προβλήματος.

Εκεί που πρέπει να δωθεί μεγαλύτερη έμφαση είναι στα μέτρα προστασίας των υδροφόρων και στις μεθόδους απορρύπανσης, που αναφέρονται παρακάτω.

10.2. Προστασία υδροφόρων

Η προστασία των υδροφόρων συνίσταται στην προστασία των έργων και της περιοχής υδροληψίας, αλλά και στην επεξεργασία των υγρών κυρίως αποβλήτων πριν τη διάθεσή τους στο περιβάλλον.

10.2.1 Προστασία των έργων υδροληψίας

Για την προστασία των έργων υδροληψίας απαιτείται:

- Λεπτομερής υδρογεωλογική έρευνα, συχνά αρκετά δαπανηρή, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη προστασία του υδροφόρου από τις τωρινές αλλά και από τις μελλοντικές δραστηριότητες της περιοχής που υδρομαστεύεται άμεσα ή έμεσα από το έργο.
- Κατάλληλη κατασκευή του έργου, ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση του υδροφόρου από επιφανειακά νερά και άλλα ακατάλληλα νερά, κατά τις εργασίες κατασκευής αλλά και κατά τη χρήση του έργου υδροληψίας.

Τα πιο σημαντικά σημεία για την προστασία των υδροφόρων αναφέρονται παρακάτω:

- ✓ Η υδροληψία πρέπει να γίνεται από βάθος μεγαλύτερο των 4-5 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Το ανώτερο τμήμα της γεώτρησης θα πρέπει να τσιμεντώνεται ή να γεμίζει με στεγανή άργιλο, ακόμη και όταν βρίσκεται μέσα στον υδροφόρο.
- ✓ Θα πρέπει να αποκλείεται η επικοινωνία ανάμεσα στο τμήμα της υδρογεώτρησης που γίνεται η υδροληψία και στο τμήμα της μόνιμης σωλήνωσης από τον γύρω δακτύλιο.
- ✓ Στην κεφαλή της γεώτρησης θα πρέπει να αφαιρείται το έδαφος και να τοποθετείται πλάκα από τσιμέντο και να εξασφαλίζεται η στεγανότητα από το σημείο που βρίσκεται η αντλία.

- ✓ Το έργο πρέπει να απολυμαίνεται.

10.2.2. Προστασία της περιοχής υδροληψίας

Στην περίπτωση των υδροφόρων που βρίσκονται σε χαλαρούς σχηματισμούς, μπορούμε να επιτύχουμε προστασία της περιμέτρου του σημείου υδροληψίας. Όταν έχουμε όμως καρστικούς υδροφόρους ή υδροφόρους που βρίσκονται σε ρωγματωμένα πετρώματα τα μέτρα προστασίας θα πρέπει να αναφέρονται σε όλη την έκταση του υδροφόρου ορίζοντα.

Η προστασία της περιμέτρου του υδροφόρου βασίζεται στα εξής:

- Στη μελέτη της προέλευσης του νερού υδροληψίας. Περιλαμβάνει συνήθως τη μελέτη της λεκάνης απορροής και των περιβάλλοντων πετρωμάτων του υδροφόρου.
- Στην καταγραφή όλων των πιθανών αιτιών μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα που ωφείλονται είτε σε φυσικά αίτια (από απώλειες από υδατορεύματα, από γεινικά κοιτάσματα κτλ.), είτε από τεχνητά αίτια (διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, σκουπιδοτόποι κ.α.).

Περίμετρος και ζώνες προστασίας

Η περίμετρος προστασίας είναι μία ορισμένη περιοχή γύρω από το έργο υδροληψίας, όπου έχουν επιβληθεί απαγορευτικά μέτρα ή μέτρα επιτήρησης για την προστασία του έργου. Η περιοχή εκτείνεται κυρίως προς τα ανάντη του έργου ως προς την διεύθυνση της υπόγειας ροής και καθορίζεται με βάση την ταχύτητα ροής ανάμεσα στην ζώνη τροφοδοσίας και στα σημεία υδροληψίας.

Ανάλογα με την φύση και την υδροπερατότητα των πετρωμάτων που βρίσκονται πάνω από τον υδροφόρο, καθώς και το βάθος του τελευταίου, διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις ως προς την προστασία του:

1. **Ευνοϊκές συνθήκες προστασίας**, όταν τα πετρώματα αδιαπέρατα με μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Τέτοια είναι οι άργιλοι, οι πηλοί, οι λεπτόκοκκοι άμμοι και τα διάφορα μίγματα τους.
2. **Μέτριες συνθήκες προστασίας**, όταν το υδροφόρο στρώμα και η ακόρεστη ζώνη έχουν καλές ικανότητες αυτοκαθαρισμού. Τέτοια υλικά είναι η πηλούχος λεπτόκοκκη άμμος με περιορισμένη περιεκτικότητα σε ίλυ, η οποία έχει ενεργό μέγεθος των κόκκων μικρότερο από 0,4mm και η ταχύτητα ροής του νερού είναι μικρότερη από 3m/μέρα.

3. **Δυσμενείς συνθήκες προστασίας**, όταν η ακόρεστη ζώνη και ο υδροφόρος δεν έχουν ικανότητα αυτοκαθαρισμού και τα μεγέθη του ενεργού πορώδους των κόκκων και της ταχύτητας ροής είναι μεγαλύτερα από τα ποσά που αναφέρθηκαν στις μέτριες συνθήκες προστασίας. Τέτοια υλικά είναι τα αμμοχάλικα, οι χοντρόκοκκες άμμοι, τα αποκαρστωμένα και διαρρηγμένα πετρώματα.

Η περίμετρος προστασίας σε κάθε περιοχή καθορίζεται ανάλογα με τις συνθήκες προστασίας των υπόγειων νερών που επικρατούν. Στις περιπτώσεις των πόσιμων και ιαματικών νερών η περίμετρος προστασίας περιλαμβάνει τρεις ζώνες:

A) Ζώνη III ή ευρεία ζώνη προστασίας ή επιτηρούμενη ζώνη.

Η ζώνη αυτή οφείλει να εξασφαλίζει την προστασία από χημικούς διασπόμενους ή δύσκολα διασπόμενους και ραδιενεργούς ρύπους. Η ζώνη III συχνά διαιρείται σε δύο υποζώνες IIIA και IIIB. Η υποζώνη IIIB είναι εξωτερική, δηλαδή περιέχει την υποζώνη IIIA.

- Στην υποζώνη IIIB απαγορεύεται:
 - Η απόρριψη χρησιμοποιούμενων νερών, συμπεριλαμβανομένων αυτών που ρέουν στους δρόμους και στα κανάλια και ραδιενεργών υλικών.
 - Η εγκατάσταση οποιασδήποτε βιομηχανικής και βιοτεχνικής μονάδας που αποβάλλει τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα.
 - Η αποθήκευση, το θάψιμο στο υπέδαφος ραδιενεργών και ρυπογόνων υλικών, όπως τοξικά και χημικά προϊόντα λαδιού φαινόλων, φυτοφαρμάκων, ορυκτέλαιων, παρασιτοκτόνων.
 - Η μεταφορά ρυπογόνων ουσιών.
- Στην υποζώνη IIIA εκτός από τα παραπάνω απαγορεύεται:
 - Η ανάπτυξη κτηνοτροφικών μονάδων.
 - Η χρησιμοποίηση φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων και λιπασμάτων.
 - Η εγκατάσταση διυλιστηρίων
 - Η εγκατάσταση νοσοκομείων, σανατορίων, κλινικών.
 - Η εγκατάσταση βιομηχανικών μονάδων.

- Η εγκατάσταση και λειτουργία πρατηρίων διανομής και μεταφόρτωσης υγρών καυσίμων κάθε τύπου ή ραδιενεργών υλικών.
- Η ανάπτυξη χώρων προσγείωσης, απογείωσης και εκτόξευσης αεροσκαφών.
- Η δημιουργία στρατιωτικών εγκαταστάσεων και η εκτέλεση στρατιωτικών ασκήσεων.
- Η δημιουργία σκουπιδότοπων και νεκροταφείου αυτοκινήτων.
- Η λειτουργία σταθμών καθαρισμού χρησιμοποιούμενων νερών.
- Το άδειασμα οχημάτων εκκένωσης βόθρων.
- Η απόρριψη νερών που χρησιμοποιούνται για ψύξη.
- Η κατασκευή και λειτουργία νεκροταφείων.
- Η λειτουργία σταθμών τροχοδρόμησης.
- Η χρησιμοποίηση για την κατασκευή δρόμων, διαλυτικών ουσιών, απορρυπαντικών κτλ.
- Η εκτέλεση γεωτρήσεων για την έρευνα και εκμετάλλευση ΗC.

Στην περίπτωση που η ζώνη III δεν διαιρείται σε δύο υποζώνες εφαρμόζονται οι προδιαγραφές που ισχύουν για την υποζώνη IIIA.

Η ζώνη III εκτείνεται από τα όρια της λεκάνης τροφοδοσίας του έργου υδροληψίας μέχρι τα εξωτερικά όρια της ζώνης II.

B) Ζώνη II ή κοντινή ζώνη προστασίας ή ελεγχόμενη ζώνη.

Η ζώνη αυτή προστατεύει το πόσιμο ή το ιαματικό νερό, από τη μικροβιολογική κυρίως ρύπανση που προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις που γειτονεύουν με το σημείο υδροληψίας.

Στη ζώνη αυτή εκτός από τις απαγορεύσεις της ζώνης III, απαγορεύονται ακόμη:

- Η αγροτική δραστηριότητα.
- Η κτηνοτροφική δραστηριότητα.
- Η ανάπτυξη εργοταξίων και αποθήκευση δομικών υλικών.
- Η ανάπτυξη οδικού, σιδηροδρομικού δικτύου και χώρων στάθμευσης.
- Η δημιουργία αθλητικών χώρων και κάμπινγκ.
- Η δημιουργία χώρων αναψυχής.

- Η ανάπτυξη λατομικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας.
- Οι εκρήξεις.
- Η χρησιμοποίηση κοπριάς για λίπανση.
- Η αποθήκευση μαζούτ και ορυκτέλαιων.
- Η μεταφορά ραδιενεργών υλικών.
- Η διέλευση χρησιμοποιούμενων νερών.
- Η κατασκευή αγωγών και στραγγιστηρίων.
- Η ύπαρξη τελμάτων ή ιχθυοτροφείων.

Η ζώνη II εκτείνεται από το εξωτερικό όριο της ζώνης I, μέχρι μία μία γραμμή από την οποία το υπόγειο νερό χρειάζεται περίπου 60 μέρες για να φτάσει.

Γ) Ζώνη I ή άμεσης προστασίας ή απαγορευμένη.

Η ζώνη αυτή προστατεύει το άμεσο περιβάλλον της υδροληψίας από τη ρύπανση και άλλες βλάβες.

Στη ζώνη αυτή εκτός από τις προηγούμενες απαγορεύσεις, απαγορεύεται:

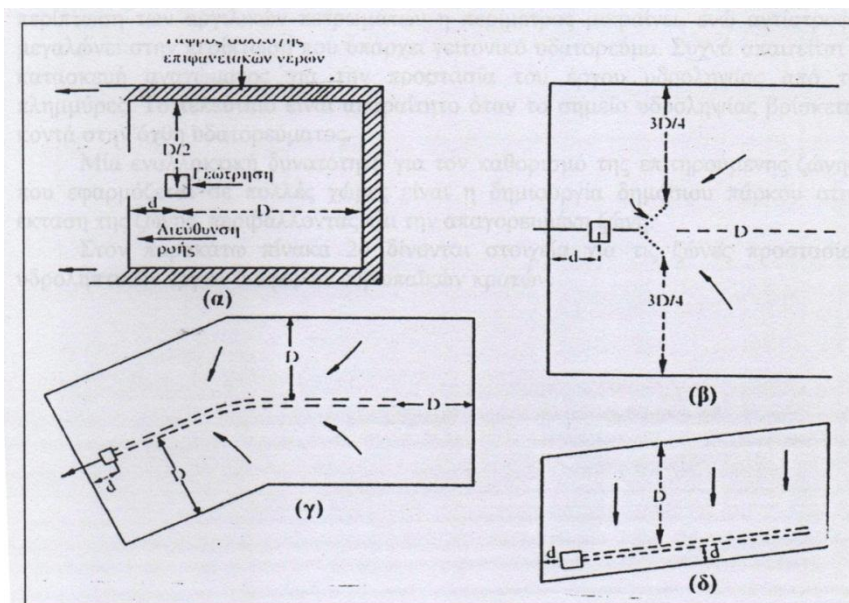
- Η κυκλοφορία οχημάτων και η διάβαση πεζών.
- Κάθε γεωργική δραστηριότητα.
- Η χρησιμοποίηση φυτοφαρμάκων και παρασιτοκτόνων.

Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται και σαν ζώνη πλήρους απαγόρευσης. Ανάλογα με τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν η έκτασή της προς τα ανάντη, είναι η εξής:

- ✓ Φτάνει σε απόσταση $D=30-100$ μέτρα από το σημείο υδροληψίας, σε σχηματισμούς ασβεστούχου πηλού, λεπτόκοκκων άμμων και μολάσας, σε ηφαιστίτες και σε γρανιτικά και γνευσιακά αποσαθρώματα.
- ✓ Σε απόσταση $D=100-300$ μέτρα από το σημείο υδροληψίας, σε αδρομερή αλλούβια, χονδρόκοκκους ψαμμίτες και στη ζώνη εξαλλοίωσης γρανιτών και γνεύσιων.
- ✓ Σε απόσταση $D>300$ μέτρα στα συμπαγή ρωγματωγμένα ή σπηλαιώδη πετρώματα. Στην περίπτωση των καρστικών συστημάτων η απαγορευμένη ζώνη εκτείνεται σε μεγάλη απόσταση. Ο προσδιορισμός της έκτασης της περιμέτρου γίνεται με ιχνηθετήσεις.

Τα παραπάνω αναφέρονται σε γενικές περιπτώσεις που δεν

αναφέρονται εστίες μόλυνσης. Και οι τρεις ζώνες μαζί πρέπει να καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή τροφοδοσίας του έργου υδροληψίας. Προς τα κατάντη η απόσταση περιορίζεται σε μερικά μέτρα από το σημείο υδροληψίας.



Σχήμα 10.1: Σχηματική διάταξη διαφόρων περιπτώσεων περιμέτρων προστασίας: (α) το έργο υδροληψίας είναι κατακόρυφο και προστατεύεται από τα επιφανειακά νερά με περιμετρική τάφρο. (β) το έργο υδροληψίας είναι κατακόρυφο και προστατεύεται με σταγγιστήρα. (γ) το έργο υδροληψίας είναι οριζόντιο, παράλληλο προς τη διεύθυνση του υπόγειου νερού. (δ) το έργο υδροληψίας είναι οριζόντιο κάθετο προς τη διεύθυνση ροής.

Μία μέθοδος καθορισμού της περιμέτρου προστασίας των πόσιμων και ιαματικών νερών, είναι η μέθοδος της γραμμής των X ημερών (20 ή 60 ημερών) με βάση το χρόνο που χρειάζεται ένας ρύπος να φτάσει στο σημείο υδροληψίας, δηλαδή η γραμμή των 20 πχ. ημερών είναι η περίμετρος εκείνη γύρω από υδρομαστευτικό έργο, από κάθε σημείο της οποίας το νερό χρειάζεται 20 ημέρες για να φτάσει σε αυτό. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες αντί της προϋπάρχουσας μεθόδου έχουν υιοθετήσει την μέθοδο καθορισμού των αποστάσεων D, με πειραματικά δεδομένα. Η μέθοδος αυτή δίδει την δυνατότητα υπολογισμού της απόστασης D από το σημείο υδροληψίας μέχρι και τα διάφορα σημεία της περιμέτρου της ζώνης II. Η απόσταση μετριέται με αντίθετη φορά προς εκείνη της ροής του υπόγειου νερού.

Οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια αποτελούν το κέντρο της περιμέτρου προστασίας, αφού και κατά τις αντλήσεις η ροή γίνεται ακτινωτή προς τη γεώτρηση. Η έκταση της απαγορευμένης ζώνης μικραίνει όσο μεγαλώνει το

βάθος του υδροφόρου και όσο πιο αδιαπέρατα είναι τα επιφανειακά στρώματα. Έτσι στην περίπτωση των αργιλικών πετρωμάτων η περίμετρος μικραίνει, ενώ αντίστροφα μεγαλώνει στην περίπτωση που υπάρχει γειτονικό υδατορεύμα. Συχνά απατείται η κατασκευή αναχώματος για την προστασία του έργου υδροληψίας από τις πλημμύρες. Το τελευταίο είναι απαραίτητο όταν το σημείο υδροληψίας βρίσκεται κοντά στην όχθη υδατορεύματος.

Μία εναλλακτική δυνατότητα για τον καθορισμό της επιτηρούμενης ζώνης, που εφαρμόζεται σε πολλές χώρες είναι η δημιουργία δημόσιου πάρκου στην έκταση της ζώνης, περιβάλλοντας και την απαγορευμένη ζώνη.

Στον παρακάτω πίνακα 24 δίνονται στοιχεία για τις ζώνες προστασίας υδροληπτικών έργων διάφορων ευρωπαϊκών κρατών.

Κυριότερες απαγορεύσεις	Γερμανία	Αυστρία	Βέλγιο	Φιλανδία	Ολλανδία	Γαλλία	Ελβετία	Τσεχία	Ουγγαρία	Νορβηγία							
Επιτρέπονται μόνο οι απαραίτητες για την υδροληψία δραστηριότητες	Ζώνη I 10-100 m	Ζώνη προστασίας 50 ημέρες	Ζώνη άμεσης προστασίας	Περιοχή υδροληψίας Εσωτερική ζώνη προστασίας	Περιοχή υδροληψίας (>30 m)	Ζώνη Άμεσης 10-20 m Εσωτερική Περιοχή προστασίας	Ζώνη I 10-20 m	Πρώτη Ζώνη Υγειονομικής 10-50 m Εσωτερική δεύτερη ζώνη υγειονομικής προστασίας	Ζώνη προστασίας	Ζώνη α (ζώνη 10-30m)							
Πέρα από εκείνες της Ζώνης III και οι εξής δραστηριότητες: -Γεωργικές -Κτηνοτροφικές -Κατασκευαστικές -Οδοποιίας -Λατομικές -Μεταλλευτικές -Οικιστικές -Αθλητικές	Ζώνη II 50 ημέρες		100 m ή 24 ώρες								Εξωτερική ζώνη προστασίας (300-1000m)	60 ημέρες	50-60ημέρες	Εξωτερική ζώνη προστασίας	>60 ημέρες ≥100 m	50 ημέρες	Ζώνη I 60 ημέρες
I)Εγκατάσταση και λειτουργία: -Ρυπογόνων βιομηχανιών -Πυρηνικών εργοστασίων -Διυλιστηρίων -Λιωτριβίων -Νοσοκομείων -Πρατήριων υγρών καυσίμων -Στρατιωτικών εγκαταστάσεων -Αεροδρομίων -Νεκροταφείων II) Μεταφορά, απόρριψη, θάψιμο αποβλήτων, φυτοφαρμάκων, ορυκτέλαιων, χημικών ουσιών	Ζώνη IIIA 2km Ζώνη IIIB		Ζώνη μερικής προστασίας								Μακρινή περιοχή προστασίας	60 ημέρες Εξωτερική ζώνη προστασίας	50-60ημέρες Περιοχή προστασίας 10 χρόνια Περιοχή προστασίας 25 χρόνια Μακρινή περιοχή τροφοδοσίας	???? Μακρινή περιοχή προστασίας	Εξωτερική ζώνη προστασίας >200 m	???	Περιοχή Υδρογεωλογικής προστασίας 25-100 χρόνια Τοπική προστασία
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ																	

10.2.3. Επεξεργασία υγρών αποβλήτων στο έδαφος και προστασία των υδροφόρων

Μία μέθοδος αρκετά δημοφιλής είναι η απόρριψη των υγρών αποβλήτων στο έδαφος, όταν βέβαια οι εδαφικές, οι κλιματολογικές, οι υδρογεωλογικές συνθήκες το επιτρέπουν.

Οι τεχνικές που ακολουθούνται είναι οι εξής:

- Άρδευση
- Κατείσδυση-διήθηση
- Επιφανειακή απορροή
- Χρησιμοποίηση φυσικών ή τεχνητών υδροβιότοπων.

Τα κριτήρια επιλογής μίας τεχνικής είναι:

- Στραγγιστικότητα του εδάφους, από την οποία εξαρτάται ο ρυθμός διάθεσης στο έδαφος των λυμάτων στο έδαφος.
- Ποιότητα των λυμάτων.
- Κλιματολογικές συνθήκες.
- Τρωτότητα των υδροφορέων.
- Διαθέσιμη γη.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε μεθόδου.

Χαρακτηριστικά	Άρδευση	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή απορροή	Υδροβιότοποι
Ρυθμός διάθεσης λυμάτων m^3/m^2 εβδομάδα	0,01-0,1	0,1-2,0	0,1-0,3	
Ρυθμός αύξησης οργανικού φοτρίου g BODs/ m^2 εβδομάδα	2-20	50-400	20-60	60-80
Μέθοδος εφαρμογής	Επιφανειακή ή καθίζηση	Επιφανειακή	Ψεκασμό ή επιφανειακή	Επιφανειακή
Ελάχιστη απαιτούμενη προεπεξεργασία	Καθίζηση	Καθίζηση	Απομάκρυνση με αμμοσυλλέκτες και τριβεία	Καθίζηση
Ανάγκη χλωρίδας	Απαραίτητη	Κατά περίπτωση	Απαραίτητη	Απαραίτητη
Τρόπος διάθεσης των υγρών αποβλήτων	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση	Διήθηση και εξατμισοδιαπνοή	Επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή	Επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή

BODs σε g/m ³ των εκπομπών	2-5	5-10	10-15	5-20
SS σε g/m ³ των εκπομπών	1-5	2-5	10-20	5-20

Πίνακας 10.1: Σχεδιαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά συστημάτων επιφανειακής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

- ❖ **Άρδευση:** σκοπός της μεθόδου είναι να αποφεύγεται η ρίψη των αποβλήτων στα υδατορεύματα και η χρησιμοποίηση των θρεπτικών ουσιών που περιέχονται σε αυτά από τα φυτά, μέσω της άρδευσης. Ακόμη το έδαφος χρησιμοποιείται σαν φυσικό φίλτρο που καθαρίζει το νερό των αποβλήτων, μετατρέποντάς το σε κατάλληλο για τον εμπλουτισμό των υδροφόρων. Βέβαια το TDS των υπόγειων νερό αυξάνει ενώ το πάχος της ακόρεστης ζώνης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 1,5m. Το έδαφος πρέπει να αποτελείται από ιλυούχους πηλούς επαρκούς διαπερατότητας.

Το σύστημα εδάφους-φυτών απομακρύνει εξ'ολοκλήρου τα αιωρούμενα στερεά, το BOD, τα βακτήρια και τους ιούς έτσι ώστε η βαθιά διήθηση του νερού από το σύστημα να είναι σχετικά καλής ποιότητας, τουλάχιστον κάτω από υγρές κλιματολογικές συνθήκες. Στην περίπτωση των ξηρών κλιματολογικών συνθηκών παρατηρείται αύξηση του TDS του βαθιά διηθούμενου νερού από αυτών των υγρών αποβλήτων κατά τρεις έως δέκα φορές.

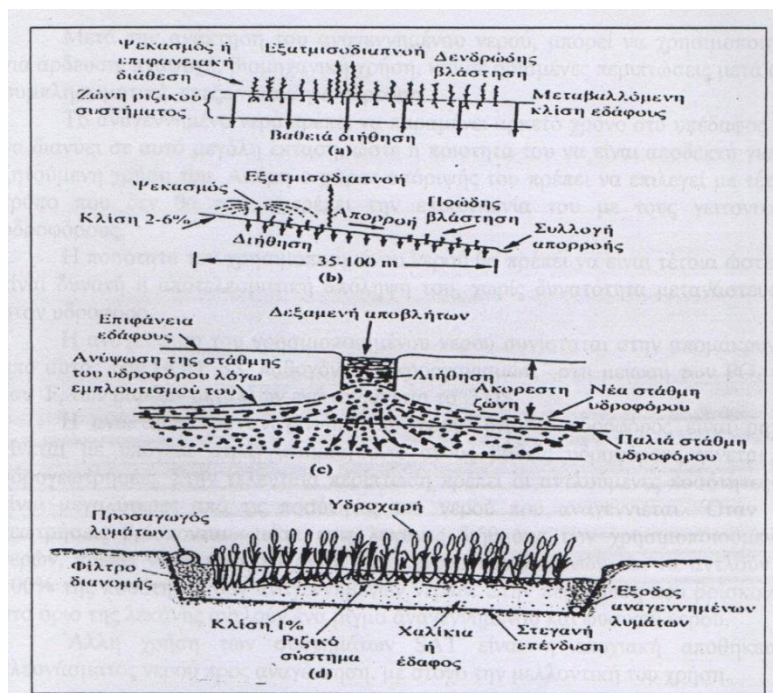
- ❖ **Κατείσδυση – διήθηση:** εφαρμόζεται μόνο σε υδροπερατά εδάφη (άμμοι, αμμούχοι πηλοί). Τα υγρά απόβλητα διοχετεύονται σε λεκάνες εμπλουτισμού, από όπου η φυτοκάλυψη αφαιρεί μεγάλο μέρος των αιωρούμενων στερεών και οργανικών υλικών, αλλά τα μονοσθενή ιόντα και οι παθογόνοι οργανισμοί κατεισδύουν προς τον υδροφόρο.

Για να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος πρέπει το πάχος της ακόρεστης ζώνης να είναι μεγαλύτερο από 5-6m, ιδιαίτερα αν η θέση επεξεργασίας γειτονεύει με ελεύθερο υδροφόρο. Ο ρυθμός φόρτωσης της περιοχής με υγρά απόβλητα πρέπει να είναι μικρότερος από 100mm/εβδομάδα και ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εφαρμογές της μεθόδου πρέπει να παρεμβάλλεται διάστημα στράγγισης 1-2 εβδομάδων.

Κάτω από ευνοϊκές υδρογεωλογικές, εδαφικές και κλιματολογικές συνθήκες, τα φωσφορικά καθιζάνουν σε ποσοστό 80-90%, ενώ το BOD του

αναγεννημένου νερού θεωρείται μηδενικό. Οι συγκεντρώσεις πολλών μετάλλων και φθορίου στο αναγεννημένο νερό είναι πολύ μικρότερες από εκείνες των αποβλήτων, ίδιες στην περίπτωση του βορίου και αρκετά υψηλές σε αυτή του οργανικού άνθρακα (TOC). Κολοβακτηριοειδή, βακτηρίδια και ιοί δεν φτάνουν στον υπόγειο υδροφόρο.

- ❖ **Επιφανειακή απορροή:** η μέθοδος αυτή αποτελεί τη συνέχεια της μεθόδου της άρδευσης στην περίπτωση που γίνεται σε στεγανά εδάφη. Τα απόβλητα οδηγούνται σε κεκλιμένους αναβαθμούς με γρασίδι και ρέουν προς την συλλεκτήρια τάφρο, που βρίσκεται στον πυθμένα κάθε αναβαθμού. Η αναγέννηση επιτυγχάνεται με διήθηση και βακτηριακή αποσύνθεση καθώς το νερό κινείται αργά μέσω της φυτοκάλυψης. Η κλίση των κλιτών είναι 2-8%, ενώ η διάθεση των αποβλήτων είναι διακοπτόμενη.
- ❖ **Υδροβιότοποι:** είναι φυσικοί ή τεχνητοί υδροβιότοποι μικρού βάθους (<0,6m) με πυκνή βλάστηση από υδρόβια φυτά ή υάκινθους, όπου διοχετεύονται με αργούς ρυθμούς τα προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Πρέπει να προσέχεται να μην αναπτύσσονται σε αυτούς τους χώρους αποικίες κουνουπιών. Αρνητικό αυτής της μεθόδου είναι ότι εισάγονται στο έδαφος μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών.



Σχήμα 10.2. Επεξεργασία αποβλήτων στο έδαφος: (α) μέθοδος άρδευσης, (β) μέθοδος επιφανειακής απορροής, (c) μέθοδος κατείσδυσης-διήθησης, (d) υπεδαφικός υδροβιότοπος.

10.2.4. Συστήματα εδάφους υδροφόρου (SAT)

Η επιφανειακή επεξεργασία μεταχειρισμένων νερών εφαρμόζεται στις περιπτώσεις των αστικών, αγροτικών και βιομηχανικών λυμάτων, των σκουπιδότοπων και των κτηνοτροφικών υγρών αποβλήτων. Τα αναγεννημένα νερά αν και είναι καλύτερης ποιότητας από τα υγρά λύματα, δεν φτάνουν την ποιότητα του φυσικού νερού. Η ανάμιξή τους λοιπόν, με το νερό των υδροφόρων θα πρέπει να είναι περιορισμένη και να γίνεται σωστή επιλογή των θέσεων επεξεργασίας και διάθεσης των αναγεννημένων νερών, ώστε φιλτράρονται από το έδαφος ή να γίνεται απόληψή τους με στραγγιστήρια, αν ο υδροφόρος είναι ρηχός ή με γεωτρήσεις άντλησης, αν ο υδροφόρος είναι βαθύς.

Μετά την ανάκτηση του αναγεννημένου νερού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, αναψυχή, βιομηχανική χρήση και σε ορισμένες περιπτώσεις μετά από συμπληρωματική επεξεργασία για ύδρευση.

Το αναγεννημένο νερό πρέπει να παραμείνει αρκετό χρόνο στο υπέδαφος και να διανύει σε αυτό μεγάλη έκταση, ώστε η ποιότητά του να είναι αποδεκτή για τη ζητούμενη χρήση του. Ακόμη ο χώρος απόρριψής του πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο που δεν θα του επιτρέψει την επικοινωνία του με τους γειτονικούς υδροφόρους.

Η ποσότητα του χρησιμοποιημένου νερού θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατή η αποτελεσματική απόληψή του, χωρίς δυνατότητα μετανάστευσης στον υδροφόρο.

Η αναγέννηση του χρησιμοποιημένου νερού συνίσταται στην απομάκρυνση από αυτό των BOD, SS, παθογόνων μικροοργανισμών, στη μείωση των PO₄ και του F, των βαρέων μετάλλων ενώ αυξάνεται το TDS.

Μετά την ανάκτηση του αναγεννημένου νερού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, βιομηχανική χρήση και σε ορισμένες περιπτώσεις μετά από συμπληρωματική επεξεργασία για ύδρευση.

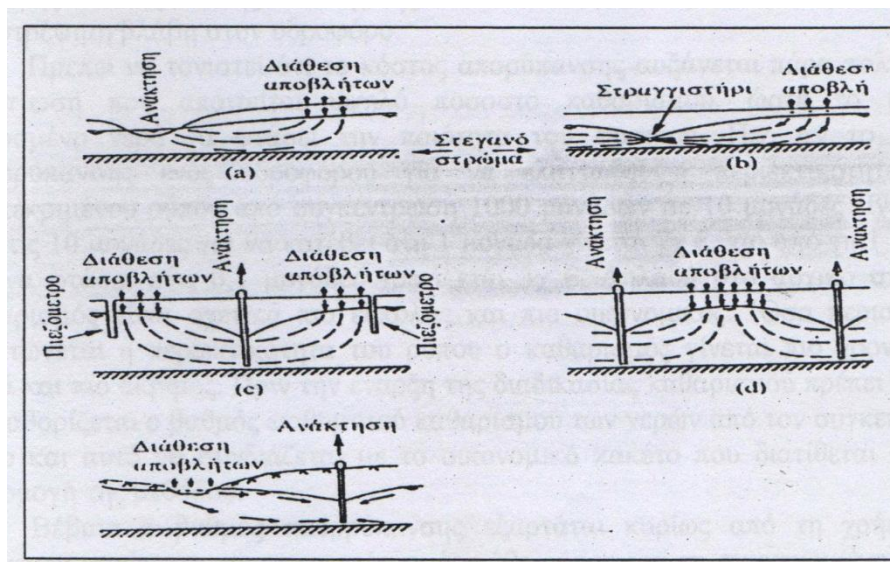
Το αναγεννημένο νερό πρέπει να παραμένει αρκετό χρόνο στο υπέδαφος και να διανύει σε αυτό μεγάλη έκταση, ώστε η ποιότητά του να είναι αποδεκτή για τη ζητούμενη χρήση του. Ακόμη ο χώρος απόρριψής του πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο που δεν θα του επιτρέψει την επικοινωνία του με τους γειτονικούς υδροφόρους.

Η ποσότητα του χρησιμοποιημένου νερού θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατή η αποτελεσματική απόληψή του, χωρίς δυνατότητα μετανάστευσης στον υδροφόρο.

Η αναγέννηση του χρησιμοποιημένου νερού συνίσταται στην απομάκρυνση από αυτό των BOD, SS, παθογόνων μικροοργανισμών, στη μείωση των PO_4 και του F, των βαρέων μετάλλων ενώ αυξάνεται το TDS.

Η ανάκτηση του αναγεννημένου νερού, όταν ο υδροφόρος είναι ρηχός γίνεται με υπόγεια στραγγιστήρια, ενώ στους βαθείς υδροφόρους γίνεται με υδρογεωτρήσεις. Στην τελευταία περίπτωση πρέπει οι αντλούμενες ποσότητες να είναι μεγαλύτερες από τις ποσότητες του νερού που αναγεννιέται. Όταν οι γεωτρήσεις βρίσκονται μέσα στις λεκάνες διήθησης των χρησιμοποιούμενων νερών, πρέπει να κατασκευάζονται στο κέντρο των λεκανών και να αντλούν το 100% της ποσότητας των ανγεννημένων νερών. Στην περίπτωση που βρίσκονται στο όριο της λεκάνης αντλούν ένα μίγμα αναγεννημένου και φυσικού νερού.

Άλλη χρήση των συστημάτων SAT είναι η εποχιακή αποθήκευση πλεονάσματος νερού προς αναγέννηση, με στόχο την μελλοντική του χρήση.



Σχήμα 10.3: Συστήματα SAT: Ανάκτηση ανγεννημένου στον υδροφόρο νερό. (a): σε γειτονικό υδατόρευμα, (b): με υπόγειο στραγγιστήρι, (c): και (d) και (e): με υδρογεωτρήσεις.

10.3. Έλεγχος και περιορισμός της ρύπανσης - Απορρύπανση

Όταν η πρόληψη δεν είναι αρκετή για να αντιμετωπιστεί η ρύπανση ενός υδροφόρου, γίνεται επιτακτική η ανάγκη εύρεσης μεθόδων που θα οδηγήσουν στην αποτελεσματική απορρύπανσή του.

Το πρώτο στάδιο αυτής της διαδικασίας είναι η διάγνωση της ρύπανσης, η εκτίμηση του κινδύνου που προκαλεί, η ευκολία της διάδοσής της και η εμμονή της.

Το δεύτερο στάδιο που πρέπει να μελετηθεί, είναι το πόσο απαραίτητη είναι η απορρύπανση του συγκεκριμένου υδροφόρου και μέχρι πιο βαθμό πρέπει να προχωρήσει ο καθορισμός του, τα οποία εξαρτώνται από τη χρήση του υδροφόρου.

Ορισμένα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τη σχεδίαση ενός προγράμματος απορρύπανσης υδροφόρου είναι τα εξής:

- ✓ Το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην αρχική εκπομπή των ρυπαντών στο περιβάλλον και της εμφάνισης της ρύπανσης στο νερό των υδρογεωτρήσεων. Σε περιπτώσεις που χρονικό διάστημα είναι πολύ μεγάλο η ζημιά που θα έχει προκληθεί στον υδροφόρο μπορεί να είναι ανεπανόρθωτη.
- ✓ Τα αποτελέσματα της ρύπανσης αν διαρκούν πάρα πολύ μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα και στις μελλοντικές γενιές.
- ✓ Στην περίπτωση των τοξικών αποβλήτων, πολύ μικρές, μη ανιχνεύσιμες, ποσότητες προκαλούν σοβαρές βλάβες.
- ✓ Η λήψη μέτρων πρέπει να γίνεται εγκαίρως και να μην αναβάλλεται λόγω έλλειψης αποδείξεων της έκτασής της, ώστε να αντιμετωπίζεται πριν προκληθεί μη αναστρέψιμη βλάβη στον υδροφόρο.

Πρέπει να τονιστεί ότι το κόστος απορρύπανσης αυξάνεται πάρα πολύ, στην περίπτωση που απαιτείται υψηλό ποσοστό καθαρισμού, ώστε το υπόγειο μολυσμένο νερό να φτάσει την ποιότητα του φυσικού. Π.χ αν το κόστος απορρύπανσης ενός υδροφόρου για να ελαττωθεί η περιεκτικότητα ενός συγκεκριμένου ρύπου από συγκέντρωση 1000 μονάδων σε 10 μονάδες είναι χ €, από τις 10 μονάδες για να κατέβει στη 1 μονάδα γίνεται 2χ € και από τη 1 μονάδα για να φτάσει στις 0,1 μονάδες χρειάζεται 3χ €. Δηλαδή στο αρχικό στάδιο ο καθαρισμός είναι σχετικά πιο εύκολος και πιο οικονομικός. Όσο περισσότερο ελαττώνεται η περιεκτικότητα του ρύπου ο καθαρισμός γίνεται πιο χρονοβόρος αλλά και πιο ακριβής. Πριν την έναρξη της διαδικασίας καθαρισμού πρέπει δηλαδή να καθορίζεται ο βαθμός επιθυμητού καθαρισμού των νερών από τον συγκεκριμένο ρύπο και αυτό να συνδιάζεται με το οικονομικό πακέτο που διατίθεται για την εφαρμογή της μεθόδου.

Βέβαια ο βαθμός απορρύπανσης εξαρτάται κυρίως από τη χρήση των υπόγειων νερών και τις επιτρεπτές τιμές κάθε ρύπου για τη συγκεκριμένη χρήση. Έτσι στην περίπτωση που το νερό προορίζεται για πόση δεν πρέπει να περιέχει νιτρικά, νιτρώδη και αμμωνιακά ιόντα (οι αποδεκτές συγκεντρώσεις τους είναι μικρότερες από 30mg/l, 0,1mg/l και 0,5 mg/l αντίστοιχα). Αν όμως το νερό προοριζόταν για άρδευση οι επιθυμητές συγκεντρώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις προαναφερόμενες.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η ρύπανση υδροφόρου ορίζοντα με πετρέλαιο από διαρροές δεξαμενών, ατυχήματα και άλλες αιτίες. Σε αυτή την περίπτωση ο τέλειος καθαρισμός του υπόγειου νερού, δεν το καθιστά κατάλληλο για πόση, αφού δεν εξαφανίζεται η οσμή του πετρελαίου. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό αναπλήρωσης των πόρων έρχεται σε επαφή με το υμαίνιο ρυπαθέντος νερού, που παραμένει προσκολλημένο στους κόκκους του υδροφόρου στρώματος με δυνάμεις συνάφειας. Η οσμή όμως δεν εμποδίζει τη χρήση νερού στην άρδευση, στη βιομηχανία κ.α.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω είναι φανερό ότι η απορρύπανση και ο βαθμός απομάκρυνσης ενός ρύπου είναι αποφάσεις που πρέπει να λαμβάνονται συλλογικά από τη δημόσια αρχή που είναι επιφορτισμένη για αυτό το σκοπό, τον ειδικό μελετητή που έχει μελετήσει τη ρύπανση και την τεχνική απορρύπανσης και τέλος τον ρυπαίνον, επειδή σύμφωνα με το νόμο πληρώνει τη δαπάνη αποκατάστασης.

Πριν αρχίσει η εφαρμογή μιας διαδικασίας απορρύπανσης πρέπει να είναι γνωστά τα εξής:

- Ποια (ή ποιες) μέθοδος θα εφαρμοστεί.
- Σε ποια έκταση και σε πιο βάθος θα γίνει η εφαρμογή.
- Ποια θα είναι η διάρκεια του έργου.
- Ποιο θα είναι το βέλτιστο κόστος, δηλαδή αυτό που θα εξασφαλίζει τη μικρότερη δαπάνη και το καλύτερο αποτέλεσμα.

10.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου απορρύπανσης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου απορρύπανσης είναι:

- Τεχνικοί, η εφαρμοζόμενη τεχνική απορρύπανσης πρέπει να ανταποκρίνεται στη συγκεκριμένη περίπτωση με τον καλύτερο τρόπο.
- Οικονομικοί.

α) Τεχνικοί παράγοντες

- ✓ Η προτεινόμενη μέθοδος πρέπει να είναι διαθέσιμη στην αγορά της περιοχής ενδιαφέροντος.
- ✓ Πρέπει να αποφεύγονται οι εξειδικευμένες συνθήκες τεχνολογίας που εφαρμόζονται σε ειδικές πολύπλοκες περιπτώσεις.
- ✓ Πρέπει να γίνεται υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής και να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά και οι συγκεντρώσεις των μολυντών. Υπάρχουν στην αγορά κάποιες βάσεις δεδομένων όπως είναι οι VISIT των ΗΠΑ, η SELECT του Καναδά, η CNRSSP της Γαλλίας κ.α. που περιγράφουν τις τεχνικές απορρύπανσης και δίνουν πληροφορίες για την εφαρμογή τους, βοηθώντας τον ερευνητή να καταλήξει στην καταλληλότερη τεχνική. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ορισμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων ορισμένων οργανικών ρυπαντών οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν στην επιλογή της μεθόδου απορρύπανσης.

ΡΥΠΑΝΤΗΣ	Ειδικό Βάρος	Διαλυτότητα (σε g/m ³ στους 20-25° C)	Πτητικότητα (σταθερά Henry σε PA.m ³ /mole)
Eicosane	<1	0,002	25
Hexachlorobenzene	1,6	0,11	0,005
Methylethylcetone	0,81	353	2,4
Chlorure de vinyl	0,91	1,1	2800
Benzene	0,88	1780	555
Tetrachloroethylene	1,61	150	1500
Chlorure d'ethylene	1,24	9200	0,97
Tetrachlorure de carbon	1,59	1160	2300

Πίνακας 10.2: Χαρακτηριστικά ορισμένων οργανικών ρυπαντών (κατά C.Lagny, 1991).

Η περατότητα των υλικών και το πορώδες παίζουν και αυτά καθοριστικό ρόλο στην επιλογή της μεθόδου απορρύπανσης. Τα όρια που θέτουν ορισμένοι ερευνητές για την εφαρμογή της μεθόδου άντλησης υγρών ρυπαντών ή αναρρόφησης αέριου ρυπαντή που βρίσκεται εγκλωβισμένος μέσα στους πολύ

μικρών διαστάσεων πόρους των ιζημάτων είναι οι τιμές της περατότητας από 10^{-8} έως 10^{-9} m/s, για κοκκομετρίες μεταξύ αργιλώδους άμμου και ιλύος.

- ✓ Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά την επιλογή της μεθόδου απορρύπανσης εκτός από την συγκέντρωση του ρυπαντή, είναι και ο όγκος των υλικών που θα αφαιρεθούν, δηλαδή ο τρόπος και οι δυνατότητες που υπάρχουν για την απόρριψη αυτού του υλικού, σύμφωνα με το διοικητικό και νομικό καθεστώς της περιοχής.
- ✓ Ακόμη η έκταση της περιοχής, η μορφολογία του εδάφους, οι καιρικές συνθήκες, αλλά και η χρήση της περιοχής σημερινή και μελλοντική, επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου. Είναι ευνόητο ότι είναι δυνατό να εφαρμοστεί η ίδια μέθοδος σε μία αστική και σε μία αγροτική περιοχή.
- ✓ Τέλος σημαντικό ρόλο στην επιλογή της μεθόδου παίζει και ο χρόνος που πρέπει να ολοκληρωθεί η διαδικασία της απορρύπανσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο χρόνος είναι πολύ μικρός γιατί δεν πρέπει π.χ. να φτάσει ο ρύπος σε σημείο υδροληψίας. Σε αυτή την περίπτωση επιλέγεται μέθοδος με γρήγορα αποτελέσματα και ανεξάρτητου κόστους.

β) Οικονομικοί παράγοντες

Οι μέθοδοι απορρύπανσης γενικά έχουν υψηλό κόστος εφαρμογής, το οποίο αυξάνει αναλογικά με τον χρόνο εφαρμογής τους και εκθετικά με την ελάτωση του ρυπαντή μέσα στο ρυπανθέν υλικό. Δηλαδή όσο πιο υψηλή είναι η απαίτηση για απορρύπανση τόσο πιο χρονοβόρα και ακριβή γίνεται, δεδομένου ότι η απομάκρυνση ελάχιστης ποσότητας ρυπαντή αποτελεί δύσκολη παρέμβαση.

Η εκτίμηση του κόστους απορρύπανσης πριν την ολοκλήρωση της εφαρμογής της είναι πολύ δύσκολη και καθίσταται δυσκολότερη όταν οι πληροφορίες που υπάρχουν για τις τοπικές συνθήκες και την εξάπλωση της μόλυνσης είναι περιορισμένες.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το κόστος εφαρμογής είναι η δυνατότητα να γίνει η απορρύπανση επί τόπου “in situ” ή θα πρέπει τα ρυπαθέντα υλικά να αφαιρεθούν από τη ρυπασμένη ζώνη, να μεταφερθούν αλλού για επεξεργασία και καθαρισμό και στη συνέχεια να επανατοποθετηθούν στην αρχική τους θέση. Η τελευταία διαδικασία εξαιτίας των δαπανών μεταφοράς ανεβάζει το ολικό κόστος της μεθόδου. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται

επί τόπου έχουν μικρότερο κόστος αλλά συνήθως είναι πιο πολύπλοκες στην εφαρμογή τους.

10.3.2. Μέθοδοι και τεχνικές απορρύπανσης

Στόχος της έρευνας που διεξάγεται πριν την εφαρμογή μιας μεθόδου απορρύπανσης, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο καθορισμός της παρουσίας ή απουσίας της υπόγειας ρύπανσης και η αξιολόγηση της έκτασης και της σοβαρότητας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η συλλογή των πληροφοριών κατά την αρχική μελέτη γίνεται με την άμεση ή έμμεση εφαρμογή των παρακάτω μεθόδων έρευνας:

- κατασκευή υδρογεωτρήσεων παρακολούθησης της ποιότητας του υπόγειου νερού.
- παρακολούθηση των αερίων του εδάφους.
- δειγματοληψία του εδάφους.
- γεωφυσικές έρευνες.

Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την εργαστηριακή έρευνα δίνουν στοιχεία για την κατανόηση της χημικής φύσης και της συμπεριφοράς των ρυπαντών στο υπόγειο νερό, που οδηγούν στην επιλογή της μεθόδου απορρύπανσης.

Η προκαταρκτική έρευνα απορρύπανσης, αλλά και η εφαρμογή μιας μεθόδου απορρύπανσης απαιτεί τον κατάλληλο εξοπλισμό. Παρακάτω παρατείνεται ο βασικότερος εξοπλισμός απορρύπανσης:

- Δειγματολήπτες εδάφους.
- Δειγματολήπτες υπεδάφους, π.χ. χειροκίνητοι δειγματολήπτες κτλ.
- Γεωτρήπανα δειγματοληψίας.
- Εξοπλισμός κατασκευής υδρογεωτρήσεων, όπως γεωτρήπανα, αντλίες, σωλήνες κτλ.
- Δειγματολήπτες νερού από γεωτρήσεις.
- Όργανα εκτέλεσης επί τόπου μετρήσεων και αναλύσεων, π.χ. πεχάμετρα, αγωγιμόμετρα κ.α.

Οι τεχνικές απορρύπανσης που χρησιμοποιούνται είναι πολλές. Μπορούμε να τις ταξινομήσουμε ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες σε:

- ❖ **Φυσικές μέθοδοι αφαίρεσης των ρύπων**, η απορρύπανση επιτυγχάνεται με φυσικές διεργασίες.

- ❖ *Φυσικές μέθοδοι παγίδευσης των ρύπων*, οι οποίες είτε εγκλωβίζουν, είτε σταθεροποιούν τον ρύπο, επί τόπου με φυσικές διεργασίες.
- ❖ *Χημικές και ηλεκτροχημικές μέθοδοι*, με τις οποίες αφαιρείται ή μετασχηματίζεται σε άλλη μορφή ο ρύπος, π.χ. δράση ενός διαλύτη, ενός οξέως, ενός ηλεκτρολύτη κ.α.
- ❖ *Θερμικές μέθοδοι*, οι οποίες στηρίζονται στην αρχή της θέρμανσης του ρυπαντή, ώστε αυτός να καταστραφεί ή να ακινητοποιηθεί.
- ❖ *Βιολογικές μέθοδοι*, οι οποίες στηρίζονται στη δράση και το μεταβολισμό ζώντων οργανισμών (βακτήρια κ.α.), τα οποία αποικοδομούν τον ρύπο και μειώνουν την αιτία ρύπανσης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι και τεχνικές απορρύπανσης των υδροφόρων και του εδάφους.

Για τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης χρησιμοποιούνται:

- Μέθοδοι εγκιβωτισμού (διαφράγματα)

Τα διαφράγματα κατασκευάζονται από υλικά στεγανοποίησης (μπετονίτη, τσιμέντο), από σιδερένιους πασσάλους ή από γεωμεμβράνες. Τα διαφράγματα μπορεί να τοποθετηθούν υπόγεια ή και επιφανειακά για να εμποδίσουν τη διήθηση της βροχής. Αρχικά είναι απαραίτητη η οριοθέτηση της ρυπασμένης περιοχής και αυτό γίνεται με γεωτρήσεις δειγματοληψίας σε διαφορετικά βάθη.

- Υδραυλικές μέθοδοι αναστροφής της κίνησης του υπόγειου νερού

Περιλαμβάνουν ρύθμιση της στάθμης ώστε να αποφευχθεί εκφόρτιση των ρυπασμένων νερών σε υδάτινους αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια) ή αραίωση των ρύπων. Οι υδραυλικοί φραγμοί δημιουργούνται με τον συνδυασμό γεωτρήσεων άντλησης και εμπλουτισμού.

- Μέθοδος σταθεροποίησης του εδάφους (soil stabilization, solidification)

Η εφαρμογή της μεθόδου βασίζεται στην ανάμειξη του ρυπασμένου εδάφους με κάποιο υλικό, ώστε το μείγμα (κονίαμα) να στερεοποιηθεί. Με αυτόν τον τρόπο τα ρυπαντικά φορτία εγκλωβίζονται μέσα στην στερεοποιημένη εδαφική μάζα. Επιπλέον η σταθεροποιημένη εδαφική μάζα έχει μικρή υδροπερατότητα και έτσι δεν ευνοείται η κίνηση του υπόγειου νερού και κατά συνέπεια η επέκταση της ρύπανσης.

Τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση των εδαφών είναι (Καββαδάς, 1996):

- το τσιμέντο

- η άσβεστος (CaO)
- συνθετικές ουσίες (πολυμερή)
- ασφαλτικά υλικά

Στις μεθόδους απορρύπανσης ανήκουν και οι μέθοδοι διάθεσης των λυμάτων στο έδαφος (άρδευση, διήθηση).

Τεχνική	Στόχος-Περιγραφή
Έλεγχος της πηγής ρύπανσης με μείωση του όγκου του ρυπαντή και φυσική χημική εξουδετέρωσή του.	Ελαχιστοποίηση ή πρόληψη της ρύπανσης των υδροφόρων. Μείωση του όγκου του ρυπαντή ή εξουδετέρωση του φυσικού ή χημικού του χαρακτήρα.
Συστήματα υδρογεωτρήσεων: Συστοιχίες ρηχών γεωτρήσεων Βαθείς γεωτρήσεις Υδραυλικός φραγμός Σύνθετα συστήματα Συστήματα αφαίρεσης μη αντιδρώντων ρυπαντών (υδρογονάνθρακες).	Έλεγχος της υδραυλικής κλίσης και μέσω αυτής της υπόγειας ροής με άντληση ή έκχυση νερού. Απόληψη του μολυσμένου νερού ή/και του επιπλέοντος ρυπαντή (υδρογονάνθρακες).
Συστήματα σύλληψης (interception systems): Στραγγιστήρια (συλλεκτήρια συστήματα στραγγιδιών-στραγγιστήρια εκτόνωσης) Τάφρος συλλογής με άντληση ή με βαρυτική ροή.	Τα συστήματα σύλληψης, είναι εκσκαφές στην κορεσμένη ζώνη, εξοπλισμένες με σωλήνα. Η εκσκαφή μπορεί να είναι ανοιχτή (interceptor trench) ή πληρωμένη με χαλίκι, πάνω από το σωλήνα (collector drain). Οι ανοιχτές εκσκαφές μπορεί να είναι ενεργές (άντληση) ή παθητικές (βαρυτική ροή). Προσομοιώνονται με συστοιχίες γεωτρήσεων άντλησης, που δημιουργούν έναν εκτεταμένο κώνο κατάπτωσης σε όλο το μήκος της εκσκαφής.
Έλεγχος των επιφανειακών νερών (φυσική εξουδετέρωση, επένδυση, αποχέτευση και συνδυασμός).	Ελαχιστοποίηση των αφίξεων επιφανειακών νερών και της κατείσδυσης, μέσω αποχέτευσης, επένδυσης-στεγανοποίησης ή/και εξουδετέρωση του ρυπαντή με προσρόφηση.
Φραγμοί (στεγανοί): πασσαλοσανίδες κουρτίνες στεγανοποίησης διαφράγματα από υδαρές υλικό.	Διοχέτευση υλικού μικρής υδροπερατότητας στο υπέδαφος, όπως πασσαλοσανίδες (άμεση στεγα-νοποίηση), τσιμεντενέσεις, διοχέτευση ενέματος σε πηγάδια ή τάφρους (απαιτείται περίοδος στερεοποίησης).
Επιτόπια επεξεργασία:	Εισαγωγή στο υπέδαφος υλικών που προκαλούν ή ενισχύουν το ρυθμό των χημικών

Χημική Βιολογική	αντιδράσεων, που ακινητοποιούν ή απομακρύνουν το ρυπαντή ή δημιουργούν περιβάλλον ευνοϊκό για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, που χρησιμοποιούν το ρυπαντή ως πηγή ενέργειας.
Επεξεργασία του υπόγειου νερού στην επιφάνεια ή στο υπέδαφος.	Αερο-διαχωρισμός οργανικών ρυπαντών, αερο-διασπορά, βιοαπορρύπανση, προσρόφηση από ενεργό άνθρακα. Για την αφαίρεση των μετάλλων και των ανόργανων ρυπαντών χρησιμοποιείται η χημική καθίζηση.

Πίνακας 10.3: Κυριότερες μέθοδοι και τεχνικές απορρύπανσης των υδροφόρων και του εδάφους (Καλλέργης, 2000).

10.3.3. Φυσικές μέθοδοι απομάκρυνσης των ρύπων

Οι φυσικές μέθοδοι απομάκρυνσης των ρύπων βρίσκουν εφαρμογή τόσο στην απορρύπανση εδαφών, όσο και υδροφόρων.

Σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε αφαίρεση των ρυπασμένων υλικών (εδαφών ή υπόγειου νερού) και τοποθέτησή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής, ή επεξεργασία τους ώστε να αφαιρεθεί ο ρύπος. Τα προϊόντα της επεξεργασίας επανατοποθετούνται στους φυσικούς τους χώρους.

Οι φυσικοί μέθοδοι απομάκρυνσης των ρύπων είναι οι εξής:

- Η εσκαφή του εδάφους
- Η άντληση του νερού
- Η άντληση του φακού του ρυπαντή
- Το πλύσιμο του εδαφικού υλικού και αφαίρεση του ρυπαντή με φυσική διεργασία και
- Οι μέθοδοι αφαίρεσης αερίων ρύπων από ρυπαθέντα υγρά ή στερεά.

α) Μέθοδος εσκαφής εδάφους

Αποτελεί μέθοδο απορρύπανσης εδαφών. Η διαδικασία που εφαρμόζεται είναι η εσκαφή και η αφαίρεση των ρυπαθέντων εδαφικών υλικών ή γενικώς στερεών υλικών. Ανήκει στις γρήγορες και αποτελεσματικές μεθόδους απορρύπανσης και εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που ο ρύπος δεν έχει προλάβει να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα, ή να μετακινηθεί σε πολύ μεγάλη απόσταση.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται και από την άμεση εφαρμογή της, δηλαδή πρέπει να λαμβάνει χώρα στο αρχικό στάδιο της ρύπανσης. Τέτοιες

περιπτώσεις που η ρύπανση γίνεται αμέσως αντιληπτή είναι συνήθως ατυχήματα, όπως θραύση αγωγών πετρελαίου, ανατροπή και θραύση μεταφορικού μέσου όπως βυτιοφόρου, βαγονιών τρένου κ.α.

Κατά την εσκαφή τα υλικά δεν πρέπει να αποθηκεύονται επί τόπου μέχρι να γίνει η αποκομηδή τους. Αν αυτό δεν είναι εφικτό γιατί η εσκαφή είναι γρηγορότερη από τη μεταφορά, πρέπει να διαλέγεται στεγανό έδαφος ή στεγανοποιημένη επιφάνεια προκειμένου να αποθηκεύονται προσωρινά.

Τα υλικά που αφαιρούνται πρέπει να οδηγούνται σε χώρους επεξεργασίας και καθαρισμού ή σε χώρους υγειονομικής ταφής. Στα ειδικά κέντρα επεξεργασίας επιτυγχάνεται η απομάκρυνση του ρύπου από τα εδαφικά υλικά, τα οποία στην συνέχεια επανατοποθετούνται στην αρχική τους θέση.

Η μέθοδος της εσκαφής βρίσκει εφαρμογή και στις περιπτώσεις που η κινητικότητα του ρύπου είναι πολύ μικρή, ώστε η ρύπανση να μην έχει επεκταθεί σε μεγάλη περιοχή (π.χ. σε περιοχές έλλειψης επιφανειακών και υπόγειων νερών).

Οι δυσκολίες που συναντάει αυτή η μέθοδος συνίσταται στην μορφολογία και στις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή απορρύπανσης. Έτσι σε χώρους που βρίσκονται σε αστικές ή βιομηχανικές περιοχές η απομάκρυνση εδαφικού υλικού ίσως εγκυμονεί κινδύνους για την ασφάλεια των υπαρχόντων κτιρίων. Δηλαδή θα πρέπει να ληφθούν μέτρα αντιστήριξης των πρανών, ενώ θα πρέπει να μετατοπιστούν δίκτυα υποδομών (π.χ. αποχετευτικό, υπόγειες καλωδιώσεις κ.α.). στις περιπτώσεις που η ρύπανση επεκτείνεται κάτω από οικοδομήματα η συγκεκριμένη μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί.

Ένας άλλος κίνδυνος είναι ότι κατά την αφαίρεση του εδαφικού υλικού μεταβάλλονται οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες λόγω αερισμού του υπεδάφους με αποτέλεσμα οι αντιδράσεις που θα ακολουθήσουν να εξαπλώσουν τη ρύπανση.

β) Άντληση υπόγειου νερού

Στην περίπτωση που η ρύπανση φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα, μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές απορρύπανσης είναι η άντληση του υπόγειου νερού με τη βοήθεια υδρογεωτρήσεων. Το νερό που αντλείται με γεωτρήσεις στην επιφάνεια επεξεργάζεται ώστε να αφαιρεθούν οι ρυπαντές και στη συνέχεια επανεισάγεται στον υδροφόρο είτε με την τοποθέτησή του σε γειτονικό υδρόρευμα, είτε με τον ψεκασμό του εδάφους με αυτό.

Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται εύκολη στην εφαρμογή της, όμως απαιτεί μεγάλο διάστημα ώστε να επιφέρει τα ζητούμενα αποτελέσματα. Το χρονικό διάστημα εφαρμογής της μπορεί να έχει διάρκεια μερικών ετών. Αυτό ωφείλεται στο γεγονός ότι σαν μέθοδος δεν περιορίζει, ούτε εξασθενεί την πηγή ρύπανσης από την οποία προέρχεται η ποιοτική υποβάθμιση του νερού. Έτσι η μέθοδος άντλησης – επεξεργασίας του μολυσμένου υπόγειου νερού πρέπει να συνεχίζεται για αρκετό διάστημα μετά την εξάντληση της πηγής ρύπανσης. Η σωστή εφαρμογή της μεθόδου δημιουργεί κώνο ταπείνωσης γύρω από το πηγάδι – γεώτρηση άντλησης, ο οποίος λειτουργεί και ως υδραυλικός φραγμός παρεμποδίζοντας την εξάπλωση του ρυπαντή προς την κατεύθυνση ροής των υπόγειων νερών.

Ο χρόνος που απαιτείται για την εξάντληση και τον μηδενισμό του ρυπαντή, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού και τη διαλυτότητά του σε αυτό. Στην περίπτωση που η διαλυτότητα του ρυπαντή είναι μεγάλη και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου διευκολύνουν τη γρήγορη μεταφορά του, ο κίνδυνος της εξάπλωσης της ρύπανσης σε μικρό χρονικό διάστημα σε ολόκληρο τον υδροφόρο ορίζοντα, είναι πολύ μεγάλος. Η αντιμετώπιση τέτοιου προβλήματος πρέπει να γίνει ταχύτατα, μόλις γίνει αντιληπτή η παρουσία της ρύπανσης, για να περιοριστεί και η επέκτασή της.

Όταν η διαλυτότητα του ρυπαντή είναι μικρή, τότε ο χρόνος που απαιτείται για να μολυνθεί ο υδροφόρος είναι πολύ μεγάλος, μπορεί να φτάσει και μερικές δεκαετίες. Στην περίπτωση ορισμένων οργανικών ρυπαντών με μικρή διαλυτότητα, των οποίων όμως πολύ μικρές περιεκτικότητες στο νερό, της τάξης των $\mu\text{g/l}$, είναι τοξικές η απομάκρυνσή τους από το υπόγειο νερό διαρκεί μεγάλη χρονική περίοδο.

Όταν δημιουργείται ρύπανση του ρυπαντή από τη στερεά φάση του υδροφόρου, η μέθοδος της άντλησης του υπόγειου νερού απαιτεί πολλές δεκαετίες ώστε να δώσει ουσιαστικά αποτελέσματα.

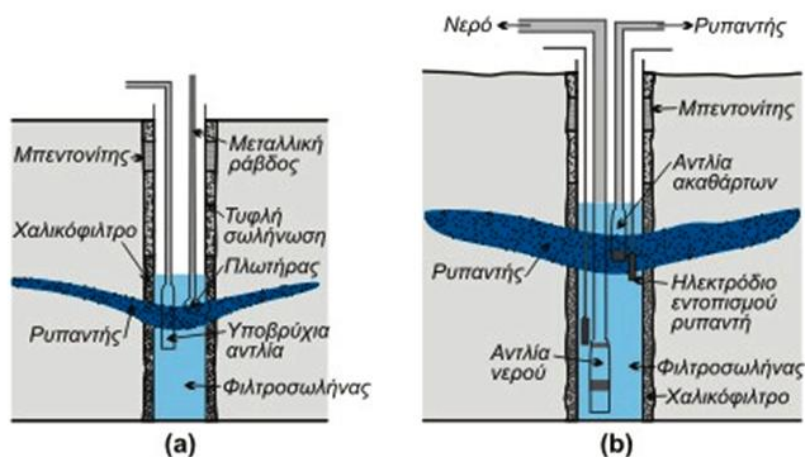
Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η απορρύπανση ενός υδροφόρου με τη μέθοδο της άντλησης εξαρτάται χρονικά από το είδος του ρυπαντή, από τις συνθήκες της υπόγειας υδροδυναμικής και από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου. Όμως η επιλογή μίας τέτοιας μεθόδου εξαρτάται και από το κονδύλι του προϋπολογισμού που διατίθεται για το έργο.

Μία μεγάλη χρονική περίοδος άντλησης αποδεικνύεται πολλές φορές οικονομικά ασύμφορη.

Κατά το στάδιο σχεδιασμού πρέπει να γίνεται μελέτη των υδρογεωλογικών και υδροδυναμικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή και να καθίστανται γνωστά τα χαρακτηριστικά του ρυπαντή. Από τα αποτελέσματα της μελέτης βγαίνουν συμπεράσματα για την σωστή τοποθέτηση των γεωτρήσεων άντλησης, την απαιτούμενη παροχή και το χρόνο που θα διαρκέσει.

Τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου είναι:

- Η μη ικανοποιητική γνώση των χαρακτηριστικών του υπόγειου υδροφορέα και του ρυπαντή.
- Η παρέμβαση προκαλεί αλλαγές στις συνθήκες του υδροφόρου συστήματος, όπως αύξηση της υδραυλικής κλίσης και της ταχύτητας ροής κοντά στο σημείο άντλησης, απομάκρυνση λεπτόκοκκου υλικού κ.α.



Σχήμα 10.4: Σχηματική παράσταση μεθόδου άντλησης και επιτόπια επεξεργασία του ρυπασμένου νερού.

γ) Άντληση επιπλέοντων ρύπων

Ένα πολύ συνηθισμένο είδος ρύπανσης είναι η ρύπανση του εδάφους με «ελαφρά» πετρελαιοειδή (πετρέλαιο, βενζίνη, κηροζίνη) λόγω διαφυγών ή ατυχημάτων σε δεξαμενές αποθήκευσης, αγωγούς ή βυτιοφόρα αυτοκίνητα. Τα πετρελαιοειδή που διαφεύγουν στο έδαφος, εάν βρίσκονται σε μικρές ποσότητες, κατακρατούνται συνήθως, λόγω των τριχοειδών δυνάμεων που δημιουργούνται, στους πόρους του εδάφους, εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης. Στην περίπτωση που η ποσότητα του πετρελαιοειδούς είναι μεγάλη, δεν

μπορεί να συγκρατηθεί στους εδαφικούς πόρους με αποτέλεσμα να φτάνουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Το πετρέλαιο και τα παράγωγά του έχουν μικρότερο ειδικό βάρος από το νερό με αποτέλεσμα να επιπλέουν χωρίς να αναμιγνύονται με αυτά. Ως ρυπαντές όταν φτάσουν στον υπόγειο υδροφόρο συγκεντρώνονται στην επιφάνειά του με τη μορφή κηλίδων, οι οποίες εξαπλώνονται οριζόντια φτάνοντας σε μεγάλες αποστάσεις από το σημείο διαρροής.

Η απορρύπανση υπόγειων φρεάτιων υδροφόρων από επιπλέοντες ρύπους γίνεται με το σύστημα διπλής άντλησης από την ίδια γεώτρηση – πηγάδι, με την βοήθεια δύο αντλιών, των οποίων οι αναρροφήσεις βρίσκονται σε διαφορετικά βάθη. Η μία αντλεί νερό μέσα από τον υδροφόρο δημιουργώντας γύρω της έναν κώνο ταπείνωσης της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο επιπλέον ρύπος αναγκάζεται, εξαιτίας της υδραυλικής κλίσης που δημιουργείται να ρέει προς τη γεώτρηση, απ' όπου αντλείται με τη δεύτερη αντλία. Με τη μέθοδο αυτή λαμβάνεται «καθαρός» ο ρύπος, με αποτέλεσμα στην περίπτωση των πετρελαιοειδών να μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ώστε να μειωθεί το κόστος απορρύπανσης.

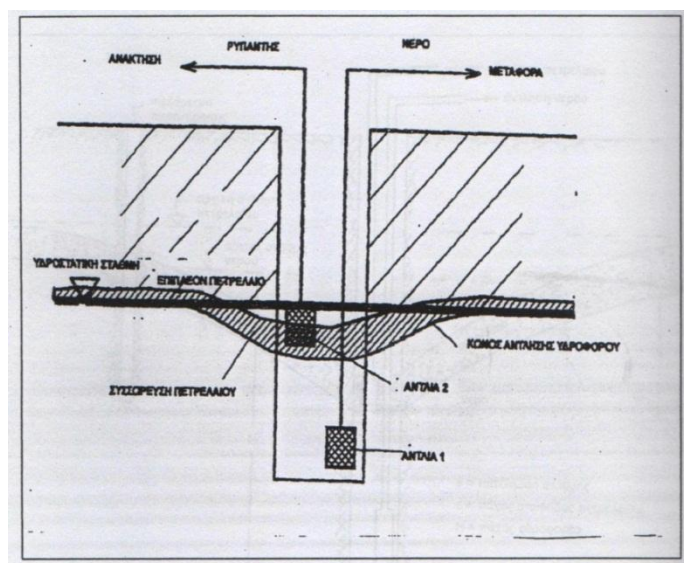
Η επιτυχία της μεθόδου απορρύπανσης με άντληση των επιπλέοντων ρύπων προϋποθέτει τη γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών του υδροφόρου και των χαρακτηριστικών του ρυπαντή. Η μορφή το μέγεθος του κώνου ταπείνωσης και η ακτίνα επίδρασης του αντλούμενου πηγαδιού – γεώτρησης εξαρτώνται από υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου. Πέρα από την ακτίνα επίδρασης ο ρύπος δεν μπορεί να κινηθεί προς το σημείο άντλησης και ακολουθεί την φυσική ροή του υπόγειου νερού. Για την επίτευξη της μεθόδου απορρύπανσης απαιτείται ο σχεδιασμός δικτύου πηγαδιών – γεωτρήσεων ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η μολυσμένη περιοχή. Σημαντικό πλεονέκτημα λοιπόν, αυτής της μεθόδου είναι ότι ο ρύπος αναγκάζεται να κινηθεί προς τα σημεία άντλησης απομονώνεται υδραυλικά μη μπορώντας να απλωθεί προς τη διεύθυνση ροής των υπόγειων νερών.

Η εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να γίνεται άμεσα, ώστε η ρύπανση να μην υφίσταται μεγάλη εξάπλωση, προφυλάσσοντας την στερεά φάση της ζώνης, στην οποία η απορρύπανση επιτυγχάνεται με δυσκολότερες στην εφαρμογή τους μεθόδους. Ακόμη όσο πιο γρήγορα γίνει η άντληση τόσο μεγαλύτερη ποσότητα

καθαρού ρυπαντή θα αντληθεί, μειώνοντας έτσι το κόστος απορρύπανσης με την επαναχρησιμοποίησή του.

Η απόδοση της μεθόδου, εξαιτίας της παρουσίας των δύο αντλιών, εξαρτάται από τη ρύθμιση των παροχών τους και κυρίως από την παροχή της αντλίας νερού. Η παροχή της αντλίας νερού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή του ρύπου, ώστε να έχουμε ροή του προς τον κώνο ταπείνωσης. Όμως μεγάλη τιμή της παροχής νερού συνεπάγεται αύξηση της ταπείνωσης της στάθμης του υδροφορέα με αποτέλεσμα οι επιπλέοντες ρύποι να μολύνουν τον υδροφορέα κατ'ύψος σε όλη την έκταση του κώνου, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα του ρύπου που συγκρατείται στους πόρους του υδροφορέα.

Ακόμη, για μια συγκεκριμένη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα, η αντλούμενη παροχή του επιπλέοντος ρύπου απαιτεί προσεκτική ρύθμιση. Αν είναι πολύ μικρή μειώνεται η απόδοση της μεθόδου και αν είναι πολύ μεγάλη τότε η ανώτερη αντλία θα παράγει μίγμα νερού και ρύπου, του οποίου ο διαχωρισμός απαιτεί επιπλέον διαδικασία, αυξάνοντας το κόστος της μεθόδου. Για αυτό το λόγο η άντλησή του γίνεται σε κύκλους διακοπτόμενους χρονικά, ανάλογα με την συγκέντρωσή του ρύπου στον κώνο ταπείνωσης. Όταν το πάχος του στρώματος του ρύπου γίνει μικρό πρέπει να σταματήσει η άντληση, ώστε να μην παράγεται μίγμα νερού ρύπου. Είναι φυσικό η ποσότητα του ρύπου που αντλείται να μειώνεται σταδιακά κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου.



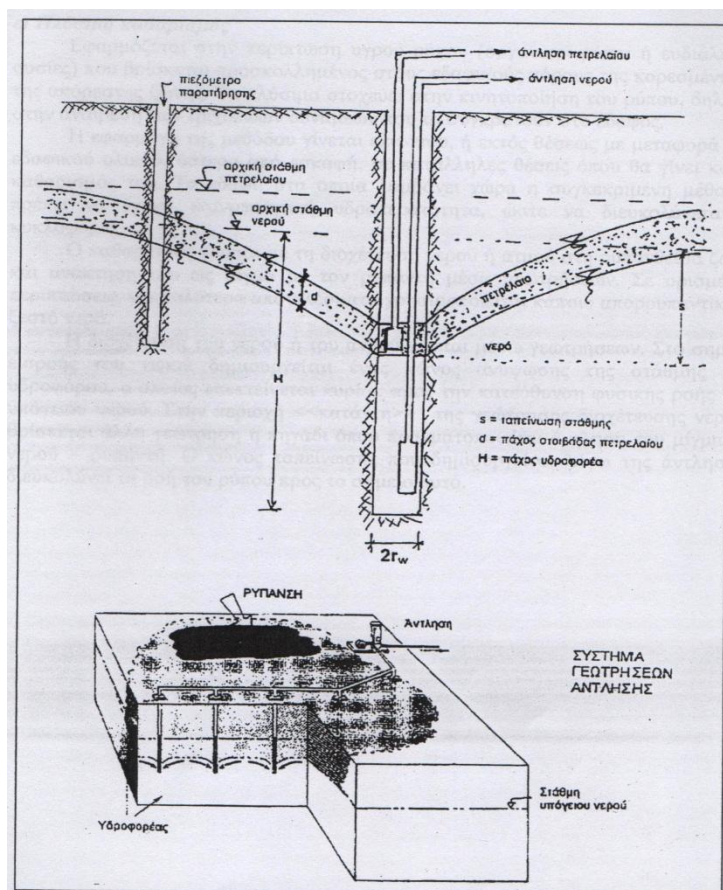
Σχήμα 10.5: Απορρύπανση υδροφόρου ορίζοντα με εφαρμογή ειδικής άντλησης (κατά P.Lacomte)

δ) Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης

Η μέθοδος αυτή λαμβάνει εφαρμογή εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης, με συνέπεια να επηρεάζεται μόνο η επιφάνεια του υδροφορέα. Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση επιπλέοντων στο υπόγειο νερό πτητικών ρύπων (όπως είναι τα ελαφρά κλάσματα της απόσταξης του πετρελαίου, π.χ. βενζίνη κ.α.).

Η μέθοδος συνίσταται στη διάнуξη γεωτρήσεων εντός της κορεσμένης ζώνης και στην εφαρμογή αναρρόφησης (υποπίεσης), με την οποία εξατμίζονται οι πτητικοί ρυπαντές και συλλέγονται με τον αναρροφούμενο αέρα.

Πλεονεκτεί της μεθόδου διπλής άντλησης ως προς το κόστος, το χρόνο απορρύπανσης και στο γεγονός ότι γίνεται ταυτόχρονη ανάκτηση και των ρύπων που συγκρατούνται και στους πόρους του εδάφους. Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ανάγκη απομόνωσης της μερικώς κορεσμένης ζώνης του εδάφους με συνθετική μεμβράνη, όπου βέβαια είναι εφικτό (όταν δεν είναι καλυμμένο με κτίρια, δρόμους κτλ.)



Σχήμα 10.6: Μέθοδος διπλής άντλησης για απορρύπανση από επιπλέοντες ρύπους (π.χ. πετρελαιοειδή).

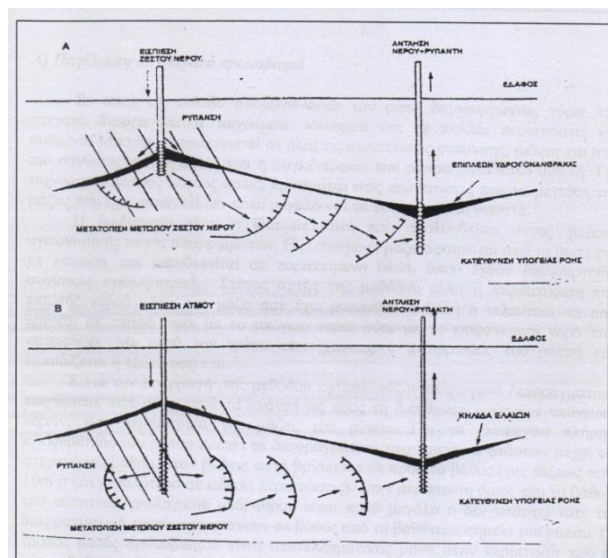
ε) Πλύσιμο καθαρισμός

Εφαρμόζεται στην περίπτωση υγρού ρύπου (οργανικοί ρύποι ή ευδιάλυτες ουσίες) που βρίσκεται προσκολλημένος στους εδαφικούς πόρους της κορεσμένης ή της ακόρεστης ζώνης. Το πλύσιμο στοχεύει στην κινητοποίηση του ρύπου, δηλαδή στην αναίρεση των τριχοειδών δυνάμεων που το συγκρατούν στο έδαφος.

Η εφαρμογή της μεθόδου γίνεται επιτόπου, ή εκτός θέσεως με μεταφορά του εδαφικού υλικού, ύστερα από εσκαφή, σε κατάλληλες θέσεις όπου θα γίνει και ο καθορισμός του. Τα εδάφη στα οποία λαμβάνει χώρα η συγκεκριμένη μέθοδος πρέπει να έχουν ικανοποιητική υδροπερατότητα, ώστε να διευκολύνεται η κυκλοφορία.

Ο καθαρισμός γίνεται με τη διοχέτευση νερού ή ατμού στη ρυπανθείσα ζώνη και ανάκτησή του ως μίγμα με τον ρυπαντή μέσω γεωτρήσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, για καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιείται κάποιο απορρυπαντικό ή ζεστό νερό.

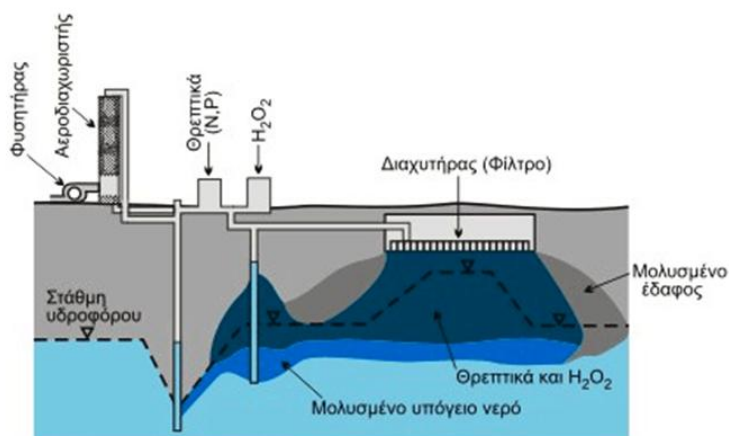
Η διοχέτευση του νερού ή του ατμού γίνεται μέσω γεωτρήσεων. Στο σημείο εισροής του νερού δημιουργείται ένας κώνος ανύψωσης της στάθμης του υδροφόρου, ο οποίος επεκτείνεται κυρίως προς την κατεύθυνση φυσικής ροής του υπόγειου νερού. Στην περιοχή “κατάντη” της γεώτρησης διοχέτευσης νερού, βρίσκεται άλλη γεώτρηση ή πηγάδι όπου πραγματοποιείται άντληση του μίγματος νερού – ρυπαντή. Ο κώνος ταπείνωσης που δημιουργείται λόγω της άντλησης, διευκολύνει τη ροή του ρύπου προς το σημείο αυτό.



Σχήμα 10.7: Απορρύπανση με τη μέθοδο πλυσίματος-καθαρισμού.

στ) Αεροδιαχωρισμός (air stripping)

Η μέθοδος εφαρμόζεται κύρια για την απορρύπανση από επιπλέοντες πτητικούς ρυπαντές (βενζίνη, πτητικοί υδρογονάνθρακες κ.λπ.). Στον αεροδιαχωριστή προκαλείται εξάτμιση των πτητικών ουσιών σύμφωνα με τον νόμο Henry, λόγω διαβίβασης αέρα από φυσητήρα. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεταφορά της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 10.8: Μέθοδος αποκατάστασης με αεροδιαχωρισμό (Καλλέργης 2000)

ζ) Η μέθοδος άντλησης επιπλεόντων ρυπαντών

Η απορρύπανση από επιπλέοντες ρυπαντές γίνεται με το σύστημα της διπλής άντλησης του επιπλέοντος ρυπαντή (dual pump free product recovery). Αρχικά γίνεται άντληση υπόγειου νερού, οπότε διαμορφώνεται ένας κώνος κατάπτωσης. Ο ρυπαντής λόγω υδραυλικής κλίσης κινείται προς τη γεώτρηση, απ' όπου γίνεται άντλησή του με δεύτερη αντλία. Η πτώση της στάθμης πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να μην ρυπανθεί ο υδροφορέας σε όλο το πάχος του.

η) Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος

Τα βαρέα μέταλλα απομακρύνονται κυρίως με την προσρόφηση των ιόντων τους στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών (φυσική απορρύπανση). Επιπλέον για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων εφαρμόζεται τάση μέσω ηλεκτροδίων και τα ιόντα των μετάλλων οδεύουν και συλλέγονται στην άνοδο.

10.3.4. Φυσικοί μέθοδοι απορρύπανσης με παγίδευση του ρύπου

Εκτός από τις μεθόδους απορρύπανσης που προαναφέρθηκαν και έχουν σαν στόχο την αφαίρεση του ρύπου από τον υδροφόρο ορίζοντα, υπάρχουν και

άλλες μέθοδοι οι οποίες στοχεύουν στην παγίδευση του ρύπου και την παρεμπόδιση της εξάπλωσής του. Οι τελευταίες δεν αφαιρούν ούτε μειώνουν την ποσότητα του ρύπου, απλώς περιορίζουν την επέκταση της μόλυνσης, εγκλωβίζοντάς την μέσα στο φυσικό μέσο (έδαφος, υπέδαφος, υπόγειο νερό) που έχει εισέλθει.

Οι μέθοδοι απορρύπανσης με παγίδευση της ρύπανσης είναι σχετικά εύκολες στην εφαρμογή τους. Εγκυμονούν όμως τον κίνδυνο αστοχίας (σχετικά μικρή πιθανότητα) για αυτό είναι απαραίτητο να εγκαθίσταται μόνιμο δίκτυο παρακολούθησης, ώστε να γίνονται οι απαραίτητες παρεμβάσεις σε περίπτωση προβλήματος.

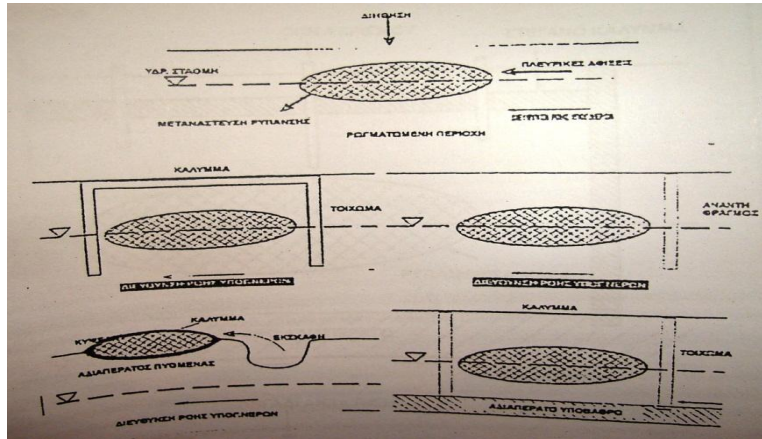
α) Παγίδευση σε στεγανό εγκλωβισμό

Σε αυτή τη μέθοδο απομονώνουμε τον ρύπο δημιουργώντας γύρω του στεγανά διαφραγματικά τοιχώματα, κάλυμμα και σε πολλές περιπτώσεις και πυθμένα. Μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις ρύπανσης, ακόμη και στις πιο σύνθετες και σε αυτές που η συγκέντρωση του ρύπου είναι πολύ υψηλή. Για τεχνοοικονομικούς λόγους όμως, προτιμάται στις περιπτώσεις που το μέγεθος της μάζας που έχει ρυπανθεί δεν είναι μεγάλο και τα όριά της είναι γνωστά.

Η διαδικασία είναι η ίδια με αυτή που ακολουθείται στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμάτων. Η ρυπασμένη μάζα αφαιρείται από τη θέση της με εσκαφή και τοποθετείται σε παρακείμενη θέση, όπου έχουν δημιουργηθεί συνθήκες εγκλωβισμού. Στόχος αυτής της μεθόδου είναι η παρεμπόδιση της εισροής νερού μέσα στη μάζα που έχει ρυπανθεί, δηλαδή η τελευταία να μην έρχεται σε επαφή ούτε με το υπόγειο νερό, ούτε με το επιφανειακό νερό που κατεισδύει. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ο περιορισμός του ρύπου και εμποδίζεται η εξάπλωσή του.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου κατασκευάζονται στεγανά διαφραγματικά τοιχώματα, είτε μόνο κατά τα ανάντη ως προς τη διεύθυνση ροής των υπόγειων νερών, είτε περιμετρικά της μάζας του ρύπου. Για να επιτευχθεί πλήρης εγκλωβισμός του ρύπου πρέπει τα διαφραγματικά τοιχώματα να φτάσουν μέχρι το στεγανό υπόβαθρο, όταν βέβαια αυτό βρίσκεται σε προσιτό βάθος (της τάξεως των 10m ή και μεγαλύτερου σε ειδικές περιπτώσεις). Στην περίπτωση όμως που το βάθος του στεγανού γεωλογικού υπόβαθρου είναι πολύ μεγάλο ή δεν υπάρχει τότε τα διαφραγματικά τοιχώματα φτάνουν σε βάθος από το

βαθύτερο σημείο του ρύπου. Ο τρόπος αυτός εγκλωβισμού είναι αποτελεσματικός μόνο στην περίπτωση που ο ρύπος βρίσκεται στην ακόρεστη ζώνη. Αν όμως ένα τμήμα ή ολόκληρη η μάζα του ρύπου βρίσκεται στην κορεσμένη ζώνη τότε η μέθοδος αστοχεί.

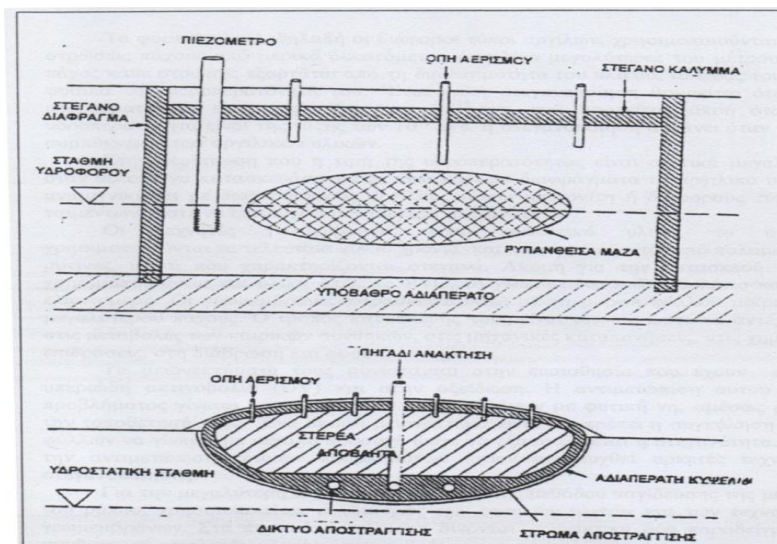


Σχήμα 10.9: Απορρύπανση με εφαρμογή στεγανού εγκλωβισμού και παγίδευση. (κατά P.Lacomte)

Ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίζει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η πιθανή δημιουργία αερίων ή και υγρών διαστάλαξης και η απομάκρυνσή του από την εγκλωβισμένη μάζα.

Η αντιμετώπιση των αερίων (π.χ. μεθάνιο) γίνεται με την τοποθέτηση σωλήνων αερισμού που θα διαπερνούν το στεγανό κάλυμμα και θα φτάνουν στην ρυπασμένη μάζα. Αντίθετα στην περίπτωση των υγρών πρέπει να προβλέπεται δημιουργία δικτύου αποστράγγισης, ώστε τα υγρά να συγκεντρώνονται σε ένα σημείο απ' όπου θα αντλούνται στην επιφάνεια, ή θα απορρέουν με φυσική ροή αν η μορφολογία του εδάφους το επιτρέπει.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται διατάξεις απομάκρυνσης υγρών και αερίων από ένα σύστημα στεγανού εγκλωβισμού.



Σχήμα 10.10: Μέθοδος στεγανού εγκλωβισμού και διάταξης απομάκρυνσης των υγρών και αερίων (κατά Lecomte, 1998)

Για την παρεμπόδιση της κατεΐσδυσης του επιφανειακού και του βρόχινου νερού, τοποθετούνται στεγανά καλύμματα συμβατά με τη χρήση της γης στην επιφάνεια του εδάφους.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την στεγανοποίηση ανήκουν σε δύο κατηγορίες:

- Τα φυσικά υλικά που εμφανίζουν πολύ μικρή διαπερατότητα, όπως διάφοροι τύποι αργίλων και
- Οι τεχνητές γεωμεμβράνες.

Τα φυσικά υλικά, δηλαδή οι διάφοροι τύποι αργίλων, χρησιμοποιούνται σαν στρώσεις πάχους από μερικά δεκατόμετρα έως λίγο μεγαλύτερες του μέτρου. Το πάχος κάθε στρώσης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του υλικού, το είδος του και φυσικά την υδατοπερατότητά του. Έτσι καλή στεγανοποίηση θεωρείται όταν η υδατοπερατότητα είναι της τάξης των 10^{-16} m/s, ενώ θεωρείται μικρή όταν η υδροπερατότητα είναι της τάξης των 10^{-8} m/s. Η στεγανοποίηση αυξάνει όταν γίνει συμπύκνωση των αργιλικών υλικών.

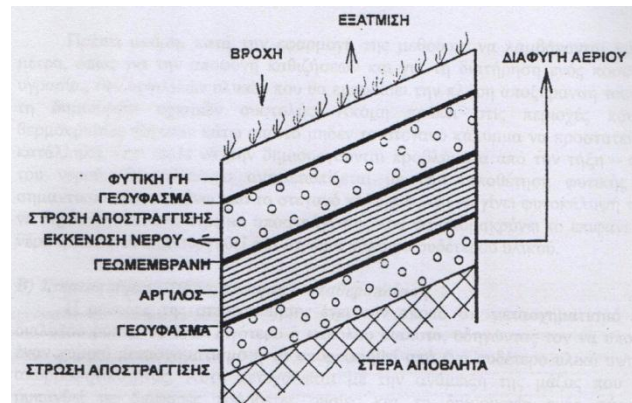
Στην περίπτωση που η τιμή της υδροπερατότητας είναι σχετικά μεγάλη ή όταν θέλουν να κατασκευάσουμε τα κατακόρυφα διαφράγματα τα αργιλικά υλικά αναμιγνύονται με διογκούμενους αργίλους τύπου μπετονίτη ή διάφορους τύπους τσιμέντων, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη στεγανότητα.

Οι τεχνητές γεωμεμβράνες είναι συνθετικά υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται τα τελευταία 20-30 χρόνια και κατασκευάζονται από πολυμερείς ρυτίνες, υλικά που χαρακτηρίζονται στεγανά. Ακόμη για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται και υλικά όπως το PVC, το PE και τα ελαστομερή. Οι γεωμεμβράνες παρασκευάζονται με τη μορφή φύλλου μικρού ή μεγαλύτερου πάχους. Ο τρόπος κατασκευής τους είναι τέτοιες ώστε να αντέχουν στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών, στις μηχανικές καταπονήσεις, στις χημικές επιδράσεις, στη διάβρωση και φυσικά στο χρόνο.

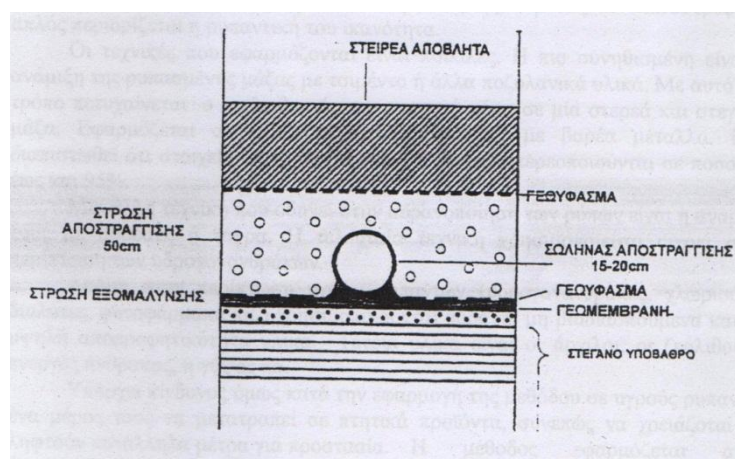
Τα μειονεκτήματά τους συνίστανται στην ευαισθησία που έχουν στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV) και στην οξειδωση. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος γίνεται με κάλυψη των γεωμεμβράνων με φυτική γη, αμέσως μετά την τοποθέτησή τους. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι πρέπει η συγκόλληση

των φύλλων να γίνεται με μεγάλη προσοχή ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα. Για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές στεγανοποίησης.

Για την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα της μεθόδου παγίδευσης της μάζας του ρύπου, χρησιμοποιείται συνδιασμός των φυσικών υλικών και των τεχνητών γεωμεμβράνων. Στα παρακάτω σχήματα δίνονται ενδεικτικά δύο παραδείγματα συνδιασμού αργιλικών υλικών, γεωμεμβράνων και περατών υλικών.



Σχήμα 10.11: Τυπική αλληλουχία φυσικών και τεχνητών υλών, στεγανών και περατών, για τη δημιουργία στεγανού καλύματος.



Σχήμα 10.12: Τυπική αλληλουχία στεγανών και περατών υλικών για τη δημιουργία στεγανού πυθμένα με σύστημα αποστράγγισης.

Πρέπει ακόμη, κατά την εφαρμογή της μεθόδου, να λαμβάνονται κάποια μέτρα, όπως για την αποφυγή καθιζήσεων και για τη διατήρηση ενός ποσοστού υγρασίας των αργιλικών υλικών που θα εμποδίσει την πλήρη αποξήρανσή τους και τη δημιουργία σχισμών συστολής. Ακόμη πρέπει στις περιοχές που οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από το μηδέν το στεγανό κάλυμα να προστατεύεται κατάλληλα, έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα από

την τήξη – πήξη του νερού. Το τελευταίο αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση φυτικής γης σημαντικού πάχους πάνω από το στεγανό κάλλυμα και να γίνει φυτοκάλυψή της ή να δημιουργηθεί ένα στρώμα αποστράγγισης που θα απομακρύνει το επιφανειακό νερό ή τέλος να δημιουργηθεί ένα στρώμα κάποιου ουδέτερου υλικού.

β) Στερεοποίηση – αδρανοποίηση – σταθεροποίηση

Η μέθοδος της στερεοποίησης έχει σαν σκοπό τον μετασχηματισμό ενός διαλυτού ρύπου σε έναν λιγότερο ή καθόλου διαλυτό, οδηγώντας τον να υποστεί έναν χημικό μετασχηματισμό ή να απορροφηθεί από ένα ουδέτερο υλικό υψηλής απορροφητικότητας. Αυτό πετυχαίνεται με την ανάμιξη της μάζας που έχει ρυπανθεί με διάφορες πρόσθετες ουσίες και τη δημιουργία ενός σώματος μικρότερης περατότητας που δεν επιτρέπει την μετακίνηση του ρυπαντή μέσα στο έδαφος και στον υδροφόρο ορίζοντα. Δηλαδή κατά την εφαρμογή των μεθόδων της στερεοποίησης, αδρανοποίησης και σταθεροποίησης, ο ρύπος δεν καταστρέφεται απλώς περιορίζεται η ρυπαντική του ικανότητα.

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι ποικίλες. Η πιο συνηθισμένη είναι η ανάμιξη της ρυπασμένης μάζας με τσιμέντο ή άλλα ποζολανικά υλικά. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνεται ο εγκλωβισμός του ρυπαντή μέσα σε μία στερεά και στεγανή μάζα. Εφαρμόζεται στην περίπτωση της ρύπανσης με βαρέα μέταλλα. Έχει διαπιστωθεί ότι στοιχεία όπως τα Zn, Pd, Cr, Cu κ.α. στερεοποιούνται σε ποσοστό έως και 95%.

Μία άλλη τεχνική που οδηγεί στην αδρανοποίηση των ρύπων είναι η ανάμιξή τους με ασβέστη ή τέφρα. Η τελευταία τεχνική χρησιμοποιείται συχνά στην περίπτωση των HC.

Ακόμη στην περίπτωση υγρών ρυπαντών (HC, χλωριούχοι διαλύτες, φυτοφάρμακα κ.α.) χρησιμοποιούνται αδρανή, μη βιοδιασπώμενα και με υψηλή απορροφητικότητα υλικά. Τέτοια υλικά είναι οι άργιλοι, οι ζεόλιθοι, ο ενεργός άνθρακας, η γύψος κ.α.

Υπάρχει κίνδυνος όμως κατά την εφαρμογή της μεθόδου σε υγρούς ρυπαντές ένα μέρος τους να μετατραπεί σε πτητικά προϊόντα, συνεπώς να χρειάζονται να ληφτούν κατάλληλα μέτρα για προστασία. Η μέθοδος εφαρμόζεται στην επιφάνεια είτε αναμιγνύοντας τα υλικά στερεοποίησης-αδρανοποίησης με τα υλικά που έχουν ρυπανθεί, αφού βέβαια έχουν εσκαφεί και τοποθετηθεί στην επιφάνεια του εδάφους, είτε με ένεση διαλυμάτων μέσω γεωτρήσεων in situ

στην ρυπασμένη μάζα. Στην τελευταία περίπτωση των τσιμεντενέσεων ή ενώσεων με άλλα υλικά, λόγω της ασκούμενης πίεσης υπάρχει ο κίνδυνος να εξαπλωθεί ο ρυπαντής. Πρέπει λοιπόν να λαμβάνεται υπόψιν η περατότητα του υλικού και η ικανότητά του να αναμιγνύεται εύκολα με το προστιθέμενο υλικό, ώστε να εφαρμόζεται ανάλογη πίεση.

Η μέθοδος στερεοποίησης, αδρανοποίησης, σταθεροποίησης εφαρμόζονται σε μεγάλη έκταση (στις ΗΠΑ καλύπτουν το 25% των χρησιμοποιούμενων μεθόδων απορρύπανσης). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα πρόσθετα υλικά είναι πολύ διαδεδομένα και όχι ακριβά. Ακόμη δεν χρειάζεται να δημιουργηθεί ειδικό δίκτυο παρακολούθησης της αποτελεσματικότητάς τους.

γ) Υδραυλική παγίδευση

Η υδραυλική παγίδευση αποτελεί μία μέθοδο που βασίζεται στην υποβάθμιση της στάθμης των υπόγειων νερών. Σχεδιάζεται ένα σύστημα άντλησης ώστε να προκληθεί πτώση στάθμης και η μάζα του εδάφους που έχει ρυπανθεί να βρεθεί πάνω από την υδροστατική επιφάνεια, παρεμποδίζοντας έτσι την ρύπανση να επεκταθεί μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα αφού η υπόγεια ροή του νερού θα βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος.

Η εφαρμογή της μεθόδου είναι εύκολη και οικονομική, όμως χρειάζεται να γνωρίζουμε τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και του υδροφόρου ορίζοντα. Τα χαρακτηριστικά της άντλησης (παροχή, πτώση στάθμης, χρόνος άντλησης) και του κώνου ταπείνωσης (βάθος και ακτίνα επίδρασης) μπορούν να εκτιμηθούν από τις υδροδυναμικές και υδρογεωλογικές παραμέτρους του υδροφόρου καθώς και του τύπου και της συμπεριφοράς του ρυπαντή.

Η μέθοδος της υδραυλικής παγίδευσης αντιμετωπίζει την εξάπλωση του ρύπου στον υδροφόρο ορίζοντα για ένα χρονικό διάστημα, όμως δεν αποτελεί αποτελεσματική τεχνική απορρύπανσης. Η μέθοδος δίνει ευχέρεια χρόνου για να εφαρμοστεί μία τεχνική απορρύπανσης αφού αποτρέπει την εξάπλωση του ρύπου. Η εφαρμογή της πρέπει να συνεχίζεται μέχρι να απορρυπανθεί η περιοχή.

10.3.5. Χημικές μέθοδοι απορρύπανσης

Οι χημικές μέθοδοι εφαρμόζονται για την απορρύπανση εδαφών και υπόγειων νερών, αφού τα τελευταία αφαιρεθούν από τη φυσική τους θέση με εσκαφή ή άντληση. Η επεξεργασία τους γίνεται δηλαδή στην επιφάνεια του

εδάφους, με διάφορες χημικές μεθόδους που έχουν σαν στόχο την κινητοποίηση και κατ' επέκταση την απομάκρυνση του ρύπου ή τη διασπορά του σε άλλες μη ρυπογόνες ουσίες ή την αδρανοποίηση του κ.α.

Οι δύο σημαντικότερες χημικές μέθοδοι απορρύπανσης είναι:

- Οι μέθοδοι κινητοποίησης και εξαγωγής του ρύπου
- Οι μέθοδοι εξουδετέρωσης των ρύπων με τη βοήθεια χημικών αντιδράσεων.

α) Μέθοδοι κινητοποίησης και εξαγωγής του ρύπου

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί ειδικά διαλύματα τα οποία διευκολύνουν την κινητικότητα του ρυπαντή, με αποτέλεσμα την απελευθέρωσή του και την εξαγωγή του από την ρυπανθείσα μάζα (έκπλυση-καθαρισμός).

Τα είδη των διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται είναι πολλά και εξαρτώνται από το είδος της ρυπογόνου ουσίας. Τέτοια διαλύματα είναι τα οξέα H_2SO_4 , HCl , HNO_3 (που χρησιμοποιούνται για τα βαρέα μέταλλα), η καυστική σόδα (που χρησιμοποιείται κυρίως στους κυανιούχους και στους οργανικούς ρύπους όπως οι αιθέρες οι φαινόλες κ.α.), διαλυτικές ουσίες και στις περιπτώσεις των υδατοδιαλυτών ρύπων χρησιμοποιείται και το νερό σαν διαλύτης.

Η μέθοδος κινητοποίησης και εξαγωγής του ρύπου λαμβάνει χώρα είτε επί τόπου (in situ), είτε σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους στην επιφάνεια του εδάφους ύστερα από εσκαφή και αφαίρεση της μάζας που έχει ρυπανθεί από τη φυσική της θέση.

Εφαρμογή in situ

Στην συγκεκριμένη περίπτωση ραντίζεται η επιφάνεια του εδάφους που αντιστοιχεί στην ρυπασμένη μάζα με το κατάλληλο διάλυμα. Το διάλυμα κατεισδύει μέσω των εδαφικών πόρων κινητοποιώντας τον ρύπο. Το διάλυμα συγκεντρώνεται στην επιφάνεια μέσω γεωτρήσεων ή στην περίπτωση ή μορφολογία του εδάφους το επιτρέπει με δίκτυο στραγγιστηρίων προς τα κατόπι. Στην επιφάνεια το διάλυμα επεξεργάζεται ώστε να χωριστεί ο διαλύτης από τον ρύπο και ο πρώτος να επαναχρησιμοποιηθεί.

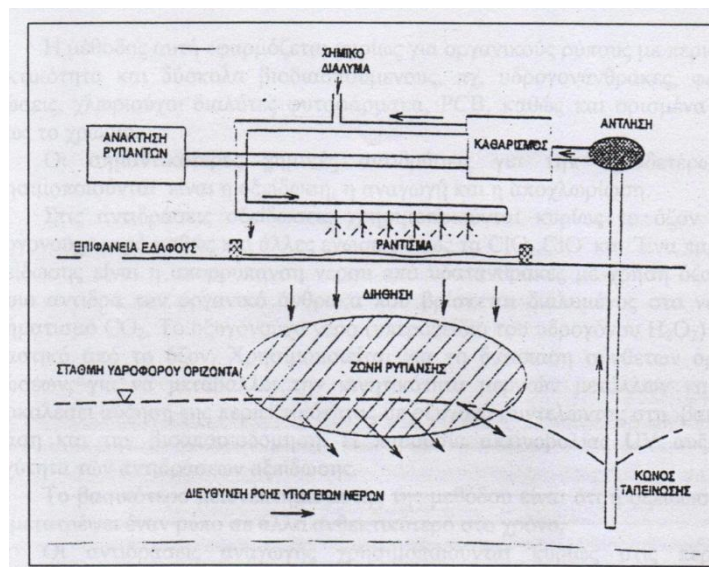
Η διαδικασία της διοχέτευσης του διαλύματος και αφαίρεσής του μαζί με ένα μέρος του ρύπου επαναλαμβάνεται σε κύκλους, ενώ το χρονικό διάστημα εφαρμογής αυτής της μεθόδου μπορεί να κυμαίνεται από μερικούς μήνες έως και χρόνια.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα είναι ο κίνδυνος εξάπλωσης της ρύπανσης εξαιτίας της κινητικότητας που αποκτάει λόγω της προσθήκης του διαλύτη. Η αφαίρεση του διαλύματος πρέπει να είναι ολική και έγκαιρη. Απαιτείται λοιπόν, πολύ καλή γνώση των υδρογεωλογικών υδροδυναμικών συνθηκών του υδροφόρου.

Επίσης, η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε λεπτόκοκκα εδάφη, στεγανά ή με πολύ μικρή διαπερατότητα όπως οι άργυλοι, οι ίλιες κ.α. Η χρήση χημικών διαλυμάτων σε πολλές περιπτώσεις δραστικά (οξέα) ή τοξικά μπορεί να επιφέρει σημαντικές ή μη αναστρέψιμες μεταβολές.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:

- η ευκολία στην εφαρμογή
- καλή απόδοση σε υδροπερατά εδάφη
- χαμηλότερο κόστος από άλλες μεθόδους απορρύπανσης



Σχήμα 10.13: Τυπική διάταξη απορρύπανσης με κινητοποίηση των ρύπων με εφαρμογή πλυσίματος (κατά P.Leomte)

Καθαρισμός εκτός θέσης

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται αφού γίνει η εξαγωγή της μάζας που έχει ρυπανθεί από τη φυσική της θέση ή με εσκαφή ή με άντληση.

Στην επιφάνεια διοχετεύονται στη μάζα χημικά διαλύματα τα οποία κινητοποιούν το ρύπο, ο οποίος απομονώνεται ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία.

β) Μέθοδοι εξουδετέρωσης των ρύπων με χημικές αντιδράσεις.

Σε αυτή τη μέθοδο η απορρύπανση επιτυγχάνεται με προσθήκη δραστικών ουσιών στα ρυπαθέντα εδάφη ή υπόγεια νερά με αποτέλεσμα την εξουδετέρωση του ρυπαντή.

Το προϊόν της χημικής αντίδρασης μπορεί να είναι λιγότερο τοξικό ή να έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη κινητικότητα από τον ρυπαντή. Προϊόν με μεγαλύτερη ικανότητα μετακίνησης από τον ρυπαντή μπορεί να απομακρυνθεί ή μέσω δικτύου αποστράγγισης όταν η μορφολογία του εδάφους το επιτρέπει ή μέσω γεωτρήσεων. Αντίθετα αν το προϊόν έχει μικρότερη κινητικότητα μπορεί ευκολότερα να ακινητοποιηθεί ώστε να μην επεκταθεί η ρύπανση.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως για οργανικούς ρύπους με περιορισμένη πυκτικότητα και δύσκολα βιοδιασπώμενους, π.χ. HC, φαινολικές ενώσεις, χλωριούχοι διαλύτες φυτοφάρμακα, PCB, καθώς και ορισμένα μέταλλα όπως το χρώμιο.

Οι σημαντικότερες χημικές αντιδράσεις για την εξουδετέρωση που χρησιμοποιούνται είναι η οξειδωση, η αναγωγή και η αποχλωρίωση.

Στις αντιδράσεις οξειδωσης χρησιμοποιούνται κυρίως το O_3 , το οξυγονούχο νερό καθώς και άλλες ενώσεις όπως τα ClO_2 , ClO^- κ.α. Ένα παράδειγμα οξειδωσης είναι η απορρύπανση νερού από υδαάνθρακες με χρήση όζοντος, το οποίο αντιδρά τον οργανικό άνθρακα που βρίσκεται διαλυμένος στο νερό προς σχηματισμό CO_2 . Το H_2O_2 είναι πιο δραστικό από το O_3 . Χρησιμοποιείται για τη διάσπαση σύνθετων οργανικών ενώσεων, για να μεταβάλλει την κινητικότητα μερικών μετάλλων και για να προκαλέσει αύξηση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο συντελώντας στη βακτηριακή δράση και την βιοαποικοδόμηση. Η παρουσία ακτινοβολίας UV αυξάνει την ταχύτητα των αντιδράσεων οξειδωσης.

Το βασικότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η οξειδωση μπορεί να μετατρέψει έναν ρύπο σε άλλο ανθεκτικότερο στο χρόνο.

Οι αντιδράσεις αναγωγής χρησιμοποιούνται κυρίως στις περιπτώσεις οργανικών ρύπων (π.χ. φυτοφάρμακα) και μετάλλων (χρώμιο, σελήνιο). Ένα παράδειγμα είναι η μετατροπή του τοξικού εξασθενούς χρωμίου (Cr^{6+}) (συγκέντρωσή του στο νερό μεγαλύτερη από 50mg το καθιστά ακατάλληλο για πόση) σε τρισθενές μη τοξικό χρώμιο (Cr^{3+}).

Κατά την αποχλωρίωση μετατρέπονται χλωριούχα μόρια που είναι τοξικά σε λιγότερο τοξικά αλλά περισσότερο διαλυτά στο νερό. Εφαρμόζεται στις

περιπτώσεις των ρυπαντών PCB, PCP και των χλωριούχων διαλυτών. Τα υλικά της αποχλωρίωσης είναι ουσίες όπως το διανθρακικό νάτριο κ.α.

Κατά τις αντιδράσεις αποχλωρίωσης αντικαθίστανται τα ανιόντα Cl⁻ των οργανικών ρυπαντών από ρίζες υδροξυλίου OH⁻. Χρησιμοποιείται είτε διανθρακικό νάτριο συχνά με παρουσία καταλύτη, είτε glycol ate polyethylene alkaline (συχνά κάλιο) τα οποία αναμιγνύονται με τα υλικά που έχουν ρυπανθεί. Στην πρώτη περίπτωση οι χλωριούχες ενώσεις αποσυντίθενται σε πτητικές ουσίες, οι οποίες ως επί τω πλείστον απομακρύνονται, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα ιόντα Cl⁻ αντικαθίστανται από γλυκόζη μειώνοντας έτσι την τοξικότητα.

Η μέθοδος της αποχλωρίωσης δεν εφαρμόζεται in situ αλλά τα υλικά εξορύσσονται, θρυματίζονται, κοσκινίζονται και αναμιγνύονται με τα υλικά αποχλωρίωσης σε έναν ειδικό αντιδραστήρα. Το μίγμα θερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία αντίδρασης, οπότε οι χλωριούχες ενώσεις αποσυντίθενται, τα αέρια προϊόντα φεύγουν και τα υλικά που έχουν απορρυπανθεί ξανατοποθετούνται στη θέση τους.

Στην περίπτωση των PCB η απορρύπανση φτάνει σε ελάτωση του ρύπου έως και 99%. Στην περίπτωση απορρύπανσης θέσεων επεξεργασίας ξυλείας, η εφαρμογή της μεθόδου οδηγεί σε καταστροφή των PCP κατά 95%.

10.3.6. Συστήματα βιολογικής απορρύπανσης υδροφορέων

Η βιολογική απορρύπανση εδαφών είναι μία πολύ αποτελεσματική μέθοδος για την εξουδετέρωση των οργανικών ρύπων. Συνίσταται στην δράση μικροοργανισμών που διασπούν τους οργανικούς ρύπους και στην τελική μετατροπή των τελευταίων σε αδρανές ουσίες. Η μέθοδος αν και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αστικών λυμάτων επί αρκετές δεκαετίες, η εφαρμογή της στην ελεγχόμενη αποδόμηση των εδαφών και των υπόγειων νερών είναι σχετικά πρόσφατη. Ειδικότερα λόγω των μεγάλων δυσχεριών που παρουσιάζει εφαρμόζεται σπάνια ή σε συνδιασμό με άλλη μέθοδο για την απορρύπανση υπόγειων νερών.

Η βιολογική αποδόμηση των οργανικών ενώσεων γίνεται μέσω της δράσης μικροοργανισμών (βακτηριδίων, μυκήτων κ.α.) οι οποίοι αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας τον άνθρακα ή την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τον μεταβολισμό (αποσύνθεση) των οργανικών ενώσεων. Οι μικροοργανισμοί

αποσυνθέτουν τις οργανικές ενώσεις χρησιμοποιώντας σαν καταλύτες ένζυμα που παράγουν οι ίδιοι. Τα προϊόντα της αποσύνθεσης είναι οργανικές ενώσεις (διοξειδίο του άνθρακα, νερό κ.α.) που είναι λιγότερο επιβλαβές από τις αρχικές, ενώ στην περίπτωση της ατελούς αποσύνθεσης παράγονται και πιο απλές ενώσεις όπως το μεθάνιο, υδρόθειο, νιτρικά και θειικά άλατα.

Για την διαδικασία της αποσύνθεσης απαιτούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Η παρουσία μικροοργανισμών, που παράγουν κατάλληλα ένζυμα για τον μεταβολισμό της συγκεκριμένης οργανικής ουσίας.
- Η παρουσία κατάλληλων οργανικών ουσιών, οι οποίες με την αποσύνθεσή τους θα παράγουν την απαραίτητη ενέργεια, ώστε να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί.
- Η παρουσία θρεπτικών ουσιών, όπως το άζωτο, ο φώσφορος, το θείο κ.α. που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.
- Η παρουσία κατάλληλων συνθηκών για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών: κατάλληλη υγρασία, θερμοκρασία και Ph και η απουσία ορισμένων χημικών ενώσεων που είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς.

➤ **Βιολογική αποκατάσταση**

Η βιολογική απορρύπανση των υπόγειων υδροφόρων εξαρτάται, εκτός από τους προηγούμενους παράγοντες και από τις συνθήκες αερισμού του υδροφόρου. Κάτω από τη στάθμη του νερού είναι δυσχερής ο αερισμός, δηλαδή η παρουσία οξυγόνου και συνεπώς υπάρχει κίνδυνος να συμβεί αναερόβια αποσύνθεση, η οποία καταλήγει στην παραγωγή μεθανίου και υδρόθειου, που προσδίδουν άσχημη οσμή στο νερό.

Στις περιπτώσεις λοιπόν που θα εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος, πρέπει να χρησιμοποιείται τεχνητός αερισμός με την εισπύεση αέρα, μέσω βαθιών γεωτρήσεων.

Επειδή, όμως ο έλεγχος των υπόλοιπων συνθηκών (υγρασία, θερμοκρασία, Ph, παροχή θρεπτικών ουσιών κ.α.) είναι δυσχερής μειώνεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

10.3.7. Απορρύπανση με χρήση φυτοκάλυψης

Τα τελευταία χρόνια βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο η χρήση φυτοκάλυψης με διάφορες ποικιλίες φυτών, για την απορρύπανση αβαθών υδροφόρων οριζόντων.

Η μέθοδος αυτή είναι οικονομική και βοηθάει και στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας. Χρησιμοποιείται ακόμη για τον καθαρισμό εδαφών, ελώδη εκτάσεων και υπόγειων υδροφορέων από βαρέα μέταλλα, ακατέργαστο πετρέλαιο, μεταλλεύματα κ.α.

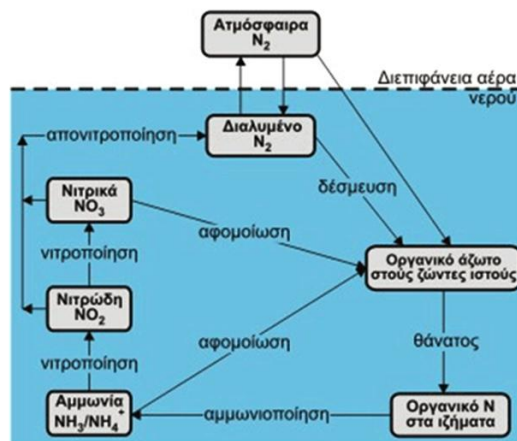
Χρησιμοποιήθηκε πειραματικά από το πενεπιστήμιο Connectical στο Missouri-Rolla τον φεβρουάριο του 2002. Φυτεύτηκαν 1700 λεύκες για την απομάκρυνση της μόλυνσης από υπόγειο υδροφορέα που χρησιμοποιούνταν για ύδρευση. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και με πολύ λιγότερο οικονομικό κόστος από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.

10.4. Απονίτρωση υπόγειων νερών

Η αμμωνία, τα νιτρικά, τα νιτρώδη, τα οργανικά σύμπλοκα του αζώτου και το αέριο άζωτο είναι οι πιο σημαντικές μορφές του αζώτου στο υδάτινο περιβάλλον. Οι σχέσεις και οι μετασχηματισμοί τους δίνονται στο Σχήμα 10.14.

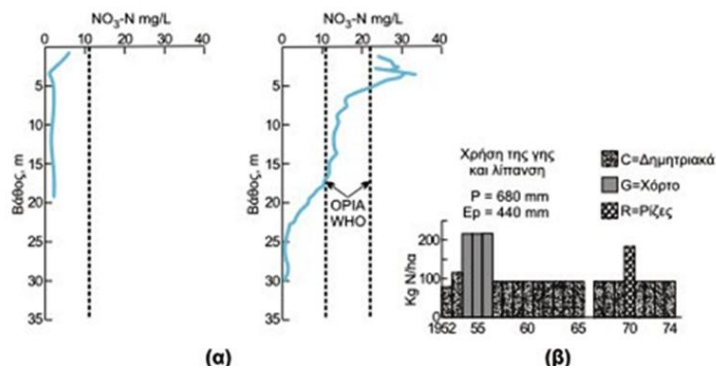
Τα νιτρικά η πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου και στα υδατικά διαλύματα είναι χημικά ανενεργά. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, εκφρασμένες σε άζωτο ($\text{NO}_3^- \text{N}$) σε μη ρυπασμένα επιφανειακά νερά κυμαίνονται σε τιμές μικρότερες του 1 mg/L. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1 mg/L υποδηλώνουν ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως αστικά λύματα και απορροή από αστικές και γεωργικές εκτάσεις.

Η νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης, είναι μια σημαντική αιτία ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων νερών (Σχ.10.15). Οι συγκεντρώσεις NO_3^- είναι μικρότερες όταν παρεμβάλλεται αργιλικό στρώμα στην ακόρεστη ζώνη και μειώνονται με το βάθος κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού. Γενικά οι αβαθείς υδροφόροι ορίζοντες ρυπαίνονται από νιτρικά ιόντα σε μεγαλύτερο βαθμό από τους βαθύτερους υδροφόρους.



Σχήμα 10.14: Ο κύκλος του αζώτου στο νερό (Αντωνόπουλος 2001)

Από το Σχ. 10.15 προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου στον αγρό με το γρασίδι χωρίς λίπανση είναι 6mg/L. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου στους αγρούς που λιπαίνονται υπερβαίνουν τα $10\text{ mg/L}</math>. Η υπερβολική λίπανση μπορεί να προκαλέσει την έκπλυση των νιτρικών στο υπόγειο νερό.$



Σχήμα 10.15: Κατανομή νιτρικών στο έδαφος α) για μεγάλη περίοδο αγρανάπαυσης χωρίς λίπανση β) με λίπανση μετά από μικρής διάρκειας αγρανάπαυση (Young and Gray, 1978)

Για την αποκατάσταση εφαρμόζονται οι εξής τεχνικές (Καλλέργης, 2000):

➤ **Φυσική απονίτρωση**

Εφαρμόζεται διακοπή της λίπανσης ή μείωση αυτής εφαρμόζοντας τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Kariotis et al., 2001). Οι κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής (ΚΥΑ 16190/1335/97, ΦΕΚ 519B/25-6-1997) αποβλέπουν στη μείωση της νιτρορύπανσης γεωργικής προέλευσης και περιλαμβάνουν κανόνες σχετικά με τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες δεν ενδείκνυται η διασπορά λιπασμάτων στο έδαφος, τη διασπορά λιπασμάτων σε επικλινή ή σε κορεσμένα εδάφη, κοντά σε υδάτινα ρεύματα κ.λπ. Επιπλέον περιλαμβάνουν την κατάρτιση σχεδίων λίπανσης ανά αγρόκτημα, την τήρηση αρχείων για τη χρήση των λιπασμάτων και τη διαχείριση της χρήσης γης.

Σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ευπρόσβλητες ζώνες (Σχ. 9.5), σύμφωνα με την ΚΥΑ 19562/1906/99 (ΦΕΚ 1575B/5-8-1999), όπως το Αργολικό πεδίο, η λεκάνη Κωπαΐδας, η λεκάνη του Πηνειού Ηλείας και η πεδιάδα Θεσσαλίας συντάσσονται σχέδια δράσης, ώστε να μειωθεί η ρύπανση των νερών.

Ο χρόνος απορρύπανσης εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων, το πάχος και το πορώδες του υδροφόρου ορίζοντα και την κατείσδυση και δίνεται από την σχέση (Yertsever, 1983):

$$t = - \frac{t_r}{\ln\left(\frac{C}{C_0}\right)}$$

όπου: t_r = ο χρόνος παραμονής του ρυπασμένου νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, που είναι ίσος με $t_r = Dn/l$

D= το πάχος του υδροφόρου

n= το πορώδες

l= η κατείσδυση (ετήσιος εμπλουτισμός του υδροφόρου)

C_0 = η αρχική συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων και

C= η συγκέντρωση απορρύπανσης (~15 mg/L) σε χρόνο t μετά τη διακοπή της λίπανσης.

Σύμφωνα με τους Λαμπράκη κ.ά (1998), Voudouris et al. (2004) ο χρόνος απορρύπανσης από νιτρορύπανση, μετά την πλήρη διακοπή της λίπανσης, σε ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες από διάφορες περιοχές της Πελοποννήσου ανέρχεται σε 16-60 χρόνια.



Σχήμα 10.16: Περιοχές επηρεασμένες από νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης (Βουδούρης 2006)

➤ **Ιοντοανταλλαγή**

Γίνεται ιοντοανταλλαγή μεταξύ των ιόντων NO₃⁻ και Cl⁻, όταν το νερό περνάει από συνθετικές ρητίνες. Εφαρμόζεται κυρίως η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης συνολικά για αφαλάτωση και απονίτρωση. Κατ' αυτήν το νερό περνώντας από μια ημιπερατή μεμβράνη, κατακρατούνται τα νιτρικά ιόντα. Μειονέκτημα είναι η απόφραξη των μεμβρανών.

➤ **Ηλεκτροδιάλυση**

Εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση και τα ιόντα διέρχονται επιλεκτικά μέσω ημιπερατών μεμβρανών.

➤ **Χημική απονίτρωση**

Προστίθεται αργίλιο σε υδατικό διάλυμα πλούσιο σε νιτρικά ιόντα και μέσω μιας σειράς αντιδράσεων παράγεται ελεύθερο άζωτο ή αμμωνία. Αν το τελικό προϊόν είναι η αμμωνία, γίνεται αεροδιαχωρισμός και ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

➤ **Βιολογική απονίτρωση**

Χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί, οι οποίοι καταναλώνουν το άζωτο ως θρεπτική ουσία. Άλλη τεχνική είναι η δημιουργία βιομάζας από φύκη, που τρέφονται με νιτρικά.

10.5. Προστασία συστημάτων επιφανειακού νερού

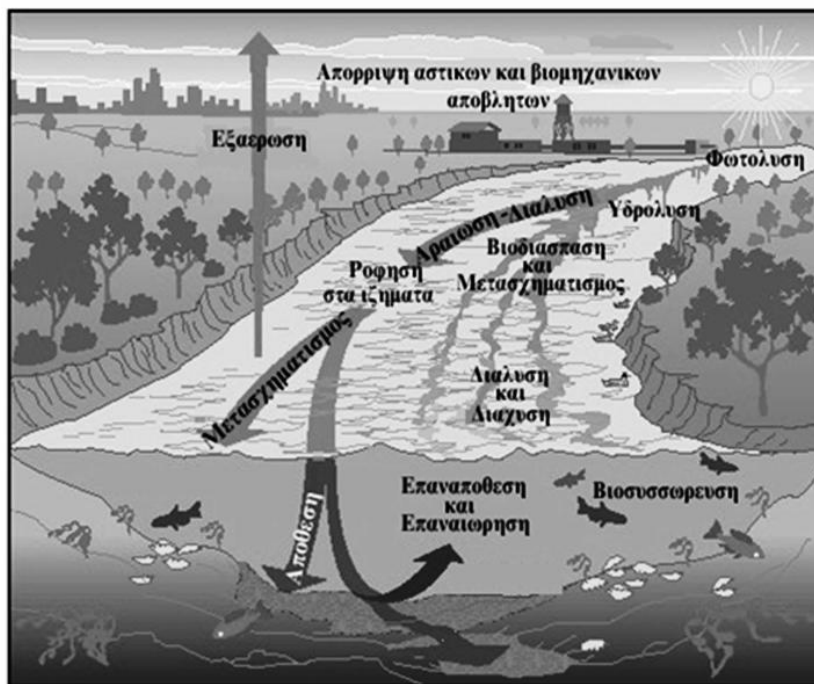
Σύστημα επιφανειακού νερού είναι ένα διακεκριμένο και σημαντικό στοιχείο επιφανειακών υδάτων, όπως μια λίμνη, ένας ταμιευτήρας, ένα ρεύμα, ένας ποταμός ή μια διώρυγα, ένα τμήμα ρεύματος, ποταμού ή διώρυγας, μεταβατικά ύδατα και ένα τμήμα παράκτιων νερών. Μεταβατικά νερά είναι συστήματα επιφανειακών νερών κοντά στο στόμιο ποταμών και τα οποία είναι εν μέρει υφάλμυρα, λόγω της ανάμειξης με παράκτια νερά, αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού.

Οι κυριότεροι ρυπαντές των επιφανειακών νερών, όπως έχει προαναφερθεί, είναι (Σχ.10.17): οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι θρεπτικές ουσίες (φωσφόρος, άζωτο), τα απορρυπαντικά, οι υδρογονάνθρακες, η όξινη βροχή, τα βαρέα μέταλλα και τα τοξικά στοιχεία (Ag, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) και τα αιωρούμενα στερεά.

Τα βαρέα μέταλλα και τα τοξικά στοιχεία προέρχονται τόσο από φυσικές διεργασίες (αποσάθρωση πετρωμάτων), όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (λύματα, απόβλητα, λιπάσματα, μεταλλεία, κ.ά).

Για την αναγνώριση της ρύπανσης των επιφανειακών νερών και λιμνών χρησιμοποιούνται επιπλέον διάφοροι δείκτες, όπως: βιοτικοί (biotic index), δείκτες ποικιλότητας και βιολογικοί δείκτες (ψάρια).

Η πρόληψη είναι ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος προστασίας των επιφανειακών νερών και του εδάφους. Αν αυτό δεν καταστεί δυνατόν, τότε λαμβάνονται μέτρα περιορισμού της ρύπανσης και απορρύπανσης. Στα προληπτικά μέτρα περιλαμβάνονται μια σειρά από Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέσω των οποίων επιδιώκεται η υγεία των πολιτών, η διατήρηση των υδατικών οικοσυστημάτων και η προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα.



Σχήμα 10.17: Κατανομή ρύπων σε υδρόρευμα

Η αποκατάσταση των συστημάτων επιφανειακού νερού στηρίζεται στον έλεγχο ή διακοπή της πηγής ρύπανσης. Ο έλεγχος του ευτροφισμού στις λίμνες επιτυγχάνεται με τη μείωση του φορτίου των θρεπτικών (φωσφόρου, αζώτου), καθώς και των οργανικών.

Γενικά είναι πιο εύκολη η αντιμετώπιση των σημειακών πηγών ρύπανσης από τις διάχυτες. Η αποκατάσταση λιμνών που έγιναν ευτροφικές πρόσφατα είναι

πιο εύκολη και από την αποκατάσταση παλιών ευτροφικών λιμνών (Καλλέργης, 2001).

Η απομάκρυνση των θρεπτικών μπορεί να γίνει με διακοπή των πηγών ρύπανσης ή με καθίζηση στον πυθμένα με τη χρήση ασβέστου ή αλάτων Al^{3+} ή Fe^{3+} . Για τη μείωση του αζώτου λαμβάνονται τα εξής μέτρα: μείωση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας λιπασμάτων, δημιουργία αναβαθμών για καλλιέργεια, συλλογή του επιστρεφόμενου αρδευτικού νερού και επεξεργασία του πριν τη διάθεση στα υδρορεύματα.

Αυτοκαθαρισμός είναι οι διαδικασίες με τις οποίες ένα ρυπασμένο σώμα νερού επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Περιλαμβάνει τη σταθεροποίηση ή/και την αφαίρεση της ρύπανσης. Ο κυριότερος μηχανισμός αυτοκαθαρισμού είναι η αραίωση και η οξειδωση των βιοδιασπώμενων οργανικών στην υδάτινη φάση με τη βοήθεια αερόβιων μικροοργανισμών.

Μέρος των αιωρούμενων ρύπων απομακρύνεται με προσρόφηση και ιζηματογένεση, ενώ οι πτητικές οργανικές ενώσεις διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Οι εισαγόμενοι παθογόνοι μικροοργανισμοί συνήθως πεθαίνουν.

Ο φυσικός εμπλουτισμός του νερού με διαλυμένο οξυγόνο επαναφέρει το σύστημα από την κατάσταση ασφυξίας σε κανονικές συνθήκες, όπως πριν τη ρύπανση.

Η συστηματική παρακολούθηση και καταγραφή (monitoring) της ποιότητας των επιφανειακών νερών είναι απαραίτητη ειδικά σε περιοχές ευάλωτες στη ρύπανση.

Για την προστασία των επιφανειακών συστημάτων νερού επιπλέον απαιτούνται:

- η χωροθέτηση χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και
- η απαγόρευση διάθεσης ανεπεξέργαστων λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων σε επιφανειακούς αποδέκτες.

10.6. Επεξεργασία του νερού

Η Οδηγία 2000/60 της Ε.Ε. για την πολιτική των νερών (άρθρο 7) συνιστά την προστασία των υδατικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πόσιμου νερού, έτσι ώστε να μειωθεί το επίπεδο επεξεργασίας καθαρισμού.

Εντούτοις πολλές φορές για λόγους δημόσιας υγείας καθίσταται απαραίτητη η επεξεργασία του νερού.

Η επεξεργασία του πόσιμου νερού αποσκοπεί στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, των μικροοργανισμών και των επιβλαβών ανόργανων και οργανικών ενώσεων.

Οι κυριότερες τεχνικές επεξεργασίας του νερού πριν τη χρησιμοποίησή του περιλαμβάνουν την απολύμανση, τη διήθηση σε φίλτρα άμμου, την προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, την αποσκλήρυνση, την ιοντοανταλλαγή σε ρητίνες ή ζεόλιθους, την αντίστροφη ώσμωση και τη χημική κατεργασία.

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής ή συνδυασμού τεχνικών είναι συνάρτηση της ποιότητας του νερού και της προοριζόμενης χρήσης του. Προφανώς υπεισέρχεται και ο παράγοντας κόστος, αν και σε ότι αφορά τη δημόσια υγεία δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότερες τεχνικές επεξεργασίας του νερού.

Η απολύμανση είναι η πλέον απαραίτητη επεξεργασία σε υπόγεια και επιφανειακά νερά που προορίζονται για οικιακή κατανάλωση και έχει ως στόχο την καταστροφή ή αδρανοποίηση των περιεχόμενων παθογόνων μικροοργανισμών (βακτήρια, ιοί, πρωτόζωα). Θεωρείται δηλ. ως μια μορφή αποστείρωσης, η οποία γίνεται μετά τη διύλιση.

Τα κυριότερα απολυμαντικά μέσα είναι το ελεύθερο αέριο χλώριο (Cl_2), τα υποχλωριώδη άλατα (υποχλωριώδες νάτριο και υποχλωριώδες ασβέστιο), το διοξειδίο του χλωρίου, οι χλωραμίνες, το όζον και η υπεριώδης ακτινοβολία.

Η απολυμαντική δράση εξαρτάται από το pH, τη θερμοκρασία, την παρουσία οργανικών ενώσεων και γενικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού. Σε κάθε περίπτωση δημιουργούνται παραπροϊόντα και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην επιλογή του μέσου απολύμανσης, ώστε να μην υπάρχουν επιβλαβείς συνέπειες στη δημόσια υγεία και στο περιβάλλον γενικότερα.

Το αέριο χλώριο χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την απολύμανση του νερού, γιατί το κόστος είναι χαμηλότερο από τις άλλες μεθόδους απολύμανσης (όζον, υπεριώδης ακτινοβολία, αποστειρωτική διήθηση μέσω μεμβρανών, ραδιενεργός ακτινοβολία κ.λπ.). Η υποβάθμιση των φυσικών ιδιοτήτων του νερού αναφορικά με την οσμή και τη γεύση, καθώς και η τοξικότητα που εμφανίζει το χλώριο σε μεγάλες ποσότητες έχει αποθαρρύνει πολλές ευρωπαϊκές χώρες στη χρήση του για απολύμανση. Με τη χλωρίωση

παράγονται πολλά παραπροϊόντα που σχηματίζονται με την οξειδωση των οργανικών, που υπάρχουν στο νερό, από το χλώριο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα τριαλογομένα παράγωγα του μεθανίου γιατί σχηματίζονται σε μεγαλύτερες ποσότητες και είναι τοξικά (Λέκκας, 1996).

Το χλώριο ανάλογα με τις τιμές του pH υπάρχει ως αέριο ($\text{pH} < 2$), υποχλωριώδες οξύ ($2 < \text{pH} < 6$), υποχλωριώδη ιόντα OCl^- ($\text{pH} > 7,5$).

Το χλώριο ως ισχυρά οξειδωτικό αντιδρά με τις διάφορες ενώσεις που υπάρχουν στο νερό πριν αρχίσει η απολυμαντική του δράση καταναλώνοντας κάποια ποσότητα που λέγεται απαιτούμενο χλώριο. Ενεργό χλώριο στο νερό είναι το άθροισμα όλων των ενώσεων του χλωρίου που έχουν απολυμαντική δράση. Υπολειμματικό χλώριο είναι η ποσότητα του ενεργού χλωρίου που βρίσκεται σε μορφή υποχλωριώδους οξέος (HClO) και υποχλωριωδών ιόντων.

Η ποσότητα χλωρίου που απαιτείται για απολύμανση δεν μπορεί να προσδιορισθεί εκ των προτέρων γιατί εξαρτάται από το pH, τη θερμοκρασία και την παρουσία οργανικών ενώσεων στο νερό. Συνήθως η επεξεργασία της απολύμανσης αρχίζει με μια περιεκτικότητα 0,3 mg/L (Martz, 1971).

Το διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2) απολυμαίνει αποτελεσματικά το νερό και είναι ασφαλέστερο για την ανθρώπινη υγεία, αλλά το κόστος είναι 3-4 φορές υψηλότερο (Κατσογιάννης & Κουϊμτζής, 2005).

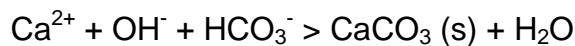
Τελευταία ως απολυμαντικό μέσο χρησιμοποιείται και το όζον (O_3), το οποίο είναι ισχυρό οξειδωτικό και εκτός από τα βακτήρια και τους ιούς αποσυνθέτει τις χλωριωμένες και φαινολικές ενώσεις που βρίσκονται στο νερό και επιπλέον διασπά τα απορρυπαντικά. Το όζον χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή εμφιαλωμένων νερών, γιατί «εξωραΐζει» το νερό, απαλλάσσοντάς το από ανεπιθύμητες οσμές και γεύσεις.

Για την παραγωγή όζοντος με ιονισμό από τον ατμοσφαιρικό αέρα απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγωγή γίνεται στον τόπο χρησιμοποίησης, γιατί πρόκειται για ασταθή ένωση. Από κάθε m^3 ατμοσφαιρικού αέρα παράγονται περίπου 3 g O_3 . Η εισαγωγή όζοντος με τη βοήθεια εκτοξευτήρα υπό πίεση και αντίθετα προς τη φορά ροής γίνεται με ρυθμό 1 g όζον ανά m^3 νερού.

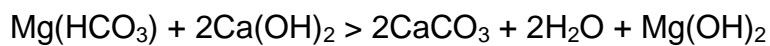
Η αποσκλήρυνση (softening) του νερού αποσκοπεί κυρίως στην απομάκρυνση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου και συνεπώς στην ελάττωση της σκληρότητας του νερού και γίνεται:

- Με χημικές διαδικασίες (προσθήκη Ca(OH)_2 , NaOH ή Na_2CO_3) για την απομάκρυνση πρώτα της ανθρακικής (παροδικής) και στη συνέχεια της μη ανθρακικής σκληρότητας (μόνιμης).
- Με αντίστροφη ώσμωση, με ηλεκτροδιάλυση ή με περιορισμένη εξάτμιση.
- Με χρήση ιοντοανταλλακτών (ρητίνες ή ζεόλιθοι), οι οποίοι περιέχουν ιόντα νατρίου και τα ανταλλάσσουν με ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου.

Η καταβύθιση των ιόντων ασβεστίου και των όξινων ανθρακικών περιγράφεται από την αντίδραση:



Τα ιόντα Mg^{2+} απομακρύνονται ως Mg(OH)_2 σύμφωνα με την αντίδραση:



Κατά τη διαδικασία της αποσκλήρυνσης παράγεται λάσπη, η διάθεση της οποίας γίνεται σε μη επενδυμένες δεξαμενές, τηρώντας τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές.

Η εφαρμογή της αντίστροφης ώσμωσης γίνεται κυρίως στην αφαλάτωση υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού για οικιακή χρήση. Η λειτουργία της στηρίζεται στην εφαρμογή πίεσης μεγαλύτερης από την αντίστοιχη ωσμωτική σε ένα υδατικό διάλυμα που περιέχει ανεπιθύμητες ουσίες και βρίσκεται σε επαφή μέσω ημιπερατής μεμβράνης με καθαρό νερό. Στις συνθήκες αυτές, καθαρό νερό από το υδατικό διάλυμα θα περάσει την ημιπερατή μεμβράνη και οι ανεπιθύμητες ουσίες θα απομονωθούν. Μπορεί να επιτευχθεί μείωση μέχρι 90% του T.D.S. και της σκληρότητας του νερού από την εφαρμογή της αντίστροφης ώσμωσης, γεγονός που το καθιστά άγευστο.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου σχετίζονται με τη συντήρηση των μεμβρανών και το κόστος λειτουργίας. Η εφαρμογή της σε συνδυασμό με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η βέλτιστη λύση σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη πόσιμου νερού.

Η διαδικασία της ιοντοανταλλαγής, χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση από το νερό ανόργανων φορτισμένων ιόντων και αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} (αποσκλήρυνση).

Σαν ιοντοανταλλάκτες χρησιμοποιούνται φυσικές ή συνθετικές ρητίνες και ζεόλιθος. Οι συνθετικές ρητίνες παρασκευάζονται με κατάλληλες αντιδράσεις πολυμερισμού και είναι γενικά πιο ανθεκτικοί ιοντοανταλλάκτες.

Οι φυσικοί ιοντοανταλλάκτες (ζεόλιθοι) χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων ρύπων, όπως του αμμωνίου. Κάθε ιοντοανταλλάκτης δείχνει συγκεκριμένη προτίμηση στα διαλυμένα ιόντα και χαρακτηρίζεται από μια σειρά εκλεκτικότητας.

Η προσρόφηση είναι η διεργασία κατά την οποία μια διαλυμένη ουσία προσροφάται σε μια επιφάνεια.

Η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ρύπων από το νερό.

Ο ενεργός άνθρακας παρασκευάζεται από τη θέρμανση ξύλου ή κάρβουνου σε χαμηλή θερμοκρασία και έλλειψη οξυγόνου και στη συνέχεια έκθεσή του σε οξειδωτική φλόγα υψηλής θερμοκρασίας για σύντομο χρονικό διάστημα (Ζαμπούλης κ.ά, 2003). Χρησιμοποιούνται δύο μορφές: 1) λεπτής σκόνης και 2) κόκκων.

Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα συγκρατούν τα αιωρούμενα στερεά και βακτήρια έως 0,5 μm. Επιπλέον δεσμεύουν σε μεγάλο βαθμό το υπολειμματικό χλώριο και τις παράγωγες ενώσεις του, καθώς και επιβλαβείς ουσίες, όπως τα ανεπιθύμητα ιχνοστοιχεία. Έτσι βελτιώνουν την ποιότητα του νερού, χωρίς να μεταβάλλουν τη σύστασή του.

Μειονέκτημα των φίλτρων ενεργού άνθρακα είναι η απόφραξή του και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνειά τους, που τα καθιστά επιβλαβή. Η αντιμετώπιση του προβλήματος της απόφραξης γίνεται με επιφανειακό καθαρισμό των κόκκων του με αέρα ή/ και νερό. Στην περίπτωση που οι διαθέσιμες θέσεις προσρόφησης καλυφθούν απαιτείται η αντικατάσταση του ενεργού άνθρακα ή επαναχρησιμοποίησή του αφού πρώτα αναγεννηθεί. Η αναγέννηση του ενεργού άνθρακα γίνεται θερμικά σε υψηλές θερμοκρασίες.

Άλλη μέθοδος απομάκρυνσης των οργανικών ουσιών είναι η οξείδωση με ισχυρά οξειδωτικά μέσα, όπως: O_3 , Cl_2 , H_2O_2 , $KMnO_4$ και ακτινοβολία U.V.

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών γίνεται με καθίζηση, διήθηση από στρώμα άμμου ή από γη διατόμων, καθώς και με τη μέθοδο της θρόμβωσης / κροκίδωσης.

Στην περίπτωση του πόσιμου νερού χρησιμοποιούνται κυρίως φίλτρα άμμου για τη συγκράτηση των αιωρούμενων στερεών, χωρίς βέβαια να βελτιώνουν τα υπόλοιπα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού. Τα φίλτρα άμμου αποτελούνται από στρώματα άμμου καθορισμένης κοκκομετρικής σύστασης. Η απομάκρυνση

των στερεών από το αμμόφιλτρο γίνεται με πλύσιμο σε ρεύμα νερού αντίθετης ροής, οπότε οι ρύποι και τα στερεά ξεπλένονται και απομακρύνονται.

Στην περίπτωση τεχνητού εμπλουτισμού μέσω γεωτρήσεων που απαιτείται νερό απαλλαγμένο από αιωρούμενα, χρησιμοποιούνται δεξαμενές καθίζησης, στις οποίες επιτυγχάνεται η καθίζηση με μηχανικές διαδικασίες. Η καθίζηση αυτή δεν είναι βέβαια αρκετή όταν το νερό προορίζεται για ύδρευση, οπότε είναι απαραίτητες οι εγκαταστάσεις διυλίσεως με αμμόφιλτρα και ενεργό άνθρακα.

Σε ατομικό επίπεδο δηλ. στα σπίτια μας, παρόλα τα μέτρα που λαμβάνονται για το νερό ύδρευσης, ενδείκνυται η χρήση φίλτρων νερού για τη συγκράτηση των αιωρούμενων στερεών ή φίλτρων ενεργού άνθρακα για τη συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων, των βακτηρίων και των ανεπιθύμητων οργανικών ενώσεων και ιχνοστοιχείων με την προϋπόθεση της τήρησης των προδιαγραφών (συντήρηση, αντικατάσταση κ.λπ.).

Οι μονάδες επεξεργασίας νερού περιλαμβάνουν τις εγκαταστάσεις χλωρίωσης, της κροκίδωσης (προσθήκη θειικού αργιλίου) για την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων, της καθίζησης και της διήθησης μέσω φίλτρων, από τα οποία το νερό καθαρό πλέον, δίνεται στην κατανάλωση. Η παρουσία του σιδήρου (Fe) και μαγγανίου (Mn), εντοπίζεται σε πολλά υπόγεια νερά της χώρας μας.

Μια σημαντική μέθοδος απομάκρυνσης του Fe και Mn από τα υπόγεια νερά αποτελεί η χημική καθίζηση. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει την οξειδωση των αναγωγικών μορφών των μετάλλων αυτών, δηλ. του Fe^{2+} και Mn^{2+} , που αποτελούν διαλυτές μορφές προς τις περισσότερο αδιάλυτες μορφές τους Fe^{3+} και Mn^{4+} , δημιουργώντας οξειδία που καθιζάνουν ως ιζήματα.

Η οξειδωση και των δύο ανωτέρω μετάλλων γίνεται κυρίως από το υπερμαγγανικό κάλιο, οξυγόνο ή χλώριο. Η οξειδωση του μαγγανίου με οξυγόνο απαιτεί $pH > 9$ και κατά συνέπεια δεν μπορεί να αφαιρεθεί με απλό αερισμό και καθίζηση από τα φυσικά νερά που έχουν pH από 6,5-8, αλλά χρειάζεται χημική οξειδωση. Στα επιφανειακά νερά λόγω της παρουσίας οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα τα ιόντα Fe^{2+} και Mn^{2+} οξειδώνονται άμεσα. Η οξειδωση με χλώριο πρέπει να αποφεύγεται λόγω της δημιουργίας ανεπιθύμητων παραπροϊόντων.

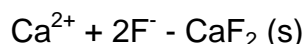
Έχουν προταθεί επίσης εργαστηριακές μέθοδοι απομάκρυνσης μαγγανίου με τη χρήση τόσο φίλτρων, όσο και με τη δράση οξειδωτικών βακτηρίων. Οι Ellis et

al. (2000) εφάρμοσαν τη μέθοδο της οξειδωσης και του φιλτραρίσματος για την απομάκρυνση του σιδήρου και του μαγγανίου από υπόγειο νερό με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

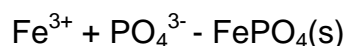
Η προέλευση του αρσενικού (As) είναι τα αρσενικούχα πετρώματα, η ηφαιστειακή δράση και οι ανθρώπινες δραστηριότητες (φυτοφάρμακα, βιομηχανικά απόβλητα, μεταλλουργία κ.ά).

Το Αρσενικό, το οποίο έχει ανιχνευθεί σε υπόγεια νερά της Βορείου Ελλάδας (Χαλάστρα, Χαλκιδική) απομακρύνεται με ιζηματοποίηση με προσθήκη Fe^{3+} ή Al^{3+} . Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση της περιεκτικότητας του αρσενικού από 500 $\mu g/L$ σε 10 $\mu g/L$, που είναι το όριο ποσιμότητας (ΕΚ 98/83, 3/11/1998), με προσθήκη κροκιδωτικών διαλυμάτων Fe^{3+} ή Al^{3+} (Μήτρακας κ.ά, 2002). Πάντως δεν συνιστάται η χρήση του νερού για πόσιμο ακόμα και μετά την επεξεργασία για την απομάκρυνση του αρσενικού, λόγω της τοξικής του δράσης.

Η απομάκρυνση του φθορίου γίνεται με ιζηματοποίηση προσθέτοντας $Ca(OH)_2$ σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα φωσφορικά απαντώνται ως ορθοφωσφορικά, ως μεταφωσφορικά και ως οργανικά φωσφορικά άλατα. Η απομάκρυνση γίνεται προσθέτοντας άλατα του σιδήρου ή του αργιλίου:



Τα φωσφορικά μπορούν να απομακρυνθούν και με τη μέθοδο της προσρόφησης, χρησιμοποιώντας διάφορα προσροφητικά υλικά (Δεληγιάννη κ.ά, 2006).

Το πυρίτιο απομακρύνεται κατά τη διαδικασία της χημικής ιζηματοποίησης του ασβεστίου και του μαγνησίου. Με διεργασίες προσρόφησης-καθίζησης η περιεκτικότητα του πυριτίου μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά (<1 mg/L).

Τα θειικά απομακρύνονται με ιζηματοποίηση προσθέτοντας $Ca(OH)_2$, από όπου προκύπτει γύψος ($CaSO_4$).

Τα βαρέα μέταλλα ιζηματοποιούνται συνήθως ως υδροξείδια και η αναλυτική περιγραφή των μεθόδων γίνεται σε εξειδικευμένα βιβλία Χημικής Τεχνολογίας.

Τέλος, να σημειωθεί ότι, οι τεχνικές επεξεργασίας του νερού αναπτύχθηκαν και εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια, λόγω της ποιοτικής υποβάθμισης των νερών και η εξέλιξή τους γίνεται με ταχύτατους ρυθμούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11ο

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι σύγχρονοι ρυθμοί ανάπτυξης και κατανάλωσης πόρων και αγαθών έχουν οδηγήσει στην αύξηση της παραγωγής αποβλήτων η οποία οδηγεί στην αναζήτηση νέων βιώσιμων εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης και επεξεργασίας τους. Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον στρέφεται σε εναλλακτικές μεθόδους εκτός της ταφής λόγω των σοβαρών περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών προβλημάτων που προκαλεί στις σύγχρονες οικονομίες. Σε κάθε περίπτωση, οι προσπάθειες βελτίωσης στον τομέα της διαχείρισης των αποβλήτων πρέπει να υπόκεινται πάντα στην ιεραρχία των επιλογών που είναι η πρόληψη, η ελαχιστοποίηση, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η ανάκτηση και η ασφαλής διάθεση.

Ως γενικό συμπέρασμα προκειππει ότι για την ολοκληρωμένη διαχείριση και προστασία του περιβάλλοντος στο Νομό Αττικής, απαιτείται ο συντονισμός και η συνεργασία των διαφόρων φορέων και υπηρεσιών (οριζόντιος συντονισμός), αλλά και η συνεργασία μεταξύ των φορέων της Κεντρικής Διοίκησης και των τοπικών αρχών (Νομαρχιακή και Τοπική Αυτοδιοίκηση) (κάθετος συντονισμός). Βέβαια, η ύπαρξη ενός μόνο συντονιστικού μηχανισμού δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική, αλλά απαιτείται ειδικός προγραμματισμός για θέματα περιβάλλοντος που συνδυάζει και τα δύο είδη συντονισμού.

Όσον αφορά τις επιμέρους προτάσεις που αφορούν την προστασία των υδάτων και του εδάφους, αυτές σε γενικές γραμμές έχουν ως εξής:

- Για την προστασία των υδάτων στην Αττική επιβάλλεται καταρχήν η συνεχής εκπόνηση μελετών για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για όλους τους οικισμούς, που νομοθετικά επιβάλλεται να διαθέτουν συστήματα δευτεροβάθμιας ή κατάλληλης επεξεργασίας, ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα στον υδάτινο αποδέκτη. Επομένως, προτείνεται η ένταξη των οικισμών που υποχρεούνται για τέτοιου είδους επεξεργασία των λυμάτων τους σε αντίστοιχα χρηματοδοτικά. Επίσης, κατά το σχεδιασμό των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων θα πρέπει να εξετάζεται η δυνατότητα εξοικονόμησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού (για άρδευση κλπ), καθώς και εξοικονόμησης της ενέργειας, ώστε

να εξασφαλίζεται μια συνολικά σωστή διαχείριση. Όσον αφορά τα βιομηχανικά απόβλητα, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η βέλτιστη δυνατή λύση είναι η πρόληψη της παραγωγής των, με εφαρμογή από τις βιομηχανικές μονάδες χαρακτηριστικών τεχνικών πρόληψης που εφαρμόζονται διεθνώς.

- Για τη μελέτη των επιφανειακών νερών, προτείνεται η επέκταση του δικτύου μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων ποιότητας των νερών. Μάλιστα, προτείνεται η ένταξη στις μετρήσεις και μετρήσεων τοξικότητας, ως βασικών μετρήσεων για το χαρακτηρισμό της ποιότητας των επιφανειακών νερών του Νομού. Για τον έλεγχο της ποιότητας των νερών και ιδίως του φαινομένου νιτρορρύπανσης, προτείνεται κυρίως η επέκταση του εφαρμοζόμενου προγράμματος, που επιβάλλει τη μείωση της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων και αρδευτικού νερού σε προβληματικές περιοχές.
- Η προστασία του εδάφους στο Νομό επιτυγχάνεται με βάση δύο κυρίως άξονες: α) την ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων και β) την αποκατάσταση των παθογενών εδαφών της Αττικής. Όσον αφορά τα στερεά απόβλητα, το πρόβλημα εντοπίζεται στις ανεξέλεγκτες χωματερές που λειτουργούν στο Νομό και των οποίων επιβάλλεται το κλείσιμο και η εξυγίανση αυτών, με βάση συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα. Επίσης προτείνεται η λήψη ανάλογων μέτρων για τη μείωση των απορριμμάτων πριν αυτά φτάσουν στο χώρο τελικής διάθεσής τους. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται η επέκταση των προγραμμάτων ανακύκλωσης στους δήμους, με διαλογή στην πηγή, κυρίως και η κατασκευή μονάδας αναερόβιας κομποστοποίησης στον ευρύτερο χώρο των Χ.Υ.Τ.Α. Για την αποκατάσταση των παθογενών εδαφών προτείνονται ορισμένοι περιορισμοί στην άσκηση αγροτικής δραστηριότητας ή η παύση αυτής και η επαναφορά του φυσικού περιβάλλοντος σε περιοχές που εμφανίζουν έντονη διάβρωση.

Μέσα από τη συγκεκριμένη εργασία, γίνεται μία προσπάθεια διερεύνησης των θεσμικών και οικονομικών εργαλείων που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν με επιτυχία στην Ελλάδα, ώστε να επιτευχθούν έγκαιρα οι στόχοι στους οποίους έχει δεσμευτεί σαν μέλος της Ε.Ε. Επιπλέον, με την εφαρμογή αυτών των εργαλείων, το εθνικό σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων θα αναβαθμιστεί και

θα προωθηθούν νέες βιώσιμες μέθοδοι επεξεργασίας που θα προσφέρουν περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη στη χώρα.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τις απόψεις των ειδικών που εμπλέκονται στο χώρο της διαχείρισης των αποβλήτων και στους οποίους απευθύνθηκε η έρευνα της παρούσας εργασίας, το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο δεν είναι ικανό ώστε να προωθήσει την εκτροπή των ΒΑΑ από την ταφή. Ένας ιδανικός συνδυασμός εργαλείων που θεωρείται ότι θα προωθήσει την εκτροπή των ΒΑΑ αποτελείται από τη δημιουργία συστημάτων ΔσΠ, εισαγωγή κριτηρίων αποδοχής αποβλήτων σε ΧΥΤΑ και εφαρμογή συστημάτων «Πληρώνω όσο Πετάω» τόσο σε δημοτικό όσο και σε οικιακό επίπεδο. Παρατηρείται η ανάγκη για αυστηρή εφαρμογή θεσμικών εργαλείων έναντι των οικονομικών, αφού οι δύσκολες οικονομικές συγκυρίες δεν επιτρέπουν την εφαρμογή αντίστοιχων μέτρων και συνεπώς την επιτυχία τους.

Η δημιουργία και η επιτυχημένη εφαρμογή συστημάτων ΔσΠ βασίζεται άμεσα στην ενεργή συμμετοχή του κοινού η οποία θα κρίνει τα επόμενα βήματα στο πλαίσιο της συνολικής διαχείρισης των αποβλήτων. Για το λόγο αυτό ως πρωταρχικός στόχος θα πρέπει να τίθεται η αλλαγή της στάσης και νοοτροπίας του κοινού μέσα από μια οργανωμένη προσπάθεια ενημέρωσης και ευαισθητοποίησής του. Έτσι ενισχύεται περισσότερο η ανακύκλωση, αφού τα υλικά που προέρχονται από ΔσΠ χαρακτηρίζονται σαν «προϊόντα», μπορούν να αποκτήσουν εμπορική αξία και η διαχείρησή τους είναι πιο εύκολη.

Η απαίτηση για εφαρμογή κριτηρίων αποδοχής αποβλήτων σε ΧΥΤΑ (Waste Acceptance Criteria) αποτελεί μια πρόκληση και προϋποθέτει την απαραίτητη προεπεξεργασία τους. Απαραίτητο στοιχείο για την επιτυχία του μέτρου είναι η ύπαρξη ελεγκτικών μηχανισμών και η δημιουργία κατάλληλων υποδομών επεξεργασίας αποβλήτων ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες, αφού σήμερα τα παραπάνω στοιχεία είναι σχεδόν ανύπαρκτα. Η εφαρμογή κριτηρίων αποδοχής αποβλήτων σε ΧΥΤΑ πρέπει να συνδυάζεται πάντα με εφαρμογή συστημάτων ΔσΠ καθώς οι στόχοι του ενός συμπληρώνουν την επιτυχία του άλλου.

Τέλος, η πρόταση για δημιουργία συστημάτων «Πληρώνω όσο Πετάω» δείχνει την απαίτηση για εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει». Η ύπαρξή τους κρίνεται απαραίτητη τόσο σε δημοτικό όσο και σε οικιακό επίπεδο με ανταποδοτικά τέλη και αναλογικές χρεώσεις για να δημιουργηθούν αντικίνητρα και να ενισχυθεί η ευαισθητοποίηση τόσο των πολιτών όσο και των

τοπικών αρχών. Οι προσπάθειες εξοικονόμησης χρημάτων θα οδηγούν σε ενέργειες πρόληψης, ελαχιστοποίησης, παραγωγής και ανακύκλωσης των αποβλήτων. Σημαντική προϋπόθεση κι εδώ είναι η ύπαρξη ελεγκτικών μηχανισμών και κατάλληλων υποδομών ώστε να ενισχυθεί η βιώσιμη λειτουργία του συστήματος. Με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα και αντικίνητρα η στροφή σε νέες μεθόδους επεξεργασίας θα γίνει πιο ομαλά και θα αποκτήσουν ανταγωνιστικότητα σε σχέση με την υγειονομική ταφή.

Τα παραπάνω εργαλεία αποτελούν ίσως τη βάση για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης αποβλήτων. Στην περίπτωση της Ελλάδας η έρευνα ανέδειξε την ανάγκη για τη μετάβαση από το «τίποτα», σε μια πιο ώριμη κατάσταση συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων που θα προσφέρουν ικανοποίηση στόχων και βιώσιμη ανάπτυξη. Με τις νέες δράσεις να βασίζονται στην ιεραρχία των επιλογών διαχείρισης των αποβλήτων, η συνεχής εξέλιξη και επιτυχία των συστημάτων θεωρείται σίγουρη.-

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Βασική Νομοθεσία για τα στερεά απόβλητα

Έτος	ΦΕΚ	Είδος/Αριθμός	Τίτλος	Παρατηρήσεις
2006	ΦΕΚ Β 383/28.3.06	ΚΥΑ 13588/725/2006	«Μέτρα όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991».	Αντικατάσταση της 19396/1546/1997
2006	ΦΕΚ Β 168/13-02-06	ΚΥΑ 4641/232/2006	«Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών μικρών χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων σε νησιά και απομονωμένους οικισμούς, κατ' εφαρμογή του άρθρου 3 (παρ.4) σε συνδυασμό με το άρθρο 20 (παράρτημα Ι) της υπ' αριθμ. 29407/3508/2002 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για υγειονομική ταφή των αποβλήτων» (Β' 1572)»	
2006	ΦΕΚ 12 Α/2006	Π.Δ. 15/2006	Τροποποίηση του προεδρικού διατάγματος 117/04 (82/Α), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/108 «για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/96 σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)» του Συμβουλίου της 8ης Δεκεμβρίου 2003	
2005	ΦΕΚ Β 1002/18.07.05	ΚΥΑ οικ.145799/2005	«Συμπλήρωση της υπ' αριθμ. Η.Π. 15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022/Β/5.8.2002) κοινής υπουργικής απόφασης, Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, σύμφωνα με το άρθρο 3 του ν. 1650/1986 (Α'160) όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 του ν. 3010/2002 «Εναρμόνιση του	

			ν. 1650/1986 με τις οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ κ.α. (Α'91)»	
2005	ΦΕΚ 759B/06-06-05	ΚΥΑ 22912/1117	«Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων»	Ενσωμάτωση της Οδηγίας 2000/76/ΕΚ για την αποτέφρωση των αποβλήτων
2005	ΦΕΚ 713 Β	Υ.Α. Δ10/Β/Φ.68/οικ.9725/2842	Τροποποίηση της Δ.10/Φ.68/οικ.4437/1.3.2001 κοινής απόφασης των Υπουργών Ανάπτυξης ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και Γεωργίας "Προδιαγραφές και χρονοδιάγραμμα ειδικής μελέτης αποκατάστασης"	
2004	ΦΕΚ Β 849/9.6.04	ΚΥΑ οικ. 104826/2004	«Καθορισμός ύψους ανταποδοτικών τελών από ατομικά ή συλλογικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης συσκευασιών / άλλων προϊόντων (όπως αυτά ορίζονται στο άρθρο 2, παρ. 4, του Ν. 2939/2001) σε εφαρμογή των άρθρων 7 (παρ. Β1, εδ. α3 και παρ. Β2, εδ. α5) και του άρθρου 17 του Ν. 2939/2001 «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων κ.λ.π.» (Α' 179)»	
2004	ΦΕΚ Α 82/5.3.04	ΠΔ 117/2004	«Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού»	Ενσωμάτωση των Οδηγιών 2002/96/ΕΚ και 2002/95/ΕΚ
			«Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των	

2004	ΦΕΚ Α 81/5.3.04	ΠΔ 116/2004	οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, των χρησιμοποιημένων ανταλλακτικών τους και των απενεργοποιημένων καταλυτικών μετατροπών»	Ενσωμάτωση Οδηγίας 200/53/ΕΚ
2004	ΦΕΚ Α 80/5.3.04	ΠΔ 115/2004	Αντικατάσταση της 73537/148/1995 κοινής υπουργικής απόφασης «Διαχείριση ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών που περιέχουν ορισμένες επικίνδυνες ουσίες» (Β'781) και 19817/2000 κοινής υπουργικής απόφασης «Τροποποίηση της 73537/1995 κοινής υπουργικής απόφασης κ.λ.π.» (Β' 963). «Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των χρησιμοποιημένων Ηλεκτρικών Στηλών και Συσσωρευτών»	
2004	ΦΕΚ Α 75/5.3.04	ΠΔ 109/2004	«Μέτρα και όροι για την εναλλακτική διαχείριση των μεταχειρισμένων ελαστικών των οχημάτων. Πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείρισή τους»	
2004	ΦΕΚ Α 64/2.3.04	ΠΔ 82/2004	Καθορισμός μέτρων και όρων για τη διαχείριση των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων	
2004		Εγκύκλιος 123067/10-2-2004	Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων: Συλλογή-Μεταφορά-Αποθήκευση Αποβλήτων και Αποκατάσταση Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων	
2003	ΦΕΚ 1909Β/22-12-03	ΚΥΑ Η.Π. 50910/2727	«Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων / Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης»	Ενσωμάτωση της Οδηγίας Πλαίσιο 91/156/ΕΟΚ
2003	ΦΕΚ Β1419/ 1.10.03	ΚΥΑ 37591/2031/2003	«Μέτρα και όροι για τη διαχείριση ιατρικών αποβλήτων από	

			υγειονομικές μονάδες»	
2003	ΦΕΚ Β 1391/29.9.03	ΚΥΑ 37111/2021/2003	«Καθορισμός τρόπου ενημέρωσης και συμμετοχής του κοινού κατά τη διαδικασία έγκρισης περιβαλλοντικών όρων των έργων και δραστηριοτήτων σύμφωνα με την παράγραφο 2 του άρθρου 5 του Ν.1650/1986 όπως αντικαταστάθηκε με τις παραγράφους 2 και 3 του άρθρου 3 του Ν.3010/2002»	
2003	ΦΕΚ 864 Β/2003	Υ.Α. 26469/1501/Ε103/2003	Τροποποίηση της κ.υ.α 14312/1302/00 με θέμα «συμπλήρωση και εξειδίκευση της κ.υ.α 113944/97 «εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων)» (723/Β)»	
2003	ΦΕΚ Β 606/15.5.03	ΚΥΑ 18083/1098 Ε.103/ 2003	«Σχέδια διάθεσης /απολύμανσης συσκευών που περιέχουν PCB – Γενικές κατευθύνσεις για τη συλλογή και μετέπειτα διάθεση συσκευών και αποβλήτων με PCB, σύμφωνα με το άρθρο 7 της κοινής υπουργικής απόφασης 7589/731/2000 (Β' 514)»	
2003	ΦΕΚ Β 332/20.3.03	ΚΥΑ 11014/703/Φ104/2003	«Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης(ΠΠΕΑ) και Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) σύμφωνα με το άρθρο 4 του Ν.1650/1986 (Α' 160) όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν.3010/2002 «Εναρμόνιση του Ν. 1650/86 με τις Οδηγίες 97/11/ΕΕ. και 96/61 ΕΕ...και άλλες διατάξεις» (Α' 91)»	
2002	ΦΕΚ 1572Β/2002	ΥΑ 29407/3508	Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων	Ενσωμάτωση Οδηγίας

		16.12.2002		99/31/EK
2002	ΦΕΚ Β 1463/20.11.02	ΚΥΑ 25535/3281/02	«Έγκριση περιβαλλοντικών όρων από το Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας των έργων και δραστηριοτήτων που κατατάσσονται στην υποκατηγορία 2 της Α' κατηγορίας σύμφωνα με την υπ'αρ. ΗΠ 15393/2332/2002 ΚΥΑ «Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων σε κατηγορίες κ.λ.π.»(Β'1022)»	
2002	ΦΕΚ Β 1022/5.8.02	ΚΥΑ 15393/2332/2002	«Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 3 του Ν. 1650/1986 όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 του Ν.3010/2002 «Εναρμόνιση του Ν.1650/86 με τις οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ κ.ά (Α' 91)»	
2002	ΦΕΚ 712 Β/2002	Υ.Α. 3418/07/2002	Μέτρα και όροι για τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων που παράγονται στα πλοία και καταλοίπων φορτίου	
2002	ΦΕΚ Α 91/25.4.02	Ν. 3010/2002	«Εναρμόνιση του Ν. 1650/86 με τις Οδηγίες 97/11/Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις»	
2002	ΦΕΚ 57Β/2002	ΥΑ 24.1.2002	Διαδικασία και προϋποθέσεις χαρακτηρισμού ως στερεών αποβλήτων των εγκαταλειμμένων οχημάτων	
2002	ΦΕΚ 19 Β/2002	ΠΔ 23/2002	Δημοτική Αστυνομία:πρόσληψη,προσόντα,δικαιώματα κλπ	Αρμοδιότητες σχετικά με απορρίμματα
2001	ΦΕΚ 228Α	Ν 2947/2001	Ολυμπιακή Φιλοξενία,Ολυμπιακά Έργα κλπ διατάξεις	Σύσταση Ειδικής Υπηρεσίας Επιθεωρητών

				Περιβάλλοντος
2001	ΦΕΚ 224 Β	ΥΑ Δ10/2001/Β-244	Προδιαγραφές και χρονοδιάγραμμα ειδικής μελέτης αποκατάστασης λατομείων αδρανών υλικών	
2001	ΦΕΚ 179Α/2001	Ν. 2939/2001	Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις	Ενσωμάτωση της Οδηγίας 94/62/ΕΟΚ στο Εθνικό Δίκαιο
2000	ΦΕΚ Β 514/11.4.00	ΚΥΑ 7589/731/2000	«Καθορισμός μέτρων και όρων για τη διαχείριση των πολυχλωροδιφαινυλίων και των πολυχλωροτριφαινυλίων (PCB/PCT)»	
2000	ΦΕΚ 723Β/2000	ΚΥΑ 14312/1302/2000	Συμπλήρωση και εξειδίκευση της υπ' αριθ.113944/1944/1997 Κοινής Υπουργικής Απόφασης με θέμα «Εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Γενικές κατευθύνσεις της πολιτικής διαχείρισης στερεών αποβλήτων)»	Καταργήθηκε
1998	ΦΕΚ 828 Β/1998	Υ.Α. 9690/Γ-601/1998	Ανάκληση της 135/Γ-5/31-12-97 απόφασης, με την οποία τροποποιήθηκε η 7381/Γ-112/97 απόφαση με θέμα «Ανάθεση, έγκριση και προκήρυξη διενέργειας της έρευνας των Στερεών Βιομηχανικών Αποβλήτων	
1998	ΦΕΚ 457 Β/1998	Υ.Α. 6112/Γ-1049/1998	Ανάθεση έγκριση και προκήρυξη διενέργειας έρευνας Στερεών Βιομηχανικών Αποβλήτων	
			Τροποποίηση της απόφασης 7381/Γ-112/21-4-97 με θέμα	

1998	ΦΕΚ 50/Β`/1998	Υ.Α. 135/Γ-5/1998	«Ανάθεση, έγκριση και προκήρυξη διενέργειας της έρευνας των Στερεών Βιομηχανικών αποβλήτων»	
1997		ΥΑ 362016/28.11.97	Τροποποίηση – Συμπλήρωση της απόφασης αριθμ.346712/6.10.97 περί «διαδικασίες για τη βιολογική αποσύνθεση και λιπασματοποίηση των αποσυρόμενων γεωργικών προϊόντων (Υπουργείο Γεωργίας)	
1997		ΥΑ 346712/6.10.97	Διαδικασίες για την βιολογική αποσύνθεση και λιπασματοποίηση των αποσυρόμενων γεωργικών προϊόντων (Υπουργείο Γεωργίας)	
1997	ΦΕΚ 1016Β/1997	ΚΥΑ 114218	Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων	
1997	ΦΕΚ 1016Β/1997	ΚΥΑ 113944/97	Εθνικός σχεδιασμός διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Γενικές Κατευθύνσεις της Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων	Καταργήθηκε
1997	ΦΕΚ 604 Β	ΚΥΑ 19396/1546	Μέτρα και όροι για τη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων	Καταργήθηκε
1996	ΦΕΚ 358/1996	ΚΥΑ 69728/824	Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων	Καταργήθηκε
1996	ΦΕΚ 40 Β	ΚΥΑ 98012/2001	Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια	Καταργήθηκε
1995	ΦΕΛ 781	ΚΥΑ 73537/148	«Διαχείριση ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών που περιέχουν ορισμένες επικίνδυνες ουσίες»	Καταργήθηκε
1995	ΦΕΚ 231Α/1995	Π.Δ. 410/1995	Δημοτικός και Κοινοτικός Κώδικας	Υπό έγκριση ο Νέος Δημοτικός Κοινοτικός Κώδικας
				Σύσταση Ειδικού Σώματος

1994	ΦΕΚ 162 Α	Ν. 2242/1994	Πολεοδόμηση περιοχών δεύτερης κατοικίας σε Ζ.Ο.Ε. Κλπ	Ελεγκτών Περιβάλλοντος (καταργήθηκε)
1994	ΦΕΚ 58 Α	Νόμος 2203/94	Κύρωση της Σύμβασης της Βασιλείας για τον έλεγχο των διασυνοριακών κινήσεων επικίνδυνων αποβλήτων και της επεξεργασίας τους	
1993	ΦΕΚ 699B/93	ΚΥΑ 82805/2224/93	Καθορισμός μέτρων και όρων για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από εγκαταστάσεις καύσης αστικών αποβλήτων	Καταργήθηκε
1991	ΦΕΚ 541/B/91	ΥΑ 71961/3670/1991	Καθορισμός των όρων και της διαδικασίας ανακοίνωσης των σχεδίων των Προεδρικών Διαταγμάτων που προβλέπονται στις παραγράφους 1 και 2 του άρθρου 21 του Ν.1650/86	
1991	ΦΕΚ 641B/1991	ΚΥΑ 80568/4225	Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων	
1991	ΦΕΚ 202Α/1991	Π.Δ. 517/91	Για τις ιδιωτικές κλινικές	
1991	ΦΕΚ 164Α/1991	Π.Δ.444/91	Συμπλήρωση και τροποποίηση του Π.Δ. 1381/81 (Α334) ως προς το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο και το θείο που περιέχονται στα λιπάσματα	Εναρμόνιση με Οδηγία 89/284/ΕΟΚ
1991	ΦΕΚ 138B/1991	Υ.Α. 8243/1113/1991	Καθορισμός μέτρων και μεθόδων για την πρόληψη και μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από εκπομπές αμιάντου	
1990	ΦΕΚ 691B/1990	ΚΥΑ 75308/5512/1990	Καθορισμός τρόπου ενημέρωσης πολιτών και φορέων για το	(Καταργήθηκε από ΥΑ

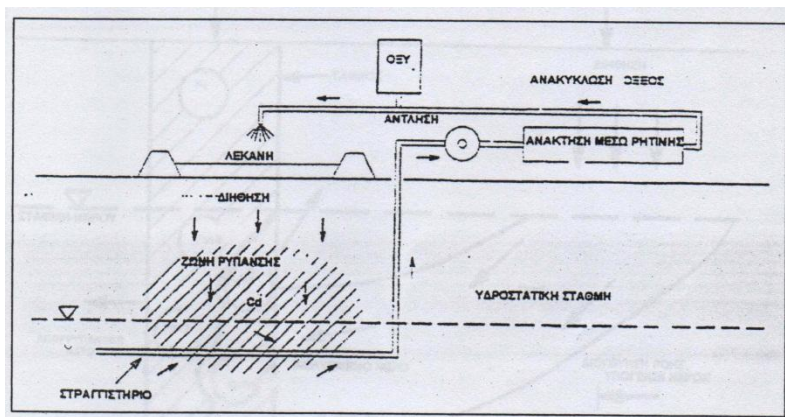
			περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ)	Η.Π.37111/2021/2003)
1990	ΦΕΚ 678B/1990	ΚΥΑ 69269/5387/1990	Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και συναφείς διατάξεις	Αφορά την Προέγκριση Χωροθέτησης και την Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
1990	ΦΕΚ 251B/1990	ΚΥΑ 31784/954/90	Για τους τύπους συσκευασίας υγρών τροφίμων	Εναρμόνιση της Ελλην. Νομοθεσίας προς την 85/339 Οδηγία ΕΟΚ
1988	ΦΕΚ 638 Β/31-8-88	ΚΥΑ 59388/3363/88	Τρόπος, όργανα και διαδικασία επιβολής και είσπραξης των διοικητικών προστίμων του άρθρου 30 του Ν.1650/1986	
1986	ΦΕΚ 444B/1986	ΚΥΑ 49541/1424/86	Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την Οδηγία 75/442 του Συμβουλίου	Αντικαταστάθηκε από την ΚΥΑ 69728/96
1986	ΦΕΚ 160Α/1986	Ν. 1650/1986	Για την προστασία του περιβάλλοντος	Νόμος – Πλαίσιο
1985	ΦΕΚ 665 Β	ΚΥΑ 71560/3053	Διάθεση των χρησιμοποιούμενων ορυκτελαίων	Καταργήθηκε
1985	ΦΕΚ 665 Β	Κ.Υ.Α.72751/3054	Τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα και εξάλειψη πολυχλωροδιαφαινυλίων και πολυχλωροτριφαινυλίων	Καταργήθηκε
1983	ΦΕΚ 118/Α`/1983	Π.Δ. 329/1983	Ταξινόμηση, συσκευασία και επισήμανση των επικίνδυνων ουσιών σε συμμόρφωση με τις Οδηγίες του Συμβουλίου των Ε.Κ. 67/548/ΕΟΚ, 69/81/ΕΟΚ, 70/189/ΕΟΚ, 71/141/ΕΟΚ, 23/146/ΕΟΚ, 75/409/ΕΟΚ, 79/831/ΕΟΚ και της Επιτροπής των Ε.Κ. 76/907/ΕΟΚ, 79/370/ΕΟΚ	

1982	ΦΕΚ 266Β/1982	Υ.Α. 181051/1090/82	Όροι και προϋποθέσεις αναγνώρισης πλοίων, φορηγίδων ή πλωτών γενικά ναυπηγημάτων που χρησιμοποιούνται ως ευκολίες υποδοχής στερεών απορριμμάτων πλοίων	
1982	ΦΕΚ 78Α/1982	Π.Δ. 434/1982	Συγκρότηση και αρμοδιότητες ειδικής υπηρεσίας των ΟΤΑ	καταργήθηκε από ΠΔ 23/2002
1980	ΦΕΚ 246Α/1980	Ν. 1080/1980	Περί τροποποίησης και συμπλήρωσης διατάξεων τινών της περί των προσόδων των ΟΤΑ Νομοθεσίας και άλλων τινών συναφών διατάξεων	Τέλη καθαριότητας
1977	ΦΕΚ 319Α/1977	Ν. 743/1977	Περί προστασίας του θαλασσίου Περιβάλλοντος και ρυθμίσεως συναφών θεμάτων	Αφορά τα απορρίμματα που παράγονται από τα πλοία
1976	ΦΕΚ 235Α/1976	Ν. 429/1976	Περί τροποποίησης διατάξεως τινών του Ν. 25/1975.	
1975	ΦΕΚ 74Α/1975	Ν. 25/1975	Περί υπολογισμού και τρόπου εισπράξεως δημοτικών και κοινοτικών τελών καθαριότητας και φωτισμού και ρυθμίσεως συναφών θεμάτων.	
1970	ΦΕΚ 219Α/1970	Ν.Δ. 703/1970	Περί τροποποίησης διατάξεων αφορωσών εις τα έσοδα των ΟΤΑ.	Τέλη καθαριότητας
1964	ΦΕΚ 63Β/1964	ΚΥΑ ΕΙβ/301/64	Περί συλλογής, αποκομιδής και διαθέσεως απορριμμάτων	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Παραδείγματα εφαρμογών απορρύπανσης υπόγειων υδροφορέων

1. Απορρύπανση με χημικές μεθόδους

Στην Ολλανδία στην θέση που υπήρχε ένα παλιό εργοστάσιο παραγωγής φωτογραφικού χαρτιού, ο χώρος είχε μολυνθεί με κάδμιο (Urlings, 1990). Ένας εδαφικός όγκος περίπου 30.000 m³ και κατά το ήμισι περίπου κάτω από την υδροστατική στάθμη, περιείχε κάδμιο από 5 έως και πάνω από 20mg/kg (το επιτρεπτό όριο είναι μικρότερο του 1mg/kg), ενώ η υδροπερατότητα του εδάφους ήταν ικανοποιητική. Για την απορρύπανση χρησιμοποιήθηκε HCl, το οποίο κινητοποίησε το κάδμιο και μέσω συστήματος αποστράγγισης στη βάση της ρυπασμένης μάζας, αντλήθηκε στην επιφάνεια του εδάφους. Το μίγμα HCl-Cd διαχωρίστηκε στην επιφάνεια και το HCl επανακυκλώθηκε στη διαδικασία της απορρύπανσης.

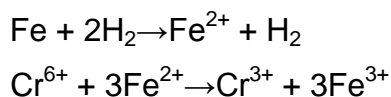


Σχήμα : Απορρύπανση με εφαρμογή χημικής κινητοποίησης και εξαγωγής τοξικού καδμίου σε χώρο παλιού εργοστασίου φωτογραφικού χαρτί στην Ολλανδία (Urlings, 1990).

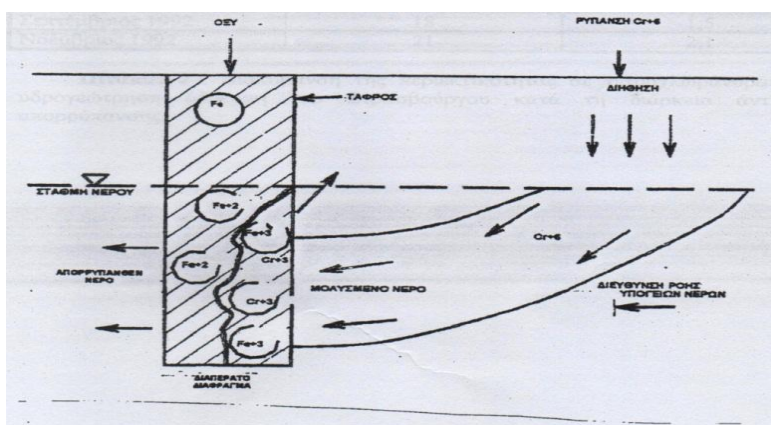
2. Μέθοδος εξουδετέρωσης ρύπου με αναγωγικές αντιδράσεις

Στις ΗΠΑ λειτουργεί πιλοτικό πρόγραμμα απορρύπανσης με μετατροπή με αναγωγικές αντιδράσεις του Cr⁶⁺ σε Cr³⁺. Για την εφαρμογή της μεθόδου ανοίχτηκε τάφος κάθετη στη διεύθυνση της υπόγειας ροής στα κατάντη της ζώνης ρύπανσης κατά τη διεύθυνση ροής. Το βάθος της τάφρου πρέπει να είναι τόσο που να διαπερνά όσο γίνεται μεγαλύτερο βάθος του υδροφόρου συστήματος. Η τάφος πληρούται με μικρά τεμάχια – κόκκους σιδήρου και ένα όξινο διάλυμα. Κατά τη διέλευση του ρυπαθέντος υπόγειου νερού μέσα σε αυτό

το περατό φράγμα, γίνονται οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις μετατροπής του εξασθενούς χρωμίου στο λιγότερο τοξικό τρισθενές:



Το μη τοξικό Cr κατακρατείται στην τάφρο ενώ το καθαρό υπόγειο νερό συνεχίζει την ροή του. Κατά την διαδικασία της εφαρμογής της μεθόδου είναι απαραίτητο να επικρατούν όξινες συνθήκες ώστε να μπορεί ο σίδηρος να γίνεται διασθενής.



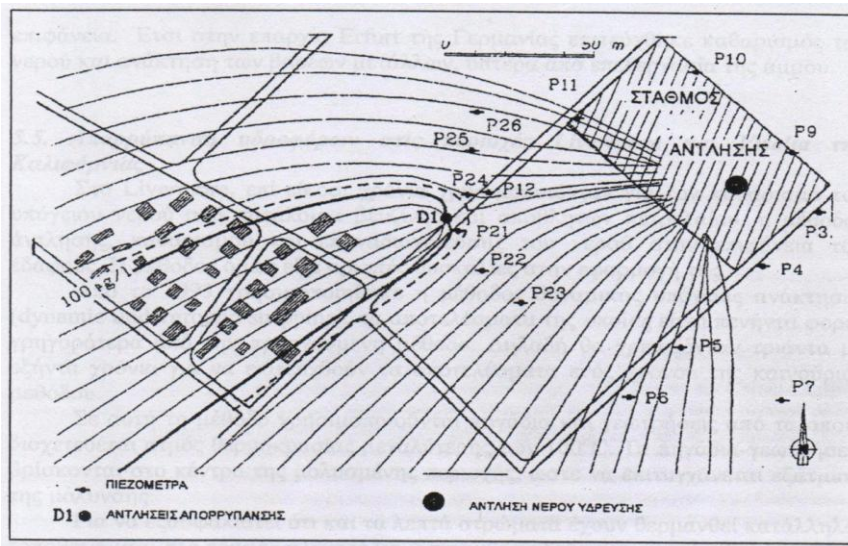
Σχήμα: Απορρύπανση με εφαρμογή της μεθόδου του χημικού φραγμού (κατά P.Lecompte, 1998).

3. Μέθοδος άντλησης υπόγειου νερού

Στο Στρασβούργο, ο υδροφόρος ορίζοντας υδροδότησης της περιοχής μολύνθηκε από ρυπαντή βιομηχανικής προέλευσης με τετραχλωροαιθυλένιο. Η μέθοδος απορρύπανσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η άντληση του υπόγειου νερού με γεωτρήσεις απορρύπανσης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διακυμάνσεις της περιεκτικότητας σε τετραχλωράνθρακα στην υδρογεώτρηση ύδρευσης κατά την εφαρμογή της μεθόδου απορρύπανσης.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Πηγάδι άντλησης απορρύπανσης (μέση περιεκτικότητα μg/l)	Υδρογεώτρηση ύδρευσης (μέση περιεκτικότητα μg/l)
Σεπτέμβριος 1991		12,7
Νοέμβριος 1991	142	10,5
Ιανουάριος 1992	111	5,1
Μάρτιος 1992	70	2,3
Μάιος 1992	51	1,9
Ιούλιος 1992	20	1,3
Σεπτέμβριος 1992	18	1,5
Νοέμβριος 1992	21	2,1

Πίνακας: Διακύμανση της περιεκτικότητας σε τετραχλωράνθρακα σε υδρογέωτρηση ύδρευση του Στρασβούργου κατά τη διάρκεια άντλησης απορρύπανσης.



Σχήμα: Παράδειγμα απορρύπανσης υδροφόρου ορίζοντα υδροδότησης Στρασβούργου με εφαρμογή της μεθόδου των αντλήσεων (Lapierre et al.1992).

4. Προστασία υπόγειου νερού με χρήση άμμου

Άμμος που περιέχει χουμικές ουσίες χρησιμοποιήθηκε για την προστασία των υπόγειων νερών μολυσμένα με βαρέα μέταλλα και οργανικές ουσίες. Η μέθοδος έλαβε χώρα νότια του Leirzig. Τα χουμικά οξέα αντιδρούν με τα βαρέα μέταλλα (ανταλλαγή ιόντων), προς σχηματισμό ενώσεων του υδρογόνου, αλάτων κ.α. Οι αντιδράσεις αυτές απαιτούν την επαφή της χουμικής άμμου με το μολυσμένο νερό από λάδια, φαινόλες, οργανικές φωσφορούχες ουσίες κ.α.

Η άμμος τοποθετήθηκε ανάμεσα στα υπόγεια νερά και στην περιοχή απόρριψης των μολυσμένων επιφανειακών νερών, ώστε να <<φιλτράρει>>, να εμποδίσει την μετανάστευση των βαρέων μεταλλικών ιόντων και της οργανικής μόλυνσης στον υπόγειο υδροφόρο.

Η ίδια μέθοδος, η χρήση δηλαδή χουμικής άμμου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον καθαρισμό υπόγειων νερών, στις περιοχές που το νερό αναβλίζει στην επιφάνεια. Έτσι στην επαρχία Erfurt της Γερμανίας επιτεύχθηκε καθαρισμός του νερού και ανάκτηση των βαρέων μετάλλων, ύστερα από επεξεργασία της άμμου.

5. Απορρύπανση υδροφόρων στις περιοχές Livermore και Visalia της Καλιφόρνιας

Στο Livermore, επί είκοσι χρόνια χρησιμοποιούνταν για τον καθαρισμό του υπόγειου νερού από κατάλοιπα βενζίνης και αποβλήτων πετρελαίου, η μέθοδος άντλησης, καθαρισμού και επαναδιοχέτευσης του νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Η μέθοδος όμως είχε αρκετές δυσκολίες στην εφαρμογή της.

Από το 1993 χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος δυναμικής υπόγειας ανάκτησης (dynamic underground stripping), τα αποτελέσματα της οποίας είναι πενήντα φορές γρηγορότερα από την προηγούμενη μέθοδο. Δηλαδή θα χρειαζόταν τριάντα με εξήντα χρόνια για να επιτευχθούν τα αποτελέσματα ενός χρόνου της καινούργιας μεθόδου.

Σε αυτήν τη μέθοδο χρησιμοποιούνται πηγάδια και γεωτρήσεις από τα οποία διοχετεύεται ατμός θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 100°C. Τα πηγάδια-γεωτρήσεις βρίσκονται στο κέντρο της μολυσμένης περιοχής, ώστε να επιτυγχάνεται εξάτμιση της μόλυνσης.

Για να εξασφαλιστεί ότι και τα λεπτά στρώματα έχουν θερμανθεί κατάλληλα, τοποθετούνται στο έδαφος ηλεκτρόδια ώστε να παγιδεύουν τα υγρά μέσα στη ζώνη ατμού.

Τέλος η ανάκτηση του ρυπασμένου νερού γίνεται από τις γεωτρήσεις που βρίσκονται κατάντη των γεωτρήσεων εισροής.

Στην Visalia της Καλιφόρνιας χρησιμοποιείται μαζί με τον ατμό και οξυγόνο το οποίο καταστρέφει την διαλυμένη μόλυνση. Αυτή η μέθοδος αποφεύγει την ανάμιξη ουσιών με τα υλικά του εδάφους.

Ανάλογα με την θερμοκρασία του ατμού-νερού ο χρόνος απορρύπανσης είναι και διαφορετικός. Π.χ. για την επίτευξη των ίδιων αποτελεσμάτων σε θερμοκρασία 90°C χρειάζονται μερικές εβδομάδες, σε 100°C μερικές μέρες, σε 120°C χρειάζονται μόνο μερικές ώρες.

6. Μέθοδοι απορρύπανσης που χρησιμοποιούνται στις 8 πολιτείες του Manhattan.

Η μόλυνση των υπόγειων υδάτων στην πολιτεία του Manhattan των ΗΠΑ ωφείλεται σε βαρέα μέταλλα, ραδιενεργά απόβλητα (ραδιονουκλίδια) και DNAPLS (dense nonaqueous – phase liquids)

Αρχικά για την αντιμετώπιση της μόλυνσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος άντλησης και καθαρισμού, όμως γρήγορα στάθηκε ανεπαρκής.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε συνδιασμός των παρακάτω μεθόδων απορρύπανσης.

- **Υποπιφανειακά φράγματα:** είναι πηγάδια που εμποδίζουν την μετακίνηση της ρύπανσης λειτουργώντας σαν οριζόντια ή κατακόρυφα φράγματα.
- **Επιτόπιο υαλοποίηση (vitrification):** η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για ακίνητα μέταλλα και ραδιονουκλίδια που εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις, σε απόσταση 6-9 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους και βρίσκονται εντός του υδροφόρου ορίζοντα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ανάμιξη οργανικών και ανόργανων ουσιών, όμως αποτελεί πολύ ακριβή μέθοδο στην εφαρμογή της.
- **Στερεοποίηση και σταθεροποίηση του ρύπου:** χρησιμοποιείται εφόσον οι υδρογεωλογικές συνθήκες εξασφαλίζουν την επαρκή ανάμιξη των στερεοποιητών με του ρύπους.
- **Φράγματα και χημικές αντιδράσεις:** είναι μια γρήγορη αναπτυσσόμενη μέθοδος αντιμετώπισης υπόγειας μόλυνσης, η οποία συνδυάζει τη δημιουργία φραγμάτων, με τις χημικές μεθόδους. Τα φράγματα ανακόπτουν την ροή του μολυσμένου υπόγειου νερού, παγιδεύοντάς το σε μία υπεδαφική ζώνη, μέσα στην οποία έχουν τοποθετηθεί οργανικές και ανόργανες ουσίες ώστε να προκληθούν ποικίλες χημικές αντιδράσεις εξουδετέρωσης της μόλυνσης.
- **Επιτόπια οξειδοαναγωγή:** η μέθοδος απαιτεί διοχέτευση χημικών ουσιών στο υπέδαφος ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες οξειδοαναγωγής.
- **Βιοθεραπεία:** αναπτυσσόμενη μέθοδος για οργανική και ανόργανη μόλυνση. Μικρό κόστος εφαρμογής.
- **Ηλεκτροκινητική συστοιχία:** αναπτυσσόμενη μέθοδος η οποία δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στο οποίο παγιδεύεται η μόλυνση.
- **Φυτοκάλυψη:** χρησιμοποιείται για μεγάλες επιφάνειες στις οποίες ο υδροφόρος βρίσκεται σε μικρό βάθος.

7. Μέθοδος βιολογικού καθαρισμού

Στην Αυστραλία χρησιμοποιήθηκαν βακτήρια για τον βιολογικό καθαρισμό του υπόγειου νερού, σε έναν λόφο 1300 ποδών κοντά στην πόλη Perth της δυτικής Αυστραλίας. Η μόλυνση είχε προκληθεί ύστερα από διαρροή χημικών αποβλήτων, με αποτέλεσμα να μολυνθεί ο υπόγειος υδροφορέας που τροφοδοτούσε την πόλη. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου αποκαταστάθηκε το πρόβλημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανθεμίδης Α., Ζαχαριάδης Γ., Βουτσά Δ., Κούρας Α., Σαμαρά Κ. (2002): Διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων στα επιφανειακά νερά της Μακεδονίας.
2. Αγγελάκης Α., Χατζουλάκης Κ., Romano Ρ. (1999): Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα. Ξάνθη.
3. Αλεξόπουλος Α. (2001): Υδρογεωλογία – Υδρογεωτρήσεις. Αθήνα.
4. Αλιβάνης Κ. (1999): Περιβαλλοντικές επιπτώσεις χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων στα γεωλογικά χαρακτηριστικά και τους υδατικούς πόρους. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
5. Αντωνόπουλος Β. (2000): Μεταφορά μάζας και προσρόφηση ρύπων και ουσιών σε πορώδη εδαφικά υλικά. Πρακτικά 8ου Συνεδρίου της ΕΥΕ. Αθήνα.
6. Αντωνόπουλος Β. (2001): Ποιότητα και Ρύπανση υπόγειων νερών. Εκδ. Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
7. Βουδούρης Κ. (1995): Υδρογεωλογικές συνθήκες ΒΔ/κού τμήματος του Ν. Αχαΐας. Διδ. Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
8. Βουδούρης Κ. (2006): Ρυπαντική επιδεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών και εδαφική διάθεση των λυμάτων: Η περίπτωση των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων του Νομού Κορινθίας.
9. Βουδούρης Κ., Μανδηλαράς Δ. (2004): Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών με τη μέθοδο DRASTIC: Η περίπτωση του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης του Γλαύκου (Ν. Αχαΐας). Υδροτεχνικά, Τόμος 14, Δεκέμβριος 2004.
10. Γείτονας Α. (1996). Διάθεση ιλύος σε φυσικούς αποδέκτες. Πρακτικά Σεμιναρίου «Επεξεργασία και διάθεση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων». Πανεπιστήμιο Πατρών.
11. Γεωργιάδης Θ., Καλλέργης Γ., Φερεντίνος Γ. (2004). Φυσικό περιβάλλον και ρύπανση. Τόμος Α' «Το χερσαίο περιβάλλον ως αποδέκτης αποβλήτων». Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
12. Γεωργιάδης Θ., Καλλέργης Γ., Φερεντίνος Γ., κ.ά. (2004). Φυσικό περιβάλλον και ρύπανση. Τόμος Δ' «Διάθεση αποβλήτων και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον». Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

13. Γκεμιτζή Α., Πεταλάς Χ., Τσιχριντζής Β., Πισινάρας Β., Γεωργιάδης Π. (2005): Εκτίμηση της τρωτότητας στη ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης με τη χρήση GIS, πολυκριτηριακής ανάλυσης και ασαφούς λογικής. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας
14. Δημόπουλος Γ. (1986): Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
15. Δημόπουλος Γ. (2001): Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και περιβάλλον. Πρακτικά ημερίδας «Υδρογεωλογία και Περιβάλλον». ΕΕΥ. Αθήνα.
16. Διαμαντής Ι., Σκιάς Σ. (1994): Γεωλογική μεθοδολογία για επιλογή θέσης - σχεδιασμό – κατασκευή - έλεγχο ΧΥΤΑ. Η περίπτωση του ΧΥΤΑ της Αλεξανδρούπολης. Ειδικές δημοσιεύσεις της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Νο 8, 1998.
17. Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΕΣΔΑ). www.eedsa.gr
18. Θεοχάρη Χ. (2005): Εισήγηση. Διαχείριση στερεών αποβλήτων - Παρόν και προοπτικές. Αθήνα.
19. Καββαδάς Μ. (1996): Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής. ΕΜΠ.
20. Καλιαμπάκος Δ., Σταυρόπουλος Α. (2001): Διάθεση Στερεών Αποβλήτων – Ανακύκλωση υλικών. ΕΜΠ.
21. Καλλέργης Γ., Κούκης Γ., Λαμπράκης Ν. (1990): Υγειονομική ταφή απορριμμάτων και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η περίπτωση του μελλοντικού σκουπιδότοπου της πόλης των Πατρών. Δελτίο ΚΕΔΕ.
22. Καλλέργης Γ. (1990): Ρύπανση και μόλυνση υδροφόρων (Πηγές, Αίτια κι Επιπτώσεις), Υπουργείο Υγείας και Πρόνοιας. Πάτρα.
23. Καλλέργης Γ. (2001): Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη ρύπανση νερών και εδαφών. Πρακτικά ημερίδας «Υδρογεωλογία και Περιβάλλον». ΕΕΥ. Αθήνα.
24. Καλλέργης Γ. (2000): Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Β' έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.
25. Κόλλιας Π. (1982): Επεξεργασία ύδατος. Αθήνα.
26. Κόλλιας Π. (1993): Απορρίμματα. Αθήνα.
27. Κουίμτζης Θ. (1994): Χημεία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

28. Κουμαντάκης Ι., Κυρούσης Ι., Μιμίδης Θ. (1986): Υδρογεωλογική έρευνα περιοχών αποθέσεως απορριμμάτων σε σχέση με τη μόλυνση των υπόγειων νερών – Περιοχές Αττικής και Ιεράπετρας. Αθήνα.
29. Κουμαντάκης Ι. (1984): Κεφάλαια υδρογεωλογίας. ΕΜΠ.
30. Κουμαντάκης Ι. (1997): Έρευνα υδρογεωλογικών συνθηκών και καθεστώτος εκμετάλλευσης υπογείων νερών λεκανοπεδίου Αθηνών. ΕΜΠ.
31. Κουμαντάκης Ι. (2000): Κεφάλαια περιβαλλοντικής υδρογεωλογίας. ΕΜΠ.
32. Λαμπράκης Ν. (1994): Εισαγωγή στην Υδροχημεία. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών.
33. Λαμπράκης Ν., Τηνιακός Λ., Λαζάρου Α., Καλλέργης Γ. (1997): Νιτρορρύπανση αγροτικής προέλευσης στα υπόγεια νερά (Πελοπόννησος).
34. Λέκκας Θ. (2001): Περιβαλλοντική Μηχανική II- Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος. Μυτιλήνη.
35. Μαρκαντωνάτος Γ. (1990): Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων. Αθήνα.
36. Μήτρακας Μ. (2001): Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
37. Μιχαλοπούλου Χ. (2004): Νομοθεσία για το Περιβάλλον. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
38. Νικολαΐδης Ν. (2005): Υδατική Χημεία. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
39. Πανώρας Α. & Ηλίας Α. (1999): Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Θεσσαλονίκη.
40. Περγιαλιώτης Π., Παπαδάκου Σ. (1998): Τα υφάλμυρα νερά και οι γενεσιουργές αιτίες τους. Πρακτικά Ημερίδας «Υφαλμύρωση Υπόγειων Υδάτων». ΤΕΕ, Αθήνα.
41. Πεταλάς Χ., Διαμαντής Ι., Πλιάκας Φ. (1997): Η συμβολή των διαφόρων χημικών και φυσικοχημικών παραμέτρων στη μελέτη των υδροφόρων οριζόντων και της υφαλμύρινσής τους.
42. Πουλοβασίλης Α. (1980): Τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων σχηματισμών. Πρακτικά II Πανελληνίου Σεμιναρίου Υδρολογίας. Τόμος II.
43. Σαρπατακάκης Ν. (1998): Σημειώσεις Βραχομηχανικής. Τμήμα Γεωλογίας, Παν. Πατρών.
44. Σκορδίλης Α. (1993): Τεχνολογίες διάθεσης απορριμμάτων. Η υγειονομική ταφή. Εκδόσεις Ιων. Αθήνα.

45. Σούλιος Γ. (1996): Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Α'. University Press. Θεσσαλονίκη.
46. Σούλιος Γ. (2004): Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Γ'. Αποθέματα και διαχείριση του υπόγειου νερού. Εκδόσεις Κυριακίδη. Θεσσαλονίκη.
47. Στουρνάρας Γ. (1996): Ειδικά θέματα Υδρογεωλογίας. Τμήμα Γεωλογίας. Παν. Αθηνών.
48. Τσιραμπίδης Α. (2002): Πετρολογία ιζηματογενών πετρωμάτων. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
49. Τσίσιος (1985): Εδαφολογία. ΤΕΙ Λαρίσης.
50. Τσόγκας Χ. (1999): Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Ίων.
51. Τσώνης Π., (1996): Διαχείριση και επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων. Πρακτικά Σεμιναρίου «Επεξεργασία και διάθεση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων». Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Παν. Πατρών.
52. Φάττα Δ.. (2005): Διαχείριση στερεών και επικίνδυνων αποβλήτων. Εργ. Μηχανικής Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Κύπρου.
53. Χριστούλας Δ. (1991): Ρύπανση των υδάτων και αντιρρυπαντική τεχνολογία. Εκδ. Συμεών. Αθήνα.
54. Χριστούλας Δ., Ανδρεδάκης (1997): Περιβαλλοντική τεχνολογία. Β' έκδοση. Αθήνα.
55. APPELO C., POSTMA P. (1993): Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkania.
56. GROUND – WATER POLLUTION, UNESCO. International Hydrological.
57. Τ.Ε.Ε.- Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων XVI - Γενική Διεύθυνση Περιφερειακής Πολιτικής (1993). Αναγκαίες δράσεις για την προστασία του Περιβάλλοντος στην Ελλάδα, Αθήνα
58. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (2002). Η ελληνική στρατηγική για την βιώσιμη ανάπτυξη, Αθήνα.
59. Ε.Κ.Π.Α.Α. (2001). Ελλάδα - Η κατάσταση του Περιβάλλοντος, Αθήνα
60. Ε.Κ.Π.Α.Α. (2003) - Περιβαλλοντικοί Δείκτες, Αθήνα