

Διπλωματική Εργασία με Θέμα:

«Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών
αποβλήτων σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο –Υπάρχουσα
νομοθεσία στη χώρα μας»

ΑΤΕΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Επιμέλεια: Ανδρέου Βασίλειος

A.M: 4801

Επιβλέπων: Γενιατάκης Ευθήμης

Ηράκλειο, Σεπτέμβριος 2012

Κύριε Ευθήμη Γενιατάκη, θα ήθελα να σας ευχαριστήσω θερμά, για την άψογη συνεργασία που είχαμε και την υποστήριξη που μου δώσατε καθ όλη την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	6
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	6
1.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ 10	
1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	14
1.3 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ.....	30
1.3.1 Εισαγωγή	30
1.3.2 Αποθήκευση νερού διαμέσου τεχνητού εμπλουτισμού.....	31
1.3.3 Εμπλουτισμός.....	32
1.3.4 Μέθοδοι εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων.....	33
1.3.5 Προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων (Υ.Α.) για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων.	39
1.3.6 Τύχη συστατικών των εφαρμοσμένων εκροών σε υπόγειο υδροφόροα.	42
1.3.7 Παράμετροι και κριτήρια ποιότητας νερού.....	44
1.3.8 Ποιότητα υπόγειων νερών.....	44
1.3.9 Πηγές μόλυνσης υπόγειων νερών.....	46
1.4 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ.	47
1.4.1 Κριτήρια αξιολόγησης καταλληλότητας.....	47
1.4.2 Επιμέρους προβλήματα.....	69
1.4.3 Κριτήρια επιλογής μεθόδου άρδευσης.....	70
1.4.4 Μικροβιολογικά κριτήρια.....	73
1.5 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.	75
Υπάρχουσα κατάσταση.....	75
Προτάσεις.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Όλο και περισσότερο, τα υδατικά οικοσυστήματα πρέπει να συναγωνίζονται τον άνθρωπο για την ίδια τη βάση της ύπαρξής τους, το νερό! Στις σύγχρονες κοινωνίες η χρήση του νερού καλύπτει τις ανάγκες για άρδευση, οικιακή κατανάλωση, αστική και βιομηχανική χρήση.

Σ' αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι τα δύο τρίτα της ποσότητας αυτής αντιπροσωπεύουν τις ανάγκες της γεωργίας. Η ποσότητα του γλυκού νερού που καταναλώνεται έχει αυξηθεί κατά 35 ~ 50% τα τελευταία 300 χρόνια, ενώ περισσότερη της μισής αυτής ποσότητας έχει καταναλωθεί από το 1950 και μετέπειτα. Σε πολλές περιοχές, το υπόγειο νερό αντλείται ταχύτερα από το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να επανέλθει στη φυσιολογική του στάθμη, υπομονεύοντας κάτι που παλαιότερα αντιπροσώπευε ανανεώσιμη πηγή.

Ο άνθρωπος ανέκαθεν βασιζόταν στα υδατικά οικοσυστήματα για τη μεταφορά των αποβλήτων του, αλλά ο μεγάλος όγκος των αποβλήτων, σε συνδυασμό με την ποσότητα νερού που καταναλώνεται, έχει μειώσει την ικανότητα τόσο των επιφανειακών, όσο και των υπόγειων υδροφορέων να αφομοιώσουν ή ακόμα και να αποβάλουν τους ρυπαντές από το σύστημα. Το νερό που τελικά επιστρέφει στους χείμαρρους, τα ποτάμια αλλά και τους υπόγειους υδροφορείς, μετά την άρδευση και τη βιομηχανική του χρήση, είναι γενικά υποβαθμισμένο λόγω της ύπαρξης τοξικών, θρεπτικών, αλάτων, υψηλής θερμοκρασίας, αλλά και ύπαρξης πληθυσμών παθογόνων μικροοργανισμών.

Η ανάγκη για τον ακριβή προσδιορισμό των υδατικών πόρων της χώρας, την εκτίμηση της ποιοτικής τους κατάστασης, την πρόγνωση της εξέλιξής τους στο χρόνο, αλλά και την ορθολογική τους διαχείριση έχει επισημανθεί εδώ και πολλά χρόνια, αλλά δεν έχει αντιμετωπιστεί με συνολικό και ολοκληρωμένο τρόπο. Η κάλυψη της ανάγκης αυτής προϋποθέτει την ανάπτυξη σειράς σχετικών ερευνητικών δραστηριοτήτων, που αναφέρονται τόσο στην παρακολούθηση των μετεωρολογικών, υδρολογικών, υδρογεωλογικών και ποιοτικών παραμέτρων και μεταβλητών, όσο και στην ανάπτυξη μοντέλων επεξεργασίας τους.

Από την άλλη πλευρά, οι υδρολογικές ιδιαιτερότητες των νησιών δυσχεραίνουν ακόμα περισσότερο την πορεία αυτή προς την ορθή Διαχείριση των Υδατικών Πόρων. Ιδιαίτερα, η αλλαγή των οικονομιών των νησιών από αγροτικές και κτηνοτροφικές οικονομίες, σε αντίστοιχες παροχής υπηρεσιών (ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια, εστιατόρια, μπαρ κ.τ.λ.) επιδείνωσαν σημαντικά το πρόβλημα της υδροδότησης των νησιών. Επομένως, λόγω των

περιορισμένων διαθέσιμων υδατικών πόρων στις παράκτιες περιοχές και τα νησιά, οι υπάρχοντες πόροι είναι πολύτιμοι και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατό καλύτερα, ώστε να προστατευτούν και να συνεχίσουν να καλύπτουν και στο μέλλον τις ανάγκες με βιώσιμο τρόπο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, η άνιση κατανομή των υδάτινων πόρων και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν οδηγήσει τους οργανισμούς ύδρευσης σε αναζήτηση νέων πηγών υδάτινων αποθεμάτων. Η χρήση των επαρκώς επεξεργασμένων εκροών των υγρών αστικών αποβλήτων, οι οποίες εκβάλλουν στο περιβάλλον από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, συγκεντρώνει όλο και περισσότερο ενδιαφέρον ως μία βιώσιμη λύση υδάτινου πόρου. Σε πολλές περιοχές η επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελεί ήδη ένα σημαντικό στοιχείο στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ενώ η επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελεί μία βιώσιμη επιλογή, η διατήρηση των υδάτινων αποθεμάτων, η ορθολογική χρήση του νερού από τους υπάρχοντες οργανισμούς ύδρευσης και η ανάπτυξη και διαχείριση νέων υδάτινων πόρων, είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση, η ρύπανση και η συνεχής υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπογείων υδάτων, η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων και οι περιοδικές ξηρασίες έχουν καταστήσει αναγκαία τη διερεύνηση και ανάπτυξη νέων πηγών νερού. Στις βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες αυξάνονται και εντείνονται τα προβλήματα που συσχετίζονται με την διασφάλιση της υδατοτροφοδοσίας και της διάθεσης των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Αντίθετα, στις αναπτυσσόμενες χώρες και ιδιαίτερα σε εκείνες με ξηρικά και ημιξηρικά χαρακτηριστικά υπάρχει η ανάγκη διαθεσιμότητας τεχνολογίας προσιτού κόστους για αύξηση των εκμεταλλεύσιμων ποσοτήτων νερού, παράλληλη προστασία των φυσικών πόρων και γενικά του περιβάλλοντος.

Συνεπώς, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θεωρείται ότι συμβάλλει (Αγγελάκης et al, 1999):

- a) στην ανάπτυξη νέων υδατικών πόρων,
- b) στην προστασία των υδάτινων πόρων, σε παράκτιες κυρίως περιοχές, στις οποίες παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού σε υπόγειους υδροφορείς (φαινόμενο υφαμύρωσης),
- c) στην ανάπτυξη πολιτικής υδατικών πόρων, με έμφαση στην διατήρηση πηγών και περιβάλλοντος,
- d) στην προστασία της υγείας του κοινού και του περιβάλλοντος (ο περιορισμός μέχρι και η πλήρης εξάλειψη της ρυπαντικής επίδρασης των αποβλήτων στο περιβάλλον),
- e) στη μείωση του κόστους νερού και
- f) στην αξιοπιστία υδατοπρομήθειας, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές.

Η επαναχρησιμοποίηση του νερού μπορεί να είναι άμεση ή έμμεση. Τα τελευταία έτη αποδίδεται όλο και περισσότερο ενδιαφέρον στην έμμεση επαναχρησιμοποίηση ακόμα και για έμμεση πόσιμη χρήση. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται χρήση νερού που ανακτάται από υγρά απόβλητα με μεταφορά του από τις μονάδες επεξεργασίας και ανάκτησης στις περιοχές επαναχρησιμοποίησης συνήθως για άρδευση γεωργικών εκτάσεων και χώρων αναψυχής χωρίς την διαμεσολάβηση φυσικών πηγών νερού ή άλλων υδάτινων σχηματισμών. Στην δεύτερη περίπτωση γίνεται χρήση έμμεσα ανακτώμενου νερού, μετά από ανάμειξη του με φυσικό νερό ή χρήση υπόγειου νερού, που έχει εμπλουτιστεί με τέτοιο νερό.

Γενικά, οι βασικές τάσεις ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υδατικών πόρων περιλαμβάνουν την άρδευση, την αναπλήρωση υπόγειων υδροφορέων, την χρήση στην βιομηχανία, την αναπλήρωση του επιφανειακού νερού και την χρήση στην αναψυχή. Η αναπλήρωση του επιφανειακού νερού και των υπόγειων υδροφορέων γίνεται και με φυσικές μεθόδους, όπως την αποστράγγιση και διαμέσου διήθησης κατά την άρδευση και το νερό των κατακρημνίσεων.

Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα για άρδευση καλλιεργειών, εφαρμόζεται στην πράξη επί αιώνες και φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στους αρχαίους Ελληνικούς πολιτισμούς. Παρόλο, που η άρδευση με εκροές υγρών αποβλήτων, αποτελεί παράλληλα έναν αποτελεσματικό τρόπο επεξεργασίας (με μηδενική εκροή για τελική διάθεση), η εφαρμογή ενός ελάχιστου επιπέδου επεξεργασίας πριν την εφαρμογή της στο έδαφος κρίνεται αναγκαία, ακόμη και στην περίπτωση άρδευσης κτηνοτροφικών, δασικών ή άλλων εκτάσεων με μηδενική ανθρώπινη επαφή. Η προεπεξεργασία αυτή επιβάλλεται για λόγους προστασίας της δημόσιας υγείας, την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την πρόληψη ζημιών στις καλλιέργειες και την απρόσκοπτη λειτουργία των αγωγών μεταφοράς και εφαρμογής (Asano, 1985).

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία ταχύτατα αυξανόμενη πρακτική κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σχετικά έργα, σε αυξημένη μάλιστα έκταση και αριθμό, προγραμματίζονται και υλοποιούνται κάθε έτος σε αρκετές χώρες και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, την Αυστραλία, το Ισραήλ, στην Ιαπωνία και τη Νότιο Αφρική. Εξαιτίας των πλούσιων υδατικών αποθεμάτων της και των υφιστάμενων

διαφορών μεταξύ των χωρών - μελών, η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα μέχρι σήμερα με αντικείμενα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού. Οι ξηρασίες των τελευταίων ετών στην Ισπανία, την Ελλάδα και σε άλλες χώρες, θέτουν επιτακτικά το θέμα της ανακύκλωσης νερού. Εξάλλου, η έλλειψη νερού τοπικά και η διάχυτη ρύπανση σε όλη την Ευρώπη που επιτείνουν περιβαλλοντικά προβλήματα, έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον σε τέτοια αντικείμενα. Επομένως, η πρακτική αυτή αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω στο μέλλον, εξαιτίας της μείωσης της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων που προβλέπεται εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου του παγκοσμίως, σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας. Όπως προαναφέρεται δεσπόζουσα κατηγορία επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι η άρδευση γεωργικών καλλιεργειών και χώρων πρασίνου και αναψυχής, καθώς τα θέματα της ποιότητας που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων είναι ευκολότερο να αντιμετωπισθούν στην άρδευση σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις. Σημειώνεται ότι με τις διαθέσιμες σήμερα τεχνολογίες είναι δυνατή η παραγωγή ακόμη και πόσιμου νερού από περιθωριακά νερά, όπως είναι οι εκροές υγρών αποβλήτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, όμως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να εξετάζονται θέματα όπως είναι η προστασία της δημόσιας υγείας, το υψηλό κόστος επεξεργασίας και η κοινωνική αποδοχή (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Για κάθε ωφέλιμη χρήση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανοί κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτή τελικά προσδιορίζει τις απαιτούμενες διεργασίες και τεχνολογίες επεξεργασίας και φυσικά το απαιτούμενο κόστος. Επομένως, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί ιδιαίτερα κριτήρια. Τα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία είναι αμφιλεγόμενα, μιας και η απαιτούμενη ποιότητα του νερού καθορίζεται από τις προδιαγραφές της κάθε βιομηχανικής χρήσης. Αντίθετα, τα κριτήρια ποιότητας που πρέπει να πληρεί το ανακυκλωμένο νερό που προορίζεται για πόσιμη χρήση δεν είναι αμφιλεγόμενα, αλλά θέματα κοινωνικής αποδοχής και φυσικά επικινδυνότητας έχουν περιορίσει την εφαρμογή της. Αντίθετα, τα κριτήρια για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, παρόλη την συμπληρωματική επεξεργασία που περιλαμβάνουν κατά τη διήθηση και κατείσδυση των εκροών, σήμερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλες χώρες, αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό. Σε αυτά τα συστήματα το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στα επίπεδα των

συγκεντρώσεων νιτρικών, υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων και άλλων οργανικών ενώσεων, που υπάρχουν σε ίχνη στις εκροές αποβλήτων (Aertgeerts and Angelakis, 2003).

Η κατάσταση διαφοροποιείται στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση, καθώς επικρατεί έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας, που πρέπει να εφαρμόζονται, κυρίως όσον αφορά τους παθογόνους οργανισμούς και πως αυτά μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και την προοριζόμενη χρήση της αρδευόμενης καλλιέργειας (Asano and Levine, 1996). Οι βιομηχανικές χώρες προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο ακριβές τεχνολογίες εξασφαλίζουν πιο υγιεινό νερό. Αντίθετα, οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστίζονται από σοβαρή έλλειψη νερού και πόρων, επιδιώκουν με την εκπόνηση επιδημιολογικών μελετών να υπερασπιστούν και υιοθετούν τις ισχύουσες, λιγότερο αυστηρές, οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) (World Health Organization, 1989).

Εξαιτίας των κινδύνων, που συνεπάγεται η επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων για άρδευση, διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ή ξεκινήσει τις απαραίτητες διαδικασίες θέσπισης κριτηρίων επαναχρησιμοποίησής. Οι κανονισμοί /οδηγίες διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των διαφόρων χωρών ή και ακόμη περιοχών (Asano and Mujeriego, 1988).

Ορισμένες υπηρεσίες, όπως το Συμβούλιο Νερού τον Ισραήλ και το τοπικό Υπουργείο Υγείας της Καλιφόρνιας, έχουν θεσπίσει κανονισμούς ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άρδευση σχετικά αυστηρούς. Όμως, στις αναπτυσσόμενες χώρες τα κριτήρια που έχουν υιοθετηθεί για την προστασία της δημόσιας υγείας από κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση ανακτημένων υγρών αποβλήτων, συχνά συνδέονται με τις δυνατότητες ανάπτυξης και χρήσης άλλων υδατικών πόρων. Σε αρκετές από αυτές τις χώρες δεν υπάρχουν καθορισμένα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τα έργα ανάκτησης - επαναχρησιμοποίησης, αποτελούν ουσιαστικά, πηγές νερού και θρεπτικών στοιχείων. Σε άλλες περισσότερο αναπτυγμένες χώρες, το κύριο πρόβλημα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων εντοπίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιεχομένων στα ανεπεξέργαστα ή πλημμελώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα παθογόνα, όπως είναι οι εντερικοί νηματώδεις

(IN), η ταινία των αγελάδων, τα παράσιτα της οικογένειας Ancylostomatidae και τα ασκάρια (*Ascaris iumbricoides*). Αυτοί οι μολυσματικοί οργανισμοί είναι επικίνδυνοι για την υγεία των καλλιεργητών καθώς και των καταναλωτών των γεωργικών προϊόντων (Shuval et al., 1986).

1.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ

Κυριότερες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ανακτώμενων εκροών από υγρά απόβλητα με βάση τις χρησιμοποιούμενες παροχές τους, θεωρούνται διεθνώς: η γεωργική, η βιομηχανική και ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων. Γενικά από αυτές τις κατηγορίες η άρδευση γεωργικών, δασικών και άλλων χώρων πρασίνου είναι ο σημαντικότερος τομέας χρήσης νερού και στη χώρα μας εκτιμάται ότι προσεγγίζει το 85% τις συνολικής κατανάλωσης νερού (Angelakis and Diamandopoulos, 1995). Οι τομείς επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων καθώς και οι δυνατοί περιορισμοί που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, δίνονται στον Πίνακα 19.

Πίνακας 19. Κατηγορίες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και δυνατοί περιορισμοί.

Κατηγορία χρήσης	Περιορισμοί
<p>1. Άρδευση γεωργικών εκτάσεων</p> <p>α) φυτικές καλλιέργειες</p> <p>β) εμπορικά φυτώρια</p> <p>2. Άρδευση κοινόχρηστων και χώρων</p> <p>αναψυχής</p> <p>α) πάρκα</p> <p>β) σχολικοί χώροι</p> <p>γ) εθνικοί δρόμοι</p> <p>δ) υποδρόμια</p> <p>ε) νεκροταφεία</p> <p>στ) ελεύθεροι κοινοτικοί χώροι</p> <p>ζ) περιφερειακές ζώνες πρασίνου κ.ά.</p>	<p>Ποιότητα νερού, κυρίως ως προς την επίδραση αλάτων στο έδαφος και τα φυτά</p> <p>Προστασία δημόσιας υγείας, κυρίως σε σχέση με παθογόνα, όπως παράσιτα, βακτήρια και ιοί</p> <p>Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων νερών όταν δεν υφίσταται κατάλληλο σύστημα διαχείρισης</p> <p>Εμπορικότητα και δημόσια αποδοχή των παραγόμενων προϊόντων</p>
<p>3. Βιομηχανική χρήση</p> <p>α) ψύξη</p> <p>β) μεταποίηση</p> <p>γ) βαριά βιομηχανία</p> <p>δ) άλλες</p>	<p>Συστατικά του νερού που ανακτάται και μπορούν να προξενήσουν διάβρωση, εναπόθεση, βιολογική ανάπτυξη και γενικά προβλήματα ρύπανσης</p> <p>Δημόσια υγεία, ιδιαίτερα σε σχέση με μεταφερόμενα οργανικά ή παθογόνα με aerosols</p>
<p>4. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων</p> <p>α) αναπλήρωση</p> <p>β) προστασία</p> <p>γ) ιζηματολογικός έλεγχος</p>	<p>Ίχνη οργανικών, άλλων χημικών και παθογόνων στο ανακτώμενο νερό</p> <p>υγρών αποβλήτων με υψηλό δυναμικό τοξικότητας</p> <p>Συνολικά διαλυμένα στερεά, κέτλλα</p>

		και παθογόνα στο ανακτώμενο νερό
5. Αναψυχή και άλλες περιβαλλοντικές χρήσεις		Προστασία δημόσιας υγείας από βακτήρια και ιούς Ευτροφισμός οφειλόμενος στο N και P
α) λίμνες και δεξαμενές		
β) αποκατάσταση ελωδών χώρων		
γ) αύξηση παροχής υδατορευμάτων		Αισθητικές οχλήσεις συμπεριλαμβανομένων των οσμών
δ) ανάπτυξη αλιευτικών χώρων		
ε) δημιουργία πάγου		
6. Μη πόσιμες αστικές χρήσεις		Προστασία δημόσιας υγείας από τη μεταφορά παθογόνων με aerosols.
α) πυροπροστασία		Ποιοτικές επιδράσεις σε εναπόθεση
β) κλιματισμός		διάβρωση, βιολογική ανάπτυξη και γενικά ρύπανση
γ) καθαρισμός WC (διπλά συστήματα υδροδότησης)		Προβλήματα σε πιθανές διαστρώσεις με το σύστημα υδροδότησης ,πιθανές εισροές στα δίκτυα πόσιμο νερού
7. Πόσιμες χρήσεις		Ίχνη οργανικών και άλλων χημικών στο ανακτώμενο νερό υγρών αποβλήτων με υψηλό δυναμικό τοξικότητας
α) έμμεση χρήση (προηγούμενη ανάμειξη με το νερό υδροδότησης)		Δημόσια και αισθητική αποδοχή
β) άμεση χρήση		Προστασία δημόσιας υγείας κυρίως σε σχέση με τη μεταφορά παθογόνων και κυρίως ιών

Η άρδευση των αγροτικών εκτάσεων με εκροές αστικών υγρών αποβλήτων έχει εφαρμοστεί στην πράξη σε πολλές χώρες, επί αιώνες μέχρι σήμερα. Η διάθεση εκροών αστικών αποβλήτων στο έδαφος αποτελεί μία πρακτική τεχνολογία, που φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στον Μινωικό Πολιτισμό (Angelakis and Spiridakis, 1996).

Τα περισσότερα από τα έργα επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων στη χώρα μας, είναι πολύ σύγχρονα, λειτουργούν με προωθημένες διεργασίες, είναι τεχνολογικά ισοδύναμα των χωρών της Ε.Ε. και άλλων αναπτυγμένων χωρών και γενικά πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για την προώθηση έργων ανάκτησης κι επαναχρησιμοποίησης των εκροών τους. Ήδη έχουν ολοκληρωθεί τα έργα των μεγάλων αστικών κέντρων κυρίως αυτά της ΕΥΔΑΠ, ΕΥΑΘ και των διαφόρων ΔΕΥΑ.

Στην χώρα μας η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών αστικών υγρών αποβλήτων ευρίσκεται σε προκαταρκτικό στάδιο. Τα πιο γνωστά σε ερευνητικό πεδίο έργα είναι:

- 1) άρδμε εκροές ευση πειραματικού αμπελώνα υπό ελεγχόμενες συνθήκες δευτεροβάθμιας επεξεργασίας στο Ινστιτούτο Α.Λ.Α. Ηρακλείου και
- 2) άρδευση πειραματικών θερμοκηπιακών καλλιεργειών με εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (με φυσικά συστήματα) της ΜΕΑΥΑ της ΕΥΑ Θεσσαλονίκης.

Άλλα έργα σε πιλοτικό και/ή εφαρμογής στάδιο είναι:

- 1) στη Λειβαδιά χρησιμοποιούνται περίπου 3.500 m³/d εκροών για άρδευση καλλιεργειών βαμβακιού,
- 2) στην Αμφισσα χρησιμοποιούνται 400 m³/d εκροών για άρδευση καλλιεργειών ελαίας,
- 3) στο Παλαιόκαστρο Κρήτης χρησιμοποιούνται 280 m³/d εκροών για άρδευση καλλιεργειών ελαίας,
- 4) στην Κω σχεδιάζεται άρδευση γεωργικών εκτάσεων με τη χρήση 4.000 m³/d εκροών,
- 5) στη Χαλκίδα είναι σε ολοκλήρωση έργο άρδευσης δασικών εκτάσεων 300 στρεμμάτων περίπου με τη χρήση 14.000 m³/d εκροών της ΜΕΑΥΑ,

6) τέλος, μικρότερα έργα ευρίσκονται στο Πευκοχώρι, Χανιώτη και Καλλιθέα Χαλκιδικής και στον Κολινδρό Πιερίας (Αγγελάκης et al, 1999).

Οι περισσότερες ΔΕΥΑ της χώρας έχουν σχεδόν στο σύνολο τους εκτελέσει και λειτουργούν επιτυχώς ή έχουν προωθήσει σχεδιασμούς, μελέτες και άλλες διαδικασίες εκτέλεσης έργων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Οι εκροές τους σήμερα διατίθενται σε φυσικούς αποδέκτες (θάλασσα 45%, ποταμούς 12%, χείμαρρους 32%, έδαφος 7%, άλλους 4%). Σημειώνεται ότι το κόστος αυτών των εγκαταστάσεων είναι σε πολλές περιπτώσεις πολλαπλάσιο αυτού που απαιτείται για την ανάκτηση (τριτοβάθμια επεξεργασία) της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εκροών.

Η χρήση περιθωριακών νερών θα μπορούσε να συμβάλλει καθοριστικά, στην εξοικονόμηση και διατήρηση πηγών νερού, όσο και στην αύξηση της αρδευόμενης γεωργικής γης. Ακόμα, υπολογίζεται πως με περαιτέρω επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των μονάδων που βρίσκονται σε περιοχές ελλειμματικές ως προς τους υδατικούς πόρους, θα ήταν δυνατό να αρδευτούν 1,4 εκατομμύρια στρέμματα γεωργικής γης μέσα σε δύο χρόνια. Σε επίπεδο χώρας, υπολογίστηκε ότι μπορούν να εξοικονομηθούν 3,2% του συνόλου του χρησιμοποιούμενου αρδευτικού νερού. (Αγγελάκης et al, 1999).

Η μεγαλύτερη ποσότητα επεξεργασμένων αποβλήτων προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και κατευθύνεται από τις εγκαταστάσεις καθαρισμού της Ψυτάλλειας στο Σαρωνικό. Ίσως στο μέλλον θεωρηθεί σκόπιμη και συμφέρουσα η μεταφορά με υποθαλάσσιους αγωγούς ή με μεγάλα φουσκωτά πλωτά (νέα τεχνολογία μεταφοράς νερού) μέρος του επεξεργασμένου νερού από την Ψυτάλλεια προς τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου για άρδευση και εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων τους (Αγγελάκης et al, 1999).

1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι αρχικές πρόοδοι στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων είναι συνώνυμες με την ιστορική ανάπτυξη και εφαρμογή των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας και κυρίως αυτών, που βασίζονται στην εφαρμογή τους στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Με την έναρξη εφαρμογής δικτύων αποχέτευσης σε μεγάλες πόλεις, στις αρχές του δέκατου ένατου

αιώνα, τα αστικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν στις λεγόμενες 'sewage farms', δηλαδή 'γεωργικές εκμεταλλεύσεις λυμάτων'. Έτσι, από το 1900, ήταν γνωστές πολυάριθμες γεωργικές εκμεταλλεύσεις τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Παρ' όλο, που σ' αυτές τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις ο κύριος σκοπός ήταν η διάθεση των αποβλήτων, η συμπτωματική χρήση τους στην άρδευση για φυτική παραγωγή και άλλες ευεργετικές χρήσεις ήταν μια πραγματικότητα.

Πρόσφατα, ένας αριθμός σημαντικών έργων ανάκτησης- επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων έχουν κατασκευασθεί σε διάφορα μέρη του κόσμου, έργα που εντάσσονται σε ένα γενικότερο πλαίσιο αντιμετώπισης αναπτυξιακών προσπαθειών. Στο Grand Canyon National Park στην Arizona, το 1926, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε διπλό σύστημα υδροδότησης για τον καθαρισμό τουαλετών και μετά για άρδευση χλωροταπήτων, ψύξη και παραγωγή ατμού. Στην πόλη Pomona της California, άρχισε το 1929 ένα έργο επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλωπιστικών κήπων και άλλων χώρων πρασίνου. Επίσης, το 1912, χρησιμοποιήθηκαν υγρά απόβλητα στο Golden Gate Park στο Francisco, για τη διαβροχή χλωροταπήτων και υδατοτροφοδοσία λιμνοδεξαμενών αναψυχής. Μια συμβατική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατασκευάστηκε στην ευρύτερη περιοχή πάρκου το 1932 και η επαναχρησιμοποίηση της εκροής της συνεχίστηκε μέχρι το 1985. Η εταιρεία Bethlehem Steel στην Maryland, χρησιμοποιεί από το 1942 χλωριωμένη δευτεροβάθμια εκροή υγρών αποβλήτων. Σήμερα χρησιμοποιούνται πάνω από 0,378 εκατ.m³/d. τέτοιων εκροών σε μεταλλουργικές διεργασίες (ψύξη και μεταποίηση). Η προώθηση μεγαλύτερων τέτοιων χρήσεων και η υλοποίηση προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης έχουν το μειονέκτημα της εναλλακτικής τροφοδοσίας νερού. Ένα διπλό σύστημα υδροδότησης υλοποιήθηκε το 1960 στην πόλη Springs του Colorado. Στην πολιτεία αυτή των ΗΠΑ επαναχρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα μετά από ανάκτησή τους, κυρίως για άρδευση κοινοχρήστων εκτάσεων,, όπως είναι γήπεδα golfs, πάρκα, νεκροταφεία και πρανή δρόμων. Ένα παρόμοιο σύστημα επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων άρχισε στο St. Petersburg της Florida το 1977, ως μέρος του εφαρμοζόμενου τοπικά δημοτικού προγράμματος, για περιορισμό της ρύπανσης. Σήμερα, η εκροή, που ανακτάται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων σ' αυτό το έργο, διανέμεται δια μέσου ενός διπλού δικτύου 320Km περίπου για άρδευση δημοσίων πάρκων, γηπέδων golfs, σχολικών κήπων και άλλων χώρων πρασίνου, καθώς και για υδατοτροφοδοσία ψυκτικών υδατοπύργων. Ένα από τα πιο σημαντικά έργα εμπλουτισμού υπογείων υδροφορέων με ανακτώμενα υγρά απόβλητα άρχισε το 1962 στην επαρχία Whittier Narrows στο Los Angeles της California. Μετά από εκτεταμένη και μακροχρόνια έρευνα εκτίμησης πιθανών επιδράσεων στη δημόσια υγεία, επί 20 συνεχή έτη, το τελικό συμπέρασμά της είναι ότι δεν παρατηρήθηκε καμιά ανεπιθύμητη

επίδραση στον υδροφορέα και στον πληθυσμό της περιοχής, που να οφείλεται στη ανάκτηση και χρήση υγρών αποβλήτων.

Παρ'όλο που δεν είναι διαθέσιμα πρόσφατα στοιχεία, σχετικά με τα έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε διάφορες χώρες, είναι γεγονός ότι τα τελευταία έτη παρατηρείται μια έντονη κινητικότητα. Στις ΗΠΑ, το 1975, υπήρχαν σε λειτουργία 536 τέτοια έργα. Η εκτιμώμενη συνολική ποσότητα ανακτωμένων υγρών αποβλήτων, που χρησιμοποιούνταν σε αυτά τα έργα ήταν 2571 εκατ. m³/d. Τα πιο σημαντικά από αυτά βρίσκονται σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές των δυτικών και νοτιοδυτικών πολιτειών, όπως στην Arizona, στην California, στο Colorado και στο Texas. Όμως, ένας αυξανόμενος αριθμός έργων ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, υλοποιείται και σε υγρές σχετικά περιοχές των ΗΠΑ, όπως στη Florida και στη νότια Carolina, με σκοπό τον περιορισμό της ρύπανσης και τον εφοδιασμό με νερό αστικών περιοχών. Με δεδομένο το ενδιαφέρον για προστασία της δημόσιας υγείας και γενικότερης ασφάλειας η μη πόσιμες χρήσεις, όπως η άρδευση γεωργικών και άλλων κοινόχρηστων εκτάσεων και χώρων αναψυχής, έχουν καταστεί μια σταθερή και αποδεκτή πρακτική στη μελέτη και το σχεδιασμό έργων ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων. Σε μερικές όμως, πόλεις έχουν αναπτυχθεί σχέδια και για πόσιμη χρήση, όπου δεν υπάρχουν δυνατότητες πρόσφορης ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων. Παρόλο που σήμερα οι ποσότητες που ανακτούνται και χρησιμοποιούνται για αστική χρήση και κυρίως για ύδρευση είναι πολύ μικρές οι τεχνολογία που αναπτύσσεται και τα ζητήματα που συσχετίζονται με τη δημόσια υγεία είναι πολύ ενδιαφέροντα και σημαντικά.

Προηγουμένως, έγινε αναφορά στο βασικό σκοπό της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων, καθώς και στις κατηγορίες χρήσης τους. Τα τελευταία έτη έχει ευρέως αναγνωριστεί η αναγκαιότητα και τα οφέλη της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων σε πολλά κράτη και ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, το Ισραήλ και την Ιαπωνία. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του σχετικού κανονισμού της California, που προαναφέρθηκε και στον οποίο σημειώνεται ότι: 'Πρόθεση της νομοθετικής εξουσίας της πολιτείας είναι να λάβει όλα τα αναγκαία μέτρα για να ενθαρρύνει την ανάπτυξη εγκαταστάσεων σχετικών με την ανάκτηση υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε αυτά να είναι διαθέσιμα στην αντιμετώπιση των αυξανόμενων υδατικών αναγκών της πολιτείας'. Σήμερα, είναι διαθέσιμη η τεχνολογία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ικανή για την απόδοση νερού οποιασδήποτε σχεδόν επιθυμητής ποιότητας. Έτσι, η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε αυτή την πολιτεία έχει τη νομική αναγνώριση αλλά και την τεχνολογία για τη συμμετοχή της σε ένα ρεαλιστικό και αποδοτικό

σχεδιασμό των χρήσεων των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Ανάλογες συνθήκες επικρατούν και σε άλλες χώρες όπως το Ισραήλ, τη νότια Αφρική, την Ιαπωνία και την Κύπρο.

Παραδείγματα επαναχρησιμοποίησης σε διάφορες χώρες.

Στις ΗΠΑ, τα έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων αυξήθηκαν από το 540 το 1979 σε 1900 το 1992. Το 1990 επαναχρησιμοποιήθηκαν 1245 εκατ. m³/yr εκροές υγρών αποβλήτων. Αυτό αντιστοιχεί σε 13,63 L νερού ανάκτησης pcd. Στην California, με πληθυσμό 31 εκατ. περίπου, για τα υφιστάμενα 250 έργα ανάκτησης – επαναχρησιμοποίησης αντιστοιχούν 41,64 L νερού pcd.

Στις ΗΠΑ, όπως προαναφέρθηκε, παρατηρείται τα τελευταία έτη αξιοσημείωτο κοινωνικό και επιστημονικό ενδιαφέρον στη μελέτη, εγκατάσταση και λειτουργία έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων. Στην πολιτεία της California αλλά και σε άλλες πολιτείες διαπιστώνεται όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε έργα επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων, κυρίως, για γεωργικούς και βιομηχανικούς σκοπούς. Κύριες χρήσεις είναι η άρδευση φυτών μεγάλης καλλιέργειας, δενδρώνων, πάρκων, αθλοπαιδών και άλλων κοινόχρηστων χώρων, ο εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων και η δημιουργία τεχνικών υγροβιοτόπων. Δευτερεύουσες χρήσεις είναι η υδατοκαλλιέργειες, οι κατασκευές ελέγχου σκόνης και άλλες.

Στην Αγγλία, την πρώτη ευρωπαϊκή χώρα που εγκρίθηκε νομοθετικά η ελεγχόμενη εφαρμογή υγρών αποβλήτων με επαναχρησιμοποίησή τους στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς, έχει αποκτηθεί σήμερα σοβαρή εμπειρία. Εκτιμάται ότι λειτουργούν πάνω από 100 έργα ελεγχόμενης εφαρμογής υγρών αποβλήτων στο έδαφος στα οποία περιλαμβάνονται και έργα εμπλουτισμού με υψηλές παροχές υπογείων ασβεστολιθικών και τριτοζωϊκών ψαμιμιακών υδροφορέων. Στη Γερμανία έχει, επίσης, αποκτηθεί αρκετή εμπειρία και αναπτυχθεί αξιόλογη τεχνογνωσία στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για γεωργικούς σκοπούς. Παρόλο, που σε αυτή τη χώρα μόνο για το 8 % της καλλιεργούμενης έκτασης απαιτείται συμπληρωματική άρδευση, περίπου 3 % της συνολικής συλλεγόμενης παροχής των υγρών αποβλήτων σε συστήματα αποχεύτησης εφαρμόζεται στο έδαφος για άρδευση διαφόρων εκτάσεων. Γενικά εφαρμόζεται περίπου μέσο ύψος 300mm εκροής/στρ. έτος. Σε περιπτώσεις εφαρμογής ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων στο έδαφος οι αρμόδιες γερμανικές υπηρεσίες έχουν θεσπίσει ειδικούς κανονισμούς προστασίας των κατοικημένων περιοχών που γειτνιάζουν με τέτοιες εκτάσεις. Στην πρώην ανατολική Γερμανία επιτεύχθηκαν αυξημένες αποδόσεις σιτηρών, σακχαρότευτλων, πατάτας και διαφόρων κτηνοτροφικών φυτών, αρδευομένων με εκροές υγρών αποβλήτων χαμηλού επιπέδου προ

επεξεργασίας. Σχετικά ερευνητικά προγράμματα έδειξαν ότι η ανάπτυξη και η απόδοση κτηνοτροφικών βοσκών, που αρδεύονται με τέτοιες εκροές σε ετήσια βάση, ήταν σημαντικά ανώτερη από αντίστοιχες βοσκές που αρδεύονται την θερινή περίοδο με φυσικό αρδευτικό νερό.

Στην Αργεντινή, η υφιστάμενη κατάσταση ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των εκροών των υγρών αποβλήτων εντοπίζεται σε πρωτοβάθμιο επίπεδο. Έτσι, οι εκροές από μία μονάδα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του campo esprejo καταλήγουν σε ένα γεωργικό στραγγιστικό κανάλι που χρησιμοποιείται για άρδευση, χωρίς περιορισμούς, έκτασης περίπου 20000 στρ. Επίσης, στην πόλη Ortega εκροές τεχνικών λιμνών σταθεροποίησης χρησιμοποιούνται για άρδευση λαχανικών. Έτσι, σε αυτήν την χώρα η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων περικλείει υψηλό υγειονομολογικό κίνδυνο.

Η Αυστραλία θεωρείται μία από τις πρωτοπόρες χώρες στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων κυρίως για άρδευση. Ως παράδειγμα αναφέρεται η εκμετάλλευση της werribbee στην melbourn, έκτασης 100000στρ., όπου από το 1898 χρησιμοποιούνται εκροές υγρών αποβλήτων για άρδευση, κυρίως κτηνοτροφικών φυτών. Σε αρκετές περιοχές της κεντρικής Αυστραλίας, με περιορισμένο υδατικό δυναμικό, πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση, όχι μόνο γεωργικών εκτάσεων αλλά και διαφόρων κοινόχρηστων χώρων. Επίσης, στην πολιτεία Victoria έχει αρχίσει ένα σημαντικό πρόγραμμα διερεύνησης της δυνατότητας ένταξης των υγρών αποβλήτων στο έντονα ελλειμματικό ισοζύγιο νερού αυτής της πολιτείας. Τέλος, αναφέρεται ότι στην χώρα μας δεν είναι σήμερα αρκετά γνωστή η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων σε γεωργικές ή άλλες δραστηριότητες και κυρίως για άρδευση, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η παραιτέρω επεξεργασία τους και φυσικά η ασφαλής διάθεσή τους. Επίσης, όπως φαίνεται και από τα προηγούμενα παραδείγματα, η υπάρχουσα σήμερα τεχνογνωσία ιδιαίτερα σε αναπτυσσόμενες χώρες ευρίσκεται ακόμα σε χαμηλό επίπεδο. Η διεθνής, όμως, έρευνα και τεχνολογία η σχετική με την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με φυσικά συστήματα και την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίησή τους προσανατολίζεται, κυρίως, στην κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την κατανομή διαφόρων ουσιών και παθογόνων στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη και τη χωρική και χρονική μεταβλητότητα σε ελεύθερο πεδίο, στο κόστος ανάκτησης και γενικά στην προαγωγή της διαθέσιμης τεχνογνωσίας.

Ορισμός Όρων

Οι παρακάτω όροι, που χρησιμοποιούνται συνήθως στη γνωστική περιοχή της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων, είναι απαραίτητη και πολύ σημαντική για την πληρέστερη κατανόηση αυτού του Κεφαλαίου.

Ωφέλιμες χρήσεις' είναι οι πολλαπλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή έμμεσα νερό από τον άνθρωπο για κανονικό όφελος.Ως παραδείγματα μπορεί να αναφερθούν η αστική χρήση, οι γεωργικές και βιομηχανικές εφαρμογές, η ναυσιπλοΐα και η χρήση για αναψυχή.

Απ' ευθείας επαναχρησιμοποίηση' είναι η χρήση νερού που ανακτάται από υγρά απόβλητα με μεταφορά του από τις μονάδες επεξεργασίας-ανάκτησης στις περιοχές επαναχρησιμοποίησης, συνήθως για άρδευση γεωργικών εκτάσεων και χώρων αναψυχής, χωρίς διαμεσολάβηση φυσικών πηγών νερού ή άλλων σχηματισμών.

Απ' ευθείας πόσιμη επαναχρησιμοποίηση' είναι η επαναχρησιμοποίηση νερού που ανακτάται από υγρά απόβλητα με κατ' ευθείαν παροχέτευσή του στο σύστημα υδροδότησης.

Έμμεση επαναχρησιμοποίηση' είναι η χρήση νερού, που ανακτάται από υγρά απόβλητα έμμεσα, μετά από ανάμειξή του με φυσικό νερό ή χρήση υπόγειου νερού που έχει εμπλουτισθεί με τέτοιο νερό.

Έμμεση πόσιμη επαναχρησιμοποίηση' είναι η πόσιμη επαναχρησιμοποίηση νερού που ανακτάται από υγρά απόβλητα μετά από προηγούμενη ανάμειξή του σε φυσικό νερό. Αυτό επιτρέπει ανάμειξη και αφομοίωσή του με παροχέτευσή του εντός μιας τεχνητής ή φυσικής πηγής νερού, όπως είναι ένας ταμιευτήρας ή ένας υπόγειος υδροφόρας.

Σχεδιασμένη επαναχρησιμοποίηση' είναι η εσκεμμένη άμεση ή έμμεση χρήση νερού που ανακτάται από υγρά απόβλητα, χωρίς να διακόπτεται ο έλεγχος και η παρακολούθηση στη διάρκεια της μεταφοράς του.

Πόσιμη επαναχρησιμοποίηση νερού' είναι η άμεση ή έμμεση αύξηση της πόσιμης χρήσης νερού με νερό που ανακτάται από υγρά απόβλητα, που έχουν υποστεί υψηλού επιπέδου προεπεξεργασία για προστασία της δημόσιας υγείας.

Ανακτηθέντα υγρά απόβλητα' είναι υγρά απόβλητα, που εξαιτίας διεργασιών ανάκτησης, είναι κατάλληλα για άμεση ή ελεγχόμενη ωφέλιμη χρήση τους, που διαφορετικά δεν θα ήταν δυνατή.

Έπαναχρησιμοποίηση χωρίς σχεδιασμό' είναι η τυχαία κα απρογραμματίστη χρήση υγρών αποβλήτων, που διαπιστώνεται μετά από περιβαλλοντικό έλεγχο, όπως είναι η χρήση νερού από ένα υδατορεύμα που βρίσκεται ανάντι του σημείου διάθεσης της εκροής των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Ανάκτηση υγρών αποβλήτων' είναι η επεξεργασία ή άλλη επέμβαση με σκοπό να αποκτηθεί νερό κατάλληλο για κάποια ωφέλιμη χρήση. Αυτός ο όρος συνήθως, περιλαμβάνει και μεταφορά στον τόπο χρήσης ή ακόμη και την ίδια τη χρήση.

Ανακύκλωση υγρών αποβλήτων' είναι η χρήση υγρών αποβλήτων με συλλογή και παροχέτευσή τους πίσω στο ίδιο σχήμα 'υδατικός πόρος-χρήση'. Η ανακύκλωση των υγρών αποβλήτων εφαρμόζεται βασικά σε βιομηχανίες , όπως είναι οι κατασκευαστικές και συνήθως περιλαμβάνει μια βιομηχανική μονάδα ή μια κατηγορία χρήσης.

'Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων' είναι η χρήση εκροής επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για κάποια ωφέλιμη χρήση, όπως είναι η άρδευση και η βιομηχανική ψύξη.

Δυναμικό ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης

Για να γίνει κατανοητή η σημασία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στις ΗΠΑ είναι χρήσιμο να συγκριθεί το δυναμικό επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων με τη συνολική χρήση νερού. Η συνολική κατανάλωση νερού στις ΗΠΑ το 1985 εκτιμάται ότι ήταν 1,51 τρισεκ. m³/d για εξωποτάμιες χρήσεις φυσικού γλυκού και αλμυρού νερού. Η κατανάλωση αυτή είναι 10 % περίπου μικρότερη από την εκτίμηση του έτους 1980. Αντίθετα, η αστική χρήση νερού ήταν 7 % μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του 1980. Η μέση, κατά κάτοικο, εξωποτάμια χρήση νερού ήταν 6246 L/d φυσικού γλυκού και αλμυρού νερού και 5300 L/d μόνο γλυκού νερού. Στις εξωποτάμιες χρήσεις περιλαμβάνονται: α) η αστική χρήση, β) η αγροτική, γ) η άρδευση και δ) η αυτό-τροφοδοτούμενη βιομηχανική χρήση, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και η θερμοηλεκτρική χρήση. Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα για γεωργική χρήση, προβλέπεται ότι στο μέλλον θα ακολουθήσει ανοδική πορεία και θα καταστεί περισσότερο σημαντική σε γεωγραφικές περιοχές ελλειμματικές σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Αντίθετα η επαναχρησιμοποίηση για αστική χρήση και κυρίως για ύδρευση εκτιμάται ότι θα εξακολουθήσει να είναι περιορισμένη και στο προσεχές μέλλον. Η πολιτεία της Καλιφόρνιας παρουσιάζει τη μεγαλύτερη εξωποτάμια κατανάλωση νερού με 188,13 δισεκ. m³/d , που είναι περίπου διπλάσια από αυτή των πολιτειών Texas ή Idaho, που είναι οι επόμενοι μεγαλύτεροι καταναλωτές νερού. Στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι οι γεωργικές δραστηριότητες και οι ατμοηλεκτρικές μονάδες καταναλώνουν πάνω από 75 % της συνολικής κατανάλωσης νερού.

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι μέχρι το τέλος του 1999 θα έχουν ολοκληρωθεί 270 έργα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων που θα εξυπηρετούν 5,755 εκατ. πληθυσμό και η συνολική παροχή των εκροών τους θα είναι 1,65 εκατ. m³/d. Επίσης, εκτιμάται ότι στο τέλος αυτής της δεκαετίας θα είναι δυνατή η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση , κυρίως για άρδευση, εκροών που

θα μπορούσαν να αρδεύσουν μέχρι και 200000 ha/yr γεωργικής γης, σε διαμερίσματα ελλειμματικά σε υδατικούς πόρους.

1.2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης και η σημασία τους.

Κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση έργων ανάκτησης- επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων οι χρήσεις, που επιδιώκονται, καθορίζουν και τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων και την αξιοπιστία των διεργασιών επεξεργασίας και εκτέλεσής τους.

Διεθνώς, οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με τη σειρά όγκου του χρησιμοποιούμενου νερού είναι η γεωργική και κυρίως η άρδευση, η βιομηχανική, ο εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων και διάφορες άλλες. Από αυτές, η άρδευση αντιπροσωπεύει στις μέρες μας αλλά ασφαλώς και στο προσεχές μέλλον τον πιο σημαντικό χρήστη νερού και προσφέρει σοβαρές δυνατότητες για απορρόφηση όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων ανακτώμενων υγρών αποβλήτων. Το 1985 στην California , που είναι ο μεγαλύτερος χρήστης νερού για άρδευση, καταναλώθηκαν 117,35 δισεκ. m³/d , που αντιστοιχί στο 22 % της συνολικής κατανάλωσης νερού σε όλες τις ΗΠΑ. Αυτή είναι μεγαλύτερη από τη συνολική κατανάλωση των αμέσως επόμενων μεγαλύτερων καταναλωτών νερού, το Idaho και Colorado.

Ο επόμενος μεγάλος καταναλωτής ανακτώμενων υγρών αποβλήτων είναι η βιομηχανία, κυρίως για ψύξη και μεταποίηση. Η βιομηχανική χρήση ποικίλη και σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται επεξεργασία πέρα από τη συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία.

Η τρίτη κατηγορία χρήσης υγρών αποβλήτων που έχουν ανακτηθεί, είναι ο εμπλουτισμός υδροφορέων είτε με τη μέθοδο επιφανειακών λεκανών διήθησης είτε με αυτή των γεωτρίσεων. Ο εμπλουτισμός των υδροφορέων περιλαμβάνει ενσωμάτωση- αφομοίωση της εκροής που χρησιμοποιείται για αντικατάσταση και αποθήκευσή της στον υδροφορέα ή τη δημιουργία υδραυλικού φράχτη προστασίας του υπόγειου νερού από ανάμειξή του με αλμυρό νερό. Ο χρόνος αποθήκευσης και η απόσταση των σημείων εφαρμογής και λήψης είναι πολύ σημαντικές παράμετροι για την προστασία της δημόσιας υγείας. Το κύριο πλεονέκτημα των έργων εμπλουτισμού υδροφορέων με ανακτώμενα υγρά απόβλητα είναι ότι δεν διατηρείται η ταυτότητα εκροής εμπλουτισμού με την ενσωμάτωση – αφομοίωσή της με το υπόγειο νερό.

Η τέταρτη κατηγορία χρήσης υγρών αποβλήτων, που έχουν ανακτηθεί, είναι διάφορες άλλες δραστηριότητες, που αφορούν κυρίως λίμνες αναψυχής, υδατοκαλλιέργειες, καθαρισμό τουαλετών

και άλλες. Αυτές δεν αποτελούν σημαντικές εφαρμογές, τουλάχιστον σε όγκο ανακτώμενο υγρών αποβλήτων, αφού σήμερα εκτιμάται ότι στις ΗΠΑ αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 5 % των συνολικά επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων.

Όπως προαναφέρεται οι μεγαλύτερες ποσότητες επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων αφορούν την άρδευση γεωργικών εκτάσεων και κοινόχρηστων χώρων, τη βιομηχανική χρήση και των εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Η άρδευση και κυρίως αυτή γεωργικών και ξηρικών και ημιξηρικών εκτάσεων, μπορεί να απορροφήσει σημαντικές ποσότητες επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, αφού αυτή καταναλώνει το 75-85 % της συνολικής χρήσης νερού.

Στοιχεία σχεδιασμού έργων επαναχρησιμοποίησης.

Βασικό συνθετικό της κατασκευής έργων ανάκτησης – επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων αποτελεί ο σχεδιασμός τους. Οι τάσεις και οι παράγοντες που επιβάλλουν την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων μπορούν να χαρακτηριστούν ως εξής:

1. Περιορισμός της υδατικής ρύπανσης.
2. Διαθεσιμότητα υψηλής ποιότητας εκροών υγρών αποβλήτων για διάφορες επωφελείς χρήσεις.
3. Εφοδιασμός με νερό και σε μακροπρόθεσμη βάση γειτονικών αστικών περιοχών και γεωργικών εκτάσεων.
4. Υδατική ζήτηση και γενική διαχείριση ενταγμένη σε ένα συνολικό σχεδιασμό όλων των αντικειμένων υδατικών πορών.
5. Η κοινή γνώμη και ο πολιτικός προγραμματισμός που ενθαρρύνουν τη διατήρηση και ανακύκλωση υδατικών πόρων. Η σημασία της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού των υγρών αποβλήτων στο γενικότερο σχεδιασμό των υδατικών πόρων, έχει αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως την τελευταία δεκαετία και οφείλεται στους προαναφερόμενους παράγοντες.

Ένα πρώτο βήμα στο γενικότερο σχεδιασμό επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι ο προσδιορισμός του πρωταρχικού σκοπού του έργου. Αυτός μπορεί να είναι η εξασφάλιση πρόσθετων ποσοτήτων νερού ή ο έλεγχος της ρύπανσης. Όπως είναι γνωστό, σε πολλές περιοχές η ζήτηση νερού είναι μεγαλύτερη της διαθεσιμότητας, ακόμα και σε έτη ακόμα και κανονικών ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Επίσης, υπό τέτοιες συνθήκες η ανάπτυξη νέων πηγών νερού είναι χρονοβόρα, δαπανηρή και πολλές φορές περιβαλλοντικά απαγορευτική. Η ανάκτηση υγρών αποβλήτων αποτελεί ένα αξιόπιστο υδατικό πόρο ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον και κατά τα έτη ξηρασίας μπορεί να αντικαταστήσει διαθέσιμους πόρους τόσο για πόσιμες όσο και μη πόσιμες χρήσεις.

Ο σχεδιασμός έργων επαναχρησιμοποίησης περιθωριακών νερών περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια:

1. Βασική ιδέα και σκοπό του έργου.
2. Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής , που συνίσταται: α) στην εκτίμηση της αγοράς, β) στην καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης και γ) στον προσδιορισμό εναλλακτικών έργων διάθεσης.
3. Σχεδιασμό εγκαταστάσεων.

Βασική προϋπόθεση του οριστικού σχεδιασμού ενός έργου ανάκτησης- επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων είναι η ύπαρξη καταναλωτών – χρηστών. Επίσης, η εξασφάλιση ενός χρήστη εξαρτάται από την ποιότητα της διαθέσιμης εκροής και τον τόπο, το χρόνο και την έκταση της χρήσης της. Παρόλο που οι τεχνικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί και άλλοι παράγοντες πρέπει να θεωρούνται κατά το σχεδιασμό ενός έργου ανάκτησης – επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, συνήθως πολύ βασική σημασία στη λήψη της απόφασης υλοποίησης ενός τέτοιου έργου έχουν οι οικονομικοί παράγοντες. Οι οικονομικό-χρηματική ανάλυση εμπίπτει σε δύο επιμέρους κατηγορίες : στην καθαρά οικονομική ανάλυση και στην επενδυτική ανάλυση. Έτσι , ουσιαστικά, η μεν πρώτη ανάλυση απαντά στο ερώτημα αν θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα τέτοιο έργο και η δεύτερη στο εάν πραγματικά μπορεί να κατασκευαστεί.

Μια συνήθης ερώτηση, που τίθεται κατά το σχεδιασμό έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, είναι εάν η ανάκτηση των υγρών αποβλήτων αντιπροσωπεύει πραγματικά ένα χαμηλού κόστους υδατικό πόρο. Αυτή η υπόθεση είναι γενικά ορθή μόνο όταν οι εγκαταστάσεις ανάκτησης ευρίσκονται στην περιοχή επαναχρησιμοποίησης, όπως είναι οι γεωργικές αρδεύσιμες εκτάσεις και υδροβόρες βιομηχανίες και βιοτεχνίες και όταν δεν απαιτείται πρόσθετη επεξεργασία από αυτή του ελέγχου της υδατικής ρύπανσης εκεί, που η ανακτώμενη εκροή ελευθερώνεται για διάθεση. Γενικά, το κύριο κόστος των έργων ανάκτησης – επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων αφορά τα συστήματα μεταφοράς και διανομής του ανακτώμενου αποβλήτου.

1.2.3. ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ

Γενικά, η άρδευση γεωργικών και άλλων εκτάσεων αποτελούν την πιο μαζική χρήση νερού ιδιαίτερα σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι στις ΗΠΑ το 1985 , χρησιμοποιήθηκαν 190 δισεκ. m³ νερού για άρδευση, 230 εκατ. στρεμμάτων. Στις ΗΠΑ η άρδευση αντιπροσωπεύει το 34 % της συνολικής χρήσης νερού. Οι εννέα υδατικές περιφέρειες των ΗΠΑ με πρωτοπόρο την California , καταναλώσαν 91 % της συνολικής ποσότητας νερού που χρησιμοποιήθηκε για άρδευση τα έτη 1980 και 1985. Επίσης, στο Ισραήλ από τη συνολική κατανάλωση νερού το 1987, ποσοστό 73,1 % αντιπροσωπεύει τη γεωργική χρήση. Τέλος, στην Ελλάδα η γεωργική χρήση εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 83,7 % της συνολικής κατανάλωσης

νερού, που για το 1980 ήταν περίπου 5,037 δισεκ. m³ . Σήμερα εκτιμάται ότι αυτή έχει αυξηθεί κατά 40 % περίπου.

Η εγκατάσταση πληθυσμών σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές συνδυάστηκε με την ανάπτυξη των αρδεύσεων. Σε σχετικά υγρές περιοχές η άρδευση εφαρμόζεται συμπληρωματικά των βροχοπτώσεων, με σκοπό την καλύτερη ανάπτυξη και αύξηση της παραγωγικότητας των διαφόρων φυτικών καλλιεργειών. Επίσης, άρδευση εφαρμόζεται με σκοπό την ανάπτυξη και διατήρηση διαφόρων κοινοχρήστων εκτάσεων και χωρών αναψυχής, όπως είναι τα πάρκα και τα golfs. Η άρδευση τέτοιων εκτάσεων στο αστικό περιβάλλον, με ανακτώμενα υγρά απόβλητα , αποκτά όλο και περισσότερο ενδιαφέρον.

Η εκτίμηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού

Παρόλο, που η πρακτική των αρδεύσεων ήταν γνωστή πριν από πολλές χιλιετίες, η ποιότητα του αρδευτικού νερού ως βασικής παραμέτρου γεωργικής ανάπτυξης, αναγνωρίστηκε μόνο τον παρόντα αιώνα. Ο σχεδιασμός ενός αρδευτικού έργου με υγρά απόβλητα, που έχουν ανακτηθεί, εξαρτάται κυρίως από το βασικό σκοπό του έργου. δηλαδή, εάν ο κύριος σκοπός είναι ο εφοδιασμός με νερό της φυτικής καλλιέργειας που χρησιμοποιείται ή η επεξεργασία του αποβλήτου. Ανεξάρτητα από αυτό, η προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων, πριν από οποιαδήποτε διάθεση και / ή εφαρμογή τους στο έδαφος αποτελεί μία πάγια θέση.

Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της ποιότητας του νερού

Η ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι ιδιαίτερα σημαντική σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές, όπου οι επικρατούσες υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη χαμηλή υγρασία δημιουργούν συνθήκες για υψηλές ταχύτητες εξατμισοδιαπνοής (ET). Η ET ορίζεται ως η συνολική απώλεια νερού από το έδαφος , μία ελεύθερη επιφάνεια νερού και την φυλική επιφάνεια μιας φυτικής καλλιέργειας, που είναι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα και η μετατόπισή του στη συνέχεια σε αυτήν. Το χρησιμοποιούμενο για άρδευση νερό είναι δυνατό να ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και την συγκέντρωση των διαλυμένων σε αυτό αλάτων. Σημαντικό επακόλουθο της ET είναι η εναπόθεση τέτοιων αλάτων στο έδαφος , που στην συνέχεια τείνουν να συγκεντρώνονται αθροιστικά σε αυτό. Επίσης, διάφορες χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, όπως είναι ο βαθμός διασποράς των εδαφικών σωματιδίων, η σταθερότητα των εδαφικών συσσωμάτων, η εδαφική δομή και η υδραυλική αγωγιμότητα είναι παράμετροι ευαίσθητες στα περιεχόμενα ιόντα που περιέχονται στο αρδευτικό νερό. Έτσι , όταν σχεδιάζεται ένα αρδευτικό έργο με νερό που έχει ανακτηθεί από υγρά απόβλητα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τόσο η φυτική παραγωγή, όσο και οι εδαφικές

ιδιότητες. Γενικά, τα προβλήματα που αφορούν τέτοια έργα, είναι τα ίδια με αυτά που ανακύπτουν κατά την άρδευση με κάθε είδος περιθωριακό νερό, όπως είναι τα υφάλμυρα νερά. Υπό τέτοιες συνθήκες, απαιτείται ειδική διαχείριση των έργων για να αποφεύγονται ανεπιθύμητες επιδράσεις στο έδαφος ή / και στην αρδευόμενη καλλιέργεια.

Ένας σημαντικός αριθμός ποιοτικών ταξινομήσεων και οδηγιών χρήσης του αρδευτικού νερού έχουν δημοσιευθεί. Σημειώνεται ότι δίδεται έμφαση στις επιδράσεις της ποιότητας του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες, στις εδαφικές συνθήκες και σε θέματα διαχείρισης των εκμεταλλεύσεων σε μακροπρόθεσμη βάση. Οι οδηγίες αυτές δεν διαφοροποιούνται ουσιαστικά για άλλα αρδευτικά νερά. Έτσι από άποψη διαχείρισης τα προβλήματα, που συσχετίζονται, με την ποιότητα του αρδευτικού νερού είναι : η αλατότητα, η ειδική τοξικότητα ιόντων, η ταχύτητα διήθησης και διάφορα άλλα.

Αλατότητα. Η πιο σημαντική παράμετρος του αρδευτικού νερού είναι η αλατότητα, που προσδιορίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητά του (ECW). Αυτή χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS). Η ECW συνήθως, εκφράζεται σε Ds/m ή mmhos/cm, τα δε TDS σε mg/L ή meq/L. Για αρδευτικούς σκοπούς η ακόλουθη σχέση αποδίδει την αναλογία ECW και TDS, με προσέγγιση 10 % :

$$\text{TDS (mg/L)} = 640 \text{ ECW (mmhos/cm ή Ds/M)}$$

Η παρουσία αλάτων στο αρδευτικό νερό επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών με τρεις βασικές διεργασίες : α) την ωσμωτική επίδραση, που προξενεί η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στην εδαφική διάλυση, β) την ειδική τοξικότητα ιόντων, που προξενεί η συγκέντρωση ενός ειδικού ιόντος και γ) τη διασπορά των εδαφικών σωματιδίων, που προξενεί η υψηλή συγκέντρωση νατρίου και η χαμηλή ECW (αλατότητα). Υπό τέτοιες συνθήκες αυξημένης εδαφικής αλατότητας στην ριζόσφαιρα, τα φυτά καταναλίσκουν περισσότερη από τη διαθέσιμη ενέργειά τους, με την πρόσληψη του απαιτούμενου νερού για την προσαρμογή τους σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στους ιστούς τους. Έτσι, μειώνεται η διαθέσιμη ενέργεια για φυτική ανάπτυξη και παραγωγή.

Γενικά, η αύξηση της συγκέντρωσης αλάτων στους υδαικούς πόρους προξενείται και/ ή αφείλεται:

1. Στη δίοδο του νερού διαμέσου γεωλογικών σχηματισμών πλουσίων σε διαλυμένα άλατα.
2. Στην κίνηση και ανάμειξη του νερού με αλατούχο υδατικό υπόγειο υδροφορέα ή άλλη υδατική πηγή.
3. Στη διείσδυση αλμυρού νερού σε ένα υπόγειο παράκτιο υδροφορέα που πολλές φορές οφείλεται σε υφιστάμενους καρστικούς σχηματισμούς ή στη εντατική εκμετάλλευσή του.

4. Στη διάθεση με αυξανόμενο και μη ορθολογικό τρόπο στο εδαφικό και υπεδαφικό περιβάλλον φυτοφαρμακών, λιπασμάτων, διαφόρων υγρών αποβλήτων και άλλων ουσιών.

5. Στην αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στην εδαφική διάλυση εξαιτίας της έντονης εξατμισοδιαπνοής των φυτών. Σε αρδευόμενες περιοχές υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο έδαφος οφείλονται στους τοπικούς υδροφόρους ορίζοντες ή στο εφαρμοζόμενο αρδευτικό νερό.

Για την αποφυγή ζημιών στα φυτά από υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο έδαφος η κύρια διαχειριστική πρακτική συνίσταται στην ενίσχυση της κατακόρυφης ροής του εδαφικού νερού. Η διασφάλιση συνθηκών ορθολογικής στράγγισης επιτρέπει τη συνεχή μεταφορά νερού και αλάτων κάτω από την περιοχή ανάπτυξης ενεργών ριζών. Γι ' αυτό, υπό συνθήκες άρδευσης με ανακτώμενα υγρά απόβλητα και σε μακροπρόθεσμη βάση η ικανοποιητική στράγγιση του εδάφους θεωρείται απαραίτητη.

Σε περιπτώσεις που εφαρμόζεται στο έδαφος μεγαλύτερο ύψος νερού από αυτό που αντιστοιχεί στις αρδευτικές ανάγκες της αρδευόμενης καλλιέργειας, η περίσσεια του αρδευτικού νερού επιδρά θετικά στη μεταφορά αλάτων , που είναι συσσωρευμένα κάτω από την περιοχή ανάπτυξης των ριζών. Το κλάσμα του εφαρμοζόμενου νερού που φτάνει κάτω από το βάθος ανάπτυξης των ριζών και εισδύει σε βαθύτερα στρώματα, ονομάζεται συντελεστής απόκλεισης (LR).

Ειδική τοξικότητα ιόντων. Γενικά, όταν η δυσμενής ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης οφείλεται σε ένα ειδικό ιόν και όχι στην ωσμωτική επίδραση, τότε αναφέρεται ως ειδική τοξικότητα αυτού του δεδομένου ιόντος. Όταν πρόκειται για αστικά υγρά απόβλητα η επικρατέστερη συνήθης τοξικότητα είναι αυτή του βορείου. Οι κύριες πηγές του βορείου στα υγρά απόβλητα είναι τα οικιακά απορρυπαντικά και οι ειδικές βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες. Επίσης, οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου αυξάνονται ως αποτέλεσμα των οικιακών χρήσεων του νερού ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρηντές νερού. Για ευαίσθητες καλλιέργειες, διορθωτικές επεμβάσεις στην ειδική τοξικότητα κάποιου στοιχείου, είναι πολύ δύσκολες χωρίς αλλαγή της καλλιέργειας ή του διαθέσιμου νερού άρδευσης.

Ταχύτητα διήθησης αρδευτικού νερού. Μια άλλη έμμεση επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης του νατρίου είναι ο επηρεασμός των φυσικών συνθηκών του εδάφους. Όταν πρόκειται για σημαντική μείωση της ταχύτητας διήθησης, τότε καθίσταται προβληματικός και ο εφοδιασμός των φυτών με επαρκή υγρασία και φυσικά η ανάπτυξη και η παραγωγή τους. Επιπλέον, επειδή συστήματα άρδευσης με ανακτώμενα υγρά απόβλητα συνήθως εγκαθίσταται σε εδάφη υποβαθμισμένα ή εδάφη που έχουν προβλήματα περατότητας ή γενικότερης διαχείρισής τους, πολλές φορές είναι απαραίτητες διορθωτικές επεμβάσεις σε αυτά.

Θρεπτικά στοιχεία. Γενικά, τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα ανακτώμενα υγρά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θρέψη των αρδευόμενων φυτών. Όμως, τα ίδια θρεπτικά στοιχεία υπό ορισμένες συνθήκες βρίσκονται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ανάγκες των φυτών μπορούν να προξενήσουν διάφορα προβλήματα. Τα πιο σημαντικά στοιχεία από άποψη θρέψης γεωργικών, δασικών και καλοπιστικών φυτών, είναι το άζωτο ο φώσφορος και ευκαιριακά το κάλιο, ο ψευδάργυρος, το βόριο και το θείο. Το πιο ωφέλιμο και πλεονασματικό στοιχείο στα ανακτώμενα υγρά απόβλητα είναι το άζωτο.

Το άζωτο που περιέχεται στις εκροές των υγρών αποβλήτων, που προορίζονται για άρδευση μπορεί να αντικαταστήσει ισοδύναμη ποσότητα εμπορικού αζωτούχου λιπάσματος κυρίως στην αρχική και ενδιάμεση περίοδο ανάπτυξης των φυτών. Αντίθετα, πλεονασματική εφαρμογή αζώτου στο τέλος της περιόδου ανάπτυξης των φυτών μπορεί να είναι επιβλαβής.

Διάφορα άλλα προβλήματα. Προβλήματα, όπως αυτά που σχετίζονται με αποφράξεις συστημάτων άρδευσης με κατεονισμό και στάγδην, θεωρούνται συνήθη όταν χρησιμοποιούνται εκροές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή τεχνικών λιμνών σταθεροποίησης. Βιολογική βλάστηση στους εκτοξευτές, σταλακτήρες, πλευρικές γραμμές και σε άλλα μηχανικά μέρη των δικτύων άρδευσης προξενούν ανάπτυξη αλγών και αιωρούμενων στερεών. Όπως είναι φυσικό, τα δίκτυα με στάγδην άρδευση είναι πιο επιδεκτικά στις αποφράξεις, ιδιαίτερα στους μηχανισμούς εφαρμογής του αρδευτικού νερού (σταλακτήρες). Αντίθετα, τα συστήματα αυτά θεωρούνται ιδεώδη από άποψη προστασίας της δημόσιας υγείας, επειδή είναι πλήρως κλειστά ή ελαχιστοποιούν την καταίωση και τη έκθεση στην εφαρμοζόμενη εκροή. Επίσης, προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα που έχουν χλωριοθεί, δεν προξενούν ζημιές στο φύλλωμα των φυτών,

Κριτήρια επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων στις ΗΠΑ.

Γενικά, τα συστατικά των ανακτώμενων υγρών αποβλήτων, που θεωρούνται επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: βιολογικά και χημικά. Όταν τα ανακτώμενα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται για άρδευση τα βιολογικά αίτια στα οποία περιλαμβάνονται πρωτόζωα, βακτήρια, ιοί και άλλα παθογόνα θεωρούνται πιο σημαντικά.

Για την προστασία της δημόσιας υγείας έχει καταβληθεί προσπάθεια με σκοπό να καθοριστούν συνθήκες και κανονισμοί, που θα επιτρέπουν την ασφαλή χρήση υγρών αποβλήτων, που έχουν ανακτηθεί, για άρδευση. Στις ΗΠΑ, αν και δεν έχουν θεσπιστεί ενιαία ομοσπονδιακά κριτήρια ανάκτησης και επανάχρησης υγρών αποβλήτων, αρκετές πολιτείες έχουν καθιερώσει κανονισμούς σε συσχέτισμό με τη διάθεση και επεξεργασία με φυσικά συστήματα.

Κριτήρια Ανάκτησης σε Άλλες Χώρες

Εξαιτίας των πλεονεκτημάτων, που συνεπάγεται η επαναχρησιμοποίηση των εκροών υγρών αποβλήτων για άρδευση διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ή έχουν αρχίσει διαδικασίες θέσπισης ποιοτικών κριτηρίων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησής τους. Τα ποιοτικά κριτήρια που έχει θεσπίσει το συμβούλιο νερού του Ισραήλ, για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση είναι γνωστά.

Βιομηχανική χρήση

Στις ΗΠΑ 20 εκατ. περίπου άνθρωποι απασχολούνται σε 300.000 κατασκευαστικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Αυτές παράγουν 27 % του συνολικού ακαθάριστου εισοδήματος των ΗΠΑ. Ακολουθούν οι μεταλλουργικές βιομηχανίες και αυτές παραγωγής ενέργειας.

Χρησιμοποιούμενο Βιομηχανικό Νερό.

Οι συνολικές ανάγκες νερού για τις κατασκευαστικές βιομηχανίες των ΗΠΑ, προβλέπεται ότι θα αυξηθούν σε 1,20 δισεκ. m³/d το έτος 2000. Με δεδομένους τους σχετικούς περιορισμούς στην εκφόρτιση αποβλήτων για τον έλεγχο της ρύπανσης, η τεχνολογία της διαχείρισης νερού σε τέτοιες μονάδες προσδοκείται ότι θα αλλάξει δραστικά, με αποτέλεσμα την ταχεία αύξηση του νερού που ανακυκλείται στις ΗΠΑ και άλλες χώρες.

Ως αποτέλεσμα της προωθημένης τεχνολογίας σε θέματα ψύξης, η χρήση φυσικού νερού σε ατμοηλεκτρικές μονάδες προβλέπεται ότι θα μειωθεί κατά 11 % το έτος 2000. Αντίθετα η κατανάλωση φυσικού νερού είναι ακόμη υψηλή αφού συνιστά το 94 % της συνολικής κατανάλωσης νερού για ενεργειακή παραγωγή. Όλοι οι υπόλοιποι τύποι ενεργειακής παραγωγής αποτελούν το υπόλοιπο 6 % της συνολικής κατανάλωσης φυσικού νερού.

Στη μεταλλευτική βιομηχανία το νερό χρησιμοποιείται στην εξόρυξη μετάλλων, μη μετάλλων και καυσίμων υλών. Υπολογίζεται πως η μεταλλευτική βιομηχανία των ΗΠΑ θα απορροφά το έτος 2000 το 61 % ή 3,7 % της συνολικής κατανάλωσης φυσικού νερού.

Χρησιμοποιούμενο Νερό στην Δημιουργία Ψυκτικών Υδατόπυργων.

Οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες νερού για δημιουργία ψυκτικών υδατόπυργων αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής χρήσης νερού σε πολλές βιομηχανίες. Για βιομηχανίες, όπως αυτές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διύλιστήρια και πολλές κατασκευαστικές βιομηχανίες, η χρήση νερού για τη δημιουργία ψυκτικών υδατόπυργων αντιστοιχεί στο ένα τρίτο έως το ήμισυ της συνολικής κατανάλωσης νερού σε αυτές. Επειδή, συνήθως, οι υδατόπυργοι ψήξης λειτουργούν ως κλειστά ανεξάρτητα συστήματα, θεωρούνται και ως ανεξάρτητα υδατικά συστήματα με τις ιδιαίτερες τους ποσοτικές απαιτήσεις, ανεξάρτητα από τις βιομηχανικές μονάδες. Γι' αυτό το σκοπό η χρήση νερού, που ανακτάται από αστικά υγρά απόβλητα σε τέτοιες μονάδες, αποτελεί μια προσιτή διαδικασία με πρακτικές διαστάσεις, που έχει εφαρμοσθεί σε πολλές περιοχές των ΗΠΑ.

Χαρακτηριστική είναι η μονάδα ανάκτησης νερού υγρών αποβλήτων για χρήση τους στη λειτουργία ψυκτικού υδατόπυργου στον σταθμό του Palo Verde Nuclear Generating στην Arizona. Σ' αυτό το έργο χρησιμοποιείται εκροή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας από τις πόλεις Tolleson και Phoenix, που μεταφέρεται στην περιοχή της μονάδας. Η εκροή, πριν από την επαναχρησιμοποίησή της, υφίσταται προωθημένη επεξεργασία, που συνίσταται σε : α) Βιολογική νιτροποίηση, β) προσθήκη υδράσβεστου και σόδας για αύξηση του Ph και απομάκρυνση φωσφόρου, γ) φιλτράρισμα, δ) προσαρμογή Ph, και, ε) απολύμανση. Ο κύριος σκοπός αυτής της επεξεργασίας είναι η μείωση της διάβρωσης και της εναπόθεσης αλάτων στις εγκαταστάσεις του υδατόπυργου.

Ισοζύγιο Νερού και Αλάτων σε Ψυκτικούς Υδατόπυργους.

Η βασική αρχή λειτουργίας των ψυκτικών υδατόπυργων είναι η συμπύκνωση με εξάτμιση και η εναλλαγή λανθάνουσας θερμότητας. Η μείξη αέρα και νερού απελευθερώνει λανθάνουσα θερμότητα με εξαέρωση. Με την έκθεση του νερού στην ατμόσφαιρα αυτό εξατμίζεται και, καθώς αλλάζει κατάσταση, προξενείται κατανάλωση θερμότητας περίπου 2324,1 Kj/Kg εξεταμιζόμενου νερού.

Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας οι απώλειες νερού από ένα ψυκτικό υδατόπυργο, ως υγρασιακός ατμός, είναι περίπου 1,2 % για κάθε -12,2 οC της κλίμακας ψύξης. Ο δεύτερος μηχανισμός με τον οποίο προξενείται απώλεια νερού από ένα υδατόπυργο είναι με τον άνεμο. Υπολογίζεται ότι με αυτόν τον μηχανισμό η απώλεια νερού είναι της τάξης του 0,005 % του επανακυκλοφορούντος νερού. Επίσης, με σκοπό τη διατήρηση του κατάλληλου ισοζυγίου αλάτων με την παρεμπόδιση κατακρημνίσεων, εξαιτίας της αυξημένης συγκέντρωσής τους στον υδατόπυργο, που οφείλεται στην εξάτμιση νερού, ένα μέρος εκρέει από το σύστημα και αντικαθίσταται με άλλο

νερό χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων. Η εκροή από το σύστημα, που οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση αλάτων, ονομάζεται συνήθως εκροή προς τα κάτω.

Το συνολικό νερό που εισρέει σε ένα σύστημα ψυκτικού υδατόπυργου περιλαμβάνει, όπως προαναφέρθηκε, και τα τρία είδη απωλειών νερού.

1.3 ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ.

1.3.1 Εισαγωγή

Αν και μερικές επιδράσεις του τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων με χαμηλής ποιότητας νερό δεν είναι απόλυτα κατανοητές, η εμπειρία με τα προγράμματα εμπλουτισμού έχουν αποτύχει στο να αποδείξουν εάν το νερό των υδροφόρων θέτει μεγαλύτερους κινδύνους ως προς την υγεία από ότι τα τρέχοντα αποθέματα πόσιμου νερού. Το επίπεδο των γνώσεων για το θέμα του εμπλουτισμού χρησιμοποιώντας επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, είναι παραπάνω από επαρκές ώστε να χαρακτηρίσει την τεχνολογία αυτή ικανή να αποδώσει σε κάθε μη πόσιμη χρήση. Με την κατάλληλη βέβαια προεπεξεργασία ή αραιώση με το γηγενές εδαφικό νερό, η πόσιμη χρήση μπορεί να καταστεί ως μια πιθανή εκδοχή. Αυτές οι δηλώσεις, φυσικά, θα πρέπει να θεωρηθούν υπό το πρίσμα ότι οι συνθήκες ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή και κατά αυτόν τον τρόπο η καταλληλότητα είναι άμεσα εξαρτώμενη από την τοποθεσία-σημείο στο οποίο αναφερόμαστε (διαφορετικότητα ως προς την ποιότητα του νερού, το κόστος των διαδικασιών εναπόθεσης κ.ά.).

Στην Αριζόνα των Ηνωμένων Πολιτειών, πολλές πόλεις επιθυμούν τον εμπλουτισμό των υδροφορέων με υγρά απόβλητα με σκοπό να επιτύχουν "recharge credits" (κριτήρια εμπλουτισμού) τα οποία τους επιτρέπουν να συνεχίσουν την άντληση των υπόγειων νερών για τις δημοτικές χρήσεις, χωρίς να χρειάζονται να εισάγουν νερό από τον ποταμό Κολοράντο. Η χρησιμοποίηση αυτού του είδους νερού απαιτεί την κατασκευή πιθανώς ενός σωλήνα που θα παίρνει το νερό από το υδραγωγείο και θα το μεταφέρει στην πόλη, τη δημιουργία ενός διαχειριστικού σχεδίου για το νερό και την εγκατάσταση ενός συστήματος διανομής το οποίο θα κατευθύνει το νερό στους καταναλωτές. Οι πόλεις, οι οποίες δεν επιθυμούν να κάνουν από μόνες τους τον εμπλουτισμό μπορούν να συνεισφέρουν στο Groundwater Replenishment District. Αυτά είναι συστήματα τεχνητού εμπλουτισμού τα οποία χρησιμοποιούν το νερό που προαναφέρθηκε και διευθύνονται από το Central Arizona Water Conservation District. Τα μέλη του GRD μπορούν συνεπώς να αντλούν

υπόγειο νερό από οπουδήποτε από τον υδροφορέα με πηγάδια και πικάυστήματα το διανομής. Στην ευρύτερη περιοχή του Φοίνιξ, ένας αριθμός από προγράμματα έχουν εφαρμοστεί ή βρίσκονται σε διάφορα στάδια σχεδιασμού. Διάφοροι τύποι εμπλουτισμού έχουν εφαρμοστεί συμπεριλαμβανομένων των λεκανών διήθησης (Μαυράκη, 2000).

1.3.2 Αποθήκευση νερού διαμέσου τεχνητού εμπλουτισμού.

Μελλοντικές κλιματικές αλλαγές μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία περισσότερο ακραίων συνθηκών, όπως μεγαλύτερες περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, αλλά και μεγάλες περιόδους ξηρασίας. Δεν πρέπει βέβαια να αγνοηθεί το γεγονός ότι στις ξηρές περιοχές, ακόμα και μικρές αλλαγές στις κατακρημνίσεις μπορούν να προκαλέσουν αξιοσημείωτες αλλαγές στον φυσικό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων. Για την προστασία των αποθεμάτων νερού ενάντια στις ακραίες συνθήκες και αλλαγές, απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα αποθηκευμένου νερού, συμπεριλαμβανομένου μακράς περιόδου αποθήκευση (χρόνια έως δεκαετίες) κατά τις περιόδους υπεραφθονίας, ώστε να χρησιμοποιείται στις περιόδους έλλειψης του. Παραδοσιακά, τέτοιου είδους αποθήκευση πραγματοποιούταν με φράγματα και επιφανειακές δεξαμενές. Όμως, η έλλειψη ιδανικών θέσεων κατασκευής φραγμάτων, σε συνδυασμό με αρκετά μειονεκτήματά τους όπως απώλειες από την εξάτμιση, υψηλό κόστος κτλ, αυξάνουν τις πιθανότητες προσβολής από ασθένειες που προκαλούνται από το νερό. Για το λόγο αυτό, ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις κατασκευής νέων φραγμάτων, με εξαίρεση κάποιες χώρες του Τρίτου κυρίως Κόσμου. Εάν δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί επιφανειακή αποθήκευση του νερού, τότε πρέπει να αποθηκευτεί υπόγεια διαμέσου του τεχνητού εμπλουτισμού. Ο τεχνητός εμπλουτισμός επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του νερού στην επιφάνεια του εδάφους όπου και διηθείται στοχώμα, καταλήγοντας στους υπόγειους υδροφορείς. Το μεγάλο πλεονέκτημα της υπόγειας αποθήκευσης είναι η έλλειψη απωλειών λόγω εξάτμισης. Τα υπόγεια συστήματα εμπλουτισμού είναι βιώσιμα οικονομικά και δεν παρουσιάζουν περιβαλλοντικά προβλήματα, σε αντίθεση με τα φράγματα, τα οποία αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται. Επιπλέον, τα μικροφύκη τα οποία προκαλούν προβλήματα ποιότητας νερού στις ανοιχτές δεξαμενές δεν αναπτύσσονται υπόγεια. Επειδή οι υπόγειοι σχηματισμοί δρουν ως φυσικά φίλτρα, τα συστήματα εμπλουτισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον καθαρισμό χαμηλής ποιότητας νερού (Bouwer, 1978).

1.3.3 Εμπλουτισμός.

Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με ανακτώμενο νερό από υγρά απόβλητα συνδυάζει τον τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφορέων με την περαιτέρω επεξεργασία των εφαρμοζόμενων εκροών, δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο σύστημα έδαφος - υδροφορέας. Ως γνωστό, ο τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφορέων στοχεύει κυρίως στην αποθήκευση πλεονάζοντος επιφανειακού νερού, στην ενίσχυση των αποθεμάτων νερού του υδροφορέα, καθώς και την προστασία τους από την υπεράντληση ή ρύπανση, η οποία τις περισσότερες φορές οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς.

Αναλυτικότερα, ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων εφαρμόζεται (Todd, 1980):

- 1) για την ελάττωση της πτώσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα,
- 2) για την προστασία του υπόγειου νερού σε παράκτιους υδροφορείς από τη διείσδυση και την ανάμειξη του με θαλασσινό νερό (φαινόμενο υφαλιμύρωσης) και
- 3) στην αποθήκευση νερού, που ανακτάται από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ή άλλων επιφανειακών νερών, για μελλοντική του χρήση.

Τα πλεονεκτήματα αποθήκευσης νερού στους υπόγειους υδροφορείς θεωρούνται ότι είναι τα εξής (Asano, 1985):

- 1) Το κόστος της αποθήκευσης νερού σε υπόγειους υδροφορείς, το οποίο είναι συνήθως μικρότερο από το αντίστοιχο της αποθήκευσης σε επιφανειακούς ταμιευτήρες,
- 2) Οι υπόγειοι υδροφορείς μπορούν να προσφέρουν και τελική διανομή του αποθηκευμένου νερού, ελαττώνοντας με αυτό τον τρόπο την επιφανειακή μεταφορά του με σωλήνες, κανάλια ή άλλες κατασκευές.
- 3) Το νερό που αποθηκεύεται σε επιφανειακές εγκαταστάσεις, συνήθως, υπόκειται σε εξάτμιση και ρύπανση, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα γεύσης και οσμών, τα οποία οφείλονται στην ανάπτυξη αλγών και άλλων υδροχαρών φυτών.
- 4) Οι θέσεις των επιφανειακών ταμιευτήρων νερού πιθανόν να μην είναι αποδεκτές για περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς ή άλλους λόγους.
- 5) Όταν ένα έργο ανάκτησης - επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει και

εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων, παρέχονται έμμεσα κοινωνικά, ψυχολογικά και αισθητικά οφέλη, ως αποτέλεσμα της εναλλαγής ανακτώμενου και υπόγειου νερού.

Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με ανακτώμενο νερό κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, μπορεί να θεωρηθεί ως μια προσέγγιση επαναχρησιμοποίησης τους, με αποτέλεσμα τη μεγέθυνση του υπόγειου υδάτινου όγκου.

1.3.4 Μέθοδοι εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων

Τρεις είναι οι κύριες μέθοδοι εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων με εκροές που ανακτώνται κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

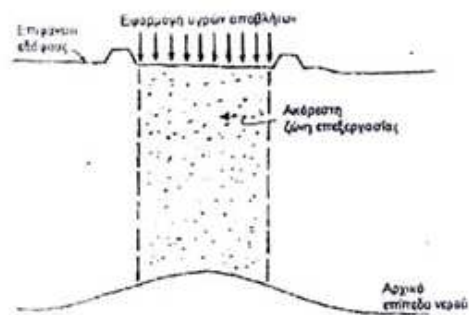
A. Εμπλουτισμός υδροφορέων με επιφανειακή κατάκλυση.

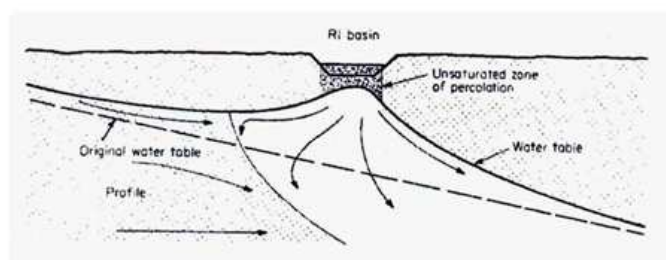
Γενικά είναι πάντα επιθυμητή η ύπαρξη αποθεμάτων νερού, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του όταν αυτή απαιτείται. Μεγάλες ποσότητες ύδατος όμως δεν είναι δυνατό να αποθηκευτούν σε δεξαμενές, γιατί εκτός από το κόστος κατασκευής αυτών υπάρχει και το πρόβλημα της διατήρησης της ποιότητας του στάσιμου νερού. Είναι λοιπόν κατανοητό ότι ο καλύτερος τρόπος αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ύδατος είναι η φύλαξη του στους υπόγειους υδροφορείς. Για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, πρέπει τα επεξεργασμένα απόβλητα με κάποιο τρόπο να περάσουν από τα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με χρήση λεκανών διήθησης, είτε με γεωτρήσεις εισαγωγής, αν και η τελευταία μέθοδος έχει αυξημένο κόστος. Κατά την διήθηση των επεξεργασμένων λυμάτων από το έδαφος επιτυγχάνεται η απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, οργανικού και μικροβιακού φορτίου, αζώτου και φωσφόρου. Ανάλογα με την επεξεργασία στην οποία υπόκεινται τα λύματα είναι δυνατό μετά την εφαρμογή ταχείας διήθησης να χρησιμοποιηθεί ο υδροφορέας ακόμη και για άντληση πόσιμου ύδατος (Bouwer 1996).

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί την απλούστερη και παλαιότερη σχετικά με τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, η οποία όμως εξακολουθεί να είναι ευρέως διαδεδομένη. Με την επιφανειακή κατάκλυση το νερό εμπλουτισμού εφαρμόζεται σε λεκάνες διήθησης και κατεισδύει δια μέσου της ακόρεστης εδαφικής ζώνης σε βαθύτερους σχηματισμούς (Σχήμα 1). Οι λεκάνες διήθησης, ως μέθοδος εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων είναι ευρύτατα διαδεδομένες, λόγω της υψηλής αποδοτικότητας τους και του σχετικά χαμηλού κόστους κατασκευής και συντήρησης τους. Υπό ευνοϊκές συνθήκες, ο εν λόγω εμπλουτισμός με λεκάνες διήθησης μπορεί να υλοποιηθεί με πολύ προσιτά φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, όπως αυτά της ταχείας διήθησης, γνωστά και ως συστήματα εδάφους

υδροφορέα επεξεργασίας (SAT) (Τολίκας, 1997). Τυπικά τέτοια συστήματα φαίνονται παραστατικά στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2).

Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση λεκάνης ταχείας διήθησης (WPCF, 1990).





Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση συστήματος ταχείας διήθησης (SAT): α) Υδραυλική ροή, β) Ανάκτηση με στραγγιστικό δίκτυο, γ) Ανάκτηση με γεωτρήσεις (Metcalf and Eddy, 1991).

Τα υγρά απόβλητα παροχετεύονται στις επιμέρους λεκάνες με βαρύτητα ή διαμέσου ενός δικτύου σωλήνων χαμηλής πίεσης. Για την διασφάλιση ομοιόμορφης διανομής σε όλη την έκταση της λεκάνης, ο πυθμένας της πρέπει να είναι επίπεδος. Οι λεκάνες θα πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον 30 cm πιο χαμηλά από το βάθος σχεδιασμού, για την περίπτωση κατά την οποία ο αρχικός ρυθμός διήθησης είναι μικρότερος από τον αναμενόμενο, καθώς και για έκτατα περιστατικά. Γενικά, οι πυθμένες των λεκανών αποτελούνται από αυτόχθονο εδαφικό υλικό, έχουν όμως διερευνηθεί και άλλα υλικά καθώς και η διατήρηση φυτικής βλάστησης σε αυτούς. Η φυτική βλάστηση, με την ανάπτυξη των ριζών βοηθά στην παρακράτηση των αιωρούμενων στερεών και την αύξηση της ταχύτητας διήθησης. Παρόλα αυτά, η χρήση της απαιτεί εντατικότερη διαχείριση των λεκανών και ελαττώνει την ταχύτητα ξήρανσης του εδάφους. Σχηματική απεικόνιση μιας λεκάνης διήθησης φαίνεται στο Σχήμα 3 (Μαυράκη, 2000).

Σχήμα 3. Υπεδάφια ζώνη επιρροής λεκάνης διήθησης (RI basin) (Bouwer, 1991).

B. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με άρδευση.

Η μέθοδος της άρδευσης (ή βραδείας εφαρμογής) με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, αποτελεί την επικρατέστερη μορφή της εδαφικής επεξεργασίας των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Η τεχνολογία στη μέθοδο αυτή είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στα συμβατικά αγροτικά συστήματα άρδευσης και οι ρυθμοί φόρτισης μικρότεροι από τις μεθόδους εδαφικής επεξεργασίας. Πάντως η μέθοδος βραδείας εφαρμογής περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος αποδεκτών τύπων εδάφους. Η διαπερατότητα των εδαφών μπορεί να ποικίλει, όταν όμως αναφερόμαστε σε άρδευση με υγρά απόβλητα εφαρμοζόμενη σε περιοχές με διαπερατά εδάφη τότε επιτυγχάνεται, ταυτόχρονα με το οικονομικό όφελος και την

επαναχρησιμοποίηση του νερού, εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων (Todd, 1980).

C. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις.

Πρόκειται για άμεσο υποεπιφανειακό εμπλουτισμό, ο οποίος διενεργείται όταν το εφαρμοζόμενο νερό μεταφέρεται και διοχετεύεται κατ'ευθείαν στον υπόγειο υδροφόρο. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται ανάκτηση εκροών από δευτεροβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων και η εφαρμογή διενεργείται κατ'ευθείαν στην κορεσμένη ζώνη, δηλαδή στον υδροφόρο. Γενικά η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται, όταν το υπόγειο νερό βρίσκεται σε μεγάλο βάθος ή όταν η τοπογραφία και το ανάγλυφο του εδάφους δεν επιτρέπει την επιφανειακή κατάκλυση και διήθηση. Αυτή η μέθοδος έχει εφαρμοστεί πολύ αποτελεσματικά σε έργα δημιουργίας υδραυλικών φραχτών σε παράκτιους υδροφορείς για την παρεμπόδιση διείσδυσης και ανάμειξης του θαλάσσιου νερού με γλυκό ή για απλή διάθεση εκροών δευτεροβάθμιας επεξεργασίας σε μη χρησιμοποιούμενους υδροφορείς.

Τα δύο πρώτα αποτελούν φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Στο φυσικό περιβάλλον συμβαίνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες όταν αλληλεπιδρούν νερό, έδαφος, φυτά, μικροοργανισμοί και ατμοσφαιρικός αέρας. Τα φυσικά συστήματα \square σχεδιάζονται έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τις διεργασίες αυτές για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτά τα συστήματα είναι όμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στις συμβατικές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, όπως καθίζηση, φιλτράρισμα, μεταφορά αερίων, προσρόφηση, ιοντική εναλλαγή, χημική κατακρήμνιση, χημική οξείδωση/αναγωγή, βιολογική μετατροπή και αποδόμηση, καθώς και ορισμένες που είναι μοναδικές σε αυτά, όπως η φωτοσύνθεση, η φυτοοξειδωση και η φυτική πρόσληψη (Τολίκας, 1997). Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε φυσικούς ρυθμούς και τείνουν να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα σε έναν οικο-αντιδραστήρα, σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα στα οποία οι διεργασίες συμβαίνουν διαδοχικά σε διαφορετικούς αντιδραστήρες ή δεξαμενές με επιταχυνόμενες ταχύτητες ως αποτέλεσμα της εισροής ενέργειας. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, μπορούν να χωρισθούν σε δύο γενικές κατηγορίες: τα γήινα και τα υδατικά συστήματα.

Τα πρώτα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την μέθοδο και τον ρυθμό εφαρμογής των υγρών αποβλήτων, με αποτέλεσμα την ύπαρξη των υποεπιφανειακών (π.χ. σηπτικοί βόθροι), καθώς και εκείνα, στα οποία έχουμε επιφανειακή εφαρμογή των υγρών αποβλήτων και ορίζονται ως εδαφικά. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τις διεργασίες της βραδείας εφαρμογής (BE), της

επιφανειακής ροής (EP) και της ταχείας διήθησης (ΤΔ). Οι μέθοδοι της βραδείας εφαρμογής (ή άρδευσης) και της επιφανειακής ροής απαιτούν την παρουσία βλάστησης ως κύριου παράγοντα επεξεργασίας. Η διεργασία της βραδείας εφαρμογής μπορεί να χρησιμοποιήσει μια μεγάλη ποικιλία βλάστησης ενώ η διεργασία της επιφανειακής ροής εξαρτάται από την παρουσία πολυετούς γρασιδιού για να εξασφαλιστεί συνεχής φυτική κάλυψη στην επιφάνεια του εδάφους. Οι ρυθμοί υδραυλικής φόρτισης στα συστήματα ταχείας διήθησης είναι πολύ υψηλοί, με κάποιες εξαιρέσεις, για να υποστηρίξουν ωφέλιμη βλάστηση. Και οι τρεις μέθοδοι μπορούν να παράγουν υψηλής ποιότητας επεξεργασμένα απόβλητα ενώ η επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου νερού είναι δυνατή. Η επανάκτηση του είναι περισσότερο εύκολη στην μέθοδο της επιφανειακής ροής, καθώς είναι ένα επιφανειακό σύστημα που καταλήγει σε τάφρους ή τροφοδοτεί επιφανειακά νερά. Τα περισσότερα συστήματα βραδείας εφαρμογής και ταχείας διήθησης απαιτούν σύστημα αποστράγγισης ή πηγάδια για την ανάκτηση του νερού (Τολίκας, 1997).

Ο σχεδιασμός όλων των διεργασιών εδαφικής επεξεργασίας, όπως και των συμβατικών μονάδων, βασίζεται στην έννοια του Περιοριστικού Παράγοντα Σχεδιασμού (Π.Π.Σ.). Η προσέγγιση του Περιοριστικού Παράγοντα Σχεδιασμού βασίζεται στο γεγονός ότι τα φυσικά συστήματα έχουν ορισμένη ικανότητα αφομοίωσης οργανικών και ανόργανων συστατικών, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται. Είναι απαραίτητο, με τη συγκεκριμένη προσέγγιση, να προσδιορισθεί ο κρίσιμος παράγοντας ή η παράμετρος που περιορίζει και ελέγχει τον σχεδιασμό ολόκληρου του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό, σχεδιάζοντας βάση του Περιοριστικού Παράγοντα Σχεδιασμού, εξασφαλίζεται επιτυχής λειτουργία, μιας και οι υπόλοιποι παράμετροι θα βρίσκονται υπό έλεγχο. Για διάθεση αστικών υγρών αποβλήτων, τα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας με σημαντική κατεΐσδυσή τους (ΤΔ, ΒΕ), έχουν ως Περιοριστικό Παράγοντα Σχεδιασμού είτε τα νιτρικά είτε την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Το ενδιαφέρον, λοιπόν, για τις φυσικές μεθόδους επεξεργασίας βασίστηκε αρχικά στις περιβαλλοντικές αρχές της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των πόρων όπου αυτό ήταν δυνατό. Καθώς όμως, όλο και πιο πολύ τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνταν και συσσωρευόταν εμπειρία για την λειτουργία τους, παρατηρήθηκε ότι όταν οι συνθήκες της περιοχής εφαρμογής τους ήταν ευνοϊκές, τα φυσικά αυτά συστήματα μπορούσαν να κατασκευαστούν και να λειτουργήσουν με μικρότερα κόστη και λιγότερη ενέργεια από ότι οι περισσότερο δημοφιλείς και πιο συνηθισμένες μηχανικές τεχνολογίες (Μαυράκη, 2000).

Πίνακας 20. Συνήθεις Π.Π.Σ. για τυπικά υγρά αστικά απόβλητα.

<u>Διεργασία Εδαφικής Επεξεργασίας</u>	<u>Περιοριστικός Σχεδιασμού</u>	<u>Παράγοντας</u>
Βραδεία Εφαρμογή	Υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους ή ρύπανση του υδροφορέα από τα νιτρικά. Όποια παράμετρος (π.χ. BOD) απαιτεί τη μεγαλύτερη απόσταση για απομάκρυνση. Συνήθως, η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους.	
Επιφανειακή Ροή		
Ταχεία Διήθηση		

(Πηγή: Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Πίνακας 21. Τυπικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού συστημάτων εδαφικής επεξεργασίας Υ.Α.

<u>Χαρακτηριστικά</u>	<u>Βραδεία Εφαρμογή</u>	<u>Επιφανειακή Ροή</u>	<u>Ταχεία Διήθηση</u>
Μέθοδος διανομής	Καταιονισμός επιφανειακά	ή Καταιονισμός επιφανειακά	ή Συνήθως επιφανειακά
Υδραυλικό φορτίο	0.6 – 6.1	7.3 – 56	6.0 – 90
(m ³ /έτος)			
Απαιτούμενη επιφάνεια στρ./ (10 ³ m ³ /d)	60 – 590	6.5 – 48	4.0 – 60
Προεπεξεργασία	Πρωτοβάθμια (καθίζηση)	Πρωτοβάθμια (εσχάρωση)	Πρωτοβάθμια (καθίζηση)
Βλάστηση	Αναγκαία	Αναγκαία	Προαιρετική

(Πηγή: Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

Πίνακας 22. Αναμενόμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά των Υ.Α. μετά τα συστήματα εδαφικής επεξεργασίας.

	Τιμές		σε	mg/l		
	<u>Βραδεία</u>	<u>Εφαρμογή^a</u>	<u>Επιφανειακή</u>	<u>Ροή^γ</u>	<u>Ταχεία</u>	<u>Διήθηση^β</u>
<u>Συστατικό</u>	<u>M/o</u>	<u>Μέγιστη</u>	<u>M/o</u>	<u>Μέγιστη</u>	<u>M/o</u>	<u>Μέγιστη</u>
BOD	<2	<5	10	<15	2	<5
SS	<1	<5	15	<25	2	<5
N-NH₄⁺	<0.5	<2	1	<3	0.5	<2
Ολικό - N	3	<8	5	<8	10	<20
Ολικός -P	<0.1	<0.3	4	<6	1	<5

^a Κατείδυση πρωτοβάθμιων ή δευτεροβάθμιων υγρών αποβλήτων σε βάθος εδάφους έως 1.5 m.

^β Κατείδυση πρωτοβάθμιων ή δευτεροβάθμιων υγρών αποβλήτων σε βάθος εδάφους έως 4.5 m.

^γ Απορροφή αστικών υγρών αποβλήτων πάνω σε κλίση 45 m.

(Πηγή: Λέκκας, 2001)

1.3.5 Προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων (Υ.Α.) για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων.

Ανάλογα με τον σκοπό και τη μέθοδο του εμπλουτισμού, την τοποθεσία του έργου και τη χρήση του ανακτώμενου νερού, η απαιτούμενη προεπεξεργασία των υγρών αποβλήτων προκειμένου να ανακτηθεί νερό για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, ποικίλλει. Ιδιαίτερη όμως προσοχή χρειάζεται, ώστε οι διεργασίες προεπεξεργασίας που επιτρέπουν υψηλές συγκεντρώσεις αλγών στην εκροή εμπλουτισμού να αποφεύγονται, διότι προκαλούν ταχεία μείωση της ταχύτητας διήθησης.

Το ανακτώμενο νερό από τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι ποιοτικά ισοδύναμο με το φυσικό υπόγειο νερό. Σε περιπτώσεις στις οποίες, το ανακτώμενο νερό από τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με εκροές προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται για ύδρευση, θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη σημασία στην προστασία των υδροφορέων πρωτίστως, με σκοπό την ελαχιστοποίηση ή πιθανού κινδύνου ρύπανσης, αλλά και στη λειτουργία αυτών. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο εμπλουτισμού ενός υδροφορέα, η απόσταση των γεωτρήσεων άντλησης από αυτές του εμπλουτισμού ή των λεκανών διήθησης, πρέπει να αξιολογείται ανάλογα με την απόσταση ροής και το χρόνο παραμονής της εκροής εμπλουτισμού στον υπόγειο υδροφορέα. Αυτός ο διαχωρισμός, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, συνεισφέρει στην αφομοίωση της εφαρμοζόμενης εκροής με το υπόγειο νερό και στην απώλεια της ταυτότητας και της πηγής προέλευσης της. Για παράδειγμα, η απόσταση μεταξύ των λεκανών διήθησης και των γεωτρήσεων άντλησης στα συστήματα ταχείας διήθησης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη και κυμαίνεται συνήθως από 45 - 105 m (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995). Αυτό που ανησυχεί, σχετικά με το θέμα του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων με εκροές που ανακτώνται μετά από προσωρινή επεξεργασία υγρών αποβλήτων, είναι η πιθανότητα μακροπρόθεσμων επιδράσεων στην υγεία από την εισαγωγή παθογόνων ή άλλων τοξικών ουσιών, σε αυτούς. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, η κύρια προσπάθεια επικεντρώνεται στη μείωση διάφορων χημικών ουσιών και συγκεντρώσεων ειδικών οργανικών συστατικών στις εφαρμοζόμενες εκροές εμπλουτισμού.

Γενικά κάθε έργο εμπλουτισμού, πρέπει να περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο τμήμα ελέγχου στην πηγή, με σκοπό τον περιορισμό των ποσοτήτων των συστατικών με αυξημένη δυνατή επικινδυνότητα που εισέρχονται στο αποχετευτικό σύστημα. Έλεγχος πρέπει να γίνεται και στις εκροές των υγρών αποβλήτων, που προορίζονται για εμπλουτισμό, δεδομένου ότι η αποκατάσταση ενός ρυπασμένου υδροφορέα δεν είναι πολλές φορές δυνατή ή πρόκειται για

δύσκολη, χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία. Επίσης, απαιτείται πρόσθετη επιβάρυνση, όταν πρόκειται για μεταβαλλόμενη ποιότητα του υπόγειου νερού, οπότε καθίσταται αναγκαία η επεξεργασία του αντλούμενου νερού ή η ανάπτυξη συμπληρωματικών υδατικών πόρων. Τα γενικότερα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού και η σχέση της εφαρμοζόμενης εκροής με πιθανή άλλη ποσότητα νερού που αποθηκεύεται στον ίδιο υπόγειο υδροφόρο, είναι αυτά που θα καθορίσουν το επίπεδο προεπεξεργασίας των χρησιμοποιούμενων για εμπλουτισμό υγρών αποβλήτων. Παράγοντες, οι οποίοι θεωρούνται αναγκαίοι για την διατύπωση οδηγιών εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων, δίδονται συνοπτικά στον Πίνακα 23. Γενικά, δεν έχουν ακόμα θεσπισθεί ευρύτατα αποδεκτές απαιτήσεις και κριτήρια που πρέπει να πληρούν οι εκροές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για να θεωρούνται κατάλληλες για εμπλουτισμό. Ως επακόλουθο αυτής της αδυναμίας, στις ΗΠΑ, κάθε περίπτωση εμπλουτισμού υδροφορέων με νερό που ανακτάται από υγρά απόβλητα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, αντιμετωπίζεται ως μια ιδιαίτερη περίπτωση από τις αρμόδιες τοπικές υπηρεσίες. Σε αρκετές Πολιτείες απαιτείται υψηλότερου επιπέδου προεπεξεργασία σε συστήματα εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων, σε σχέση με εκείνα της ταχείας διήθησης (Τολίκας, 1997).

Πίνακας 23. Παράγοντες που θεωρούνται κατά τη διατύπωση οδηγιών εμπλουτισμού υδροφόρων στις Η.Π.Α.

Εφαρμογή με λεκάνες διήθησης	
Επεξεργασία	Έλεγχος τοξικών ουσιών. Πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία. Τριτοβάθμια επεξεργασία (φιλτράρισμα και πιθανός ενεργός άνθρακας) Απολύμανση.
Βάθος υδροφόρου οριζόντα	Κατείσδυση δια μέσου της ακόρεστης ζώνης αδιατάρακτου εδάφους.
Χρόνος κατακράτησης	Βάθος υπόγειου νερού 3 έως 15 m 6 έως 12 μήνες εξαρτώμενος από το επίπεδο επεξεργασίας.
Μέγιστο ποσοστό εκροής υγρού αποβλήτου που έχει ανακτηθεί	20 έως 50% σε ετήσια βάση εξαρτημένο από το βαθμό απομάκρυνσης οργανικών.
Οριζόντια απόσταση	150 έως 300 m εξαρτώμενη από το επίπεδο προεπεξεργασίας.
Παρακολούθηση/ προειδοποίηση	Εκτεταμένη συμπεριλαμβανομένου και του ελέγχου της ποσότητας του πόσιμου νερού.

(Πηγή: Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

Εφαρμογή με άρδευση	
Επεξεργασία	Τουλάχιστον πρωτοβάθμια. Απομάκρυνση παθογενών. Βιολογική επεξεργασία σε λίμνες. Στα ΒΥΑ εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων.
Βάθος υδροφόρου	Ελάχιστο 0.6 – 0.9 m
Διαπερατότητα εδάφους	Ποικίλει
Παρακολούθηση / προειδοποίηση	Εκτεταμένη συμπεριλαμβανομένου και του ελέγχου βλάστησης και εδάφους.
Εφαρμογή με γεωτρήσεις εμπλουτισμού	
Επεξεργασία	Έλεγχος τοξικών ουσιών. Πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία. Χημική κροκίδωση, διαύγαση και φιλτράρισμα. Προσρόφηση με ενεργό άνθρακα. Απομάκρυνση οργανικών που εξαερώνονται. Αντίστροφη όσμωση ή άλλες σχετικές διεργασίες. Απολύμανση.
Βάθος υδροφόρου ορίζοντα	Δεν έχει εφαρμογή αφού η εκροή εμπλουτισμού διοχετεύεται κατευθείαν στον υδροφόρο.
Χρόνος κατακράτησης	12 μήνες
Μέγιστο ποσοστό εκροής υγρού αποβλήτου που έχει ανακτηθεί	20% σε ετήσια βάση στις γεωτρήσεις άντλησης
Οριζόντια απόσταση	305 έως 610 m
Παρακολούθηση/ προειδοποίηση	Πολύ εκτεταμένη συμπεριλαμβανομένου και του ελέγχου της ποιότητας του πόσιμου νερού.

(Πηγή: Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

1.3.6 Τύχη συστατικών των εφαρμοσμένων εκροών σε υπόγειο υδροφόρα.

Η κατανόηση της συμπεριφοράς των μη βιοαποδομούμενων οργανικών συστατικών και παθογόνων μικροοργανισμών είναι πολύ κρίσιμο στοιχείο αξιολόγησης των έργων εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων με εκροές προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Αυτό συμβαίνει διότι οι εκροές των υγρών αποβλήτων περιέχουν συνήθως ίχνη οργανικών ενώσεων ακόμη και αν έχει εφαρμοστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία τους. Η μετατροπή - μεταφορά των συστατικών των εφαρμοζόμενων εκροών στο υποεπιφανειακό περιβάλλον κατά τη διήθηση, κατείσδυση και γενικότερα μεταφορά τους, διέπεται από πολλαπλούς και πολύπλοκους μηχανισμούς, όπως εκείνο της βιοαποδόμησης, της χημικής οξείδωσης, της προσρόφησης, της ιοντικής εναλλαγής κ.α.

- Εξειδικευμένα συστατικά.

Σε αυτά περιλαμβάνονται μικροοργανισμοί, οι οποίοι σε συστήματα ταχείας διήθησης απομακρύνονται κυρίως με τους μηχανισμούς της διήθησης.

- Διαλυμένα ανόργανα και οργανικά συστατικά.

Εκτός από τα συνήθη διαλυμένα μέταλλα, οι εκροές των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων περιέχουν και άλλα διαλυμένα στοιχεία σε ίχνη. Η φυσική επίδραση του φιλτραρίσματος δεν είναι επαρκής για την απομάκρυνση τέτοιων ανόργανων συστατικών. Σε ένα σύστημα εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων, για την αδρανοποίηση ιχνών μετάλλου απαιτούνται οι κατάλληλες κυρίως φυσικές και χημικές αντιδράσεις, ενώ οι βιολογικές είναι περιορισμένης επίδρασης. Παρόλο που τα εδάφη δεν διαθέτουν απεριόριστες ικανότητες απομάκρυνσης ανόργανων συστατικών, πειραματικές έρευνες απέδειξαν ότι μπορούν να κατακρατήσουν σημαντικές ποσότητες ιχνών διαφόρων μετάλλων. Για τον λόγο αυτό, κατά την επιλογή της θέσης ενός έργου εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων, είναι αναγκαίο να λαμβάνεται υπόψη η κατακράτηση μετάλλων που περιέχονται σε ίχνη στις χρησιμοποιούμενες εκροές, σε μακρές χρονικές περιόδους. Η απομάκρυνση διαλυμένων οργανικών στερεών οφείλεται κυρίως, στις διεργασίες της βιοαποικοδόμησης και προσρόφησης, που λαμβάνουν μέρος κατά την διάρκεια του εμπλουτισμού. Με τη διεργασία της βιοαποδόμησης παρέχεται η δυνατότητα μετατροπής τοξικών οργανικών ουσιών σε παράγωγα τους, μειωμένης επικινδυνότητας. Η ταχύτητα και η έκταση της βιοαποδόμησης επηρεάζονται από το είδος της οργανικής ουσίας, αλλά και από την παρουσία δεκτών ηλεκτρονίων όπως τα διαλυμένα νιτρικά, τα θειικά και το οξυγόνο. Εύκολα

οξειδωμένες ενώσεις βιοαποδομούνται στα πρώτα εκατοστά της απόστασης μεταφοράς τους. Η τύχη ορισμένων ανθεκτικών οργανικών ουσιών στην εκροή εμπλουτισμού, δεν έχει ακόμα πλήρως κατανοηθεί.

Στην πλήρη βιοαποδόμηση ενός διαλυμένου οργανικού συστατικού στην εφαρμοζόμενη εκροή εμπλουτισμού, τα τελικά παράγωγα του είναι CO₂, υπό αερόβιες συνθήκες και CO, N₂, H₂S και CH₄ υπό αναερόβιες. Η διεργασία της αποδόμησης είναι δυνατό να μην ολοκληρώνεται και να διακόπτεται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο, με αποτέλεσμα η ταχύτητα αποδόμησης του παραγόμενου είδους να είναι πολύ μικρή.

- Απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών.

Η προστασία των υπόγειων υδροφορέων από παθογόνους μικροοργανισμούς δεν έχει τύχει ανάλογης προσοχής με αυτή των επιφανειακών νερών. Αν και έχει επικρατήσει η άποψη ότι τα υπόγεια νερά είναι απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς, είναι διαπιστωμένο ότι ένα σημαντικό αριθμός τέτοιων μικροοργανισμών τελικά φθάνουν μέχρι τους υπόγειους υδροφορείς. Οι εδαφολογικές και κλιματολογικές συνθήκες, το είδος, αλλά και η φύση των θεωρούμενων μικροοργανισμών καθορίζουν την παρουσία των παθογόνων βακτηρίων και ιών υποεπιφανειακά. Πιο συγκεκριμένα, από τους κλιματολογικούς παράγοντες τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και η θερμοκρασία του αέρα, επηρεάζουν σημαντικά την μεταφορά και επιβίωση των προαναφερθέντων μικροοργανισμών στο έδαφος. Υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν αδρανοποίηση και φυσική καταστροφή των παθογόνων. Στην περίπτωση των βακτηρίων και πιθανότατα των ιών, η φυσική βαθμιαία εξαφάνιση τους διπλασιάζεται περίπου για κάθε θερμοκρασιακή αύξηση 10°C στην περιοχή θερμοκρασίας 5 έως 30°C. Επίσης η βροχή, εξαιτίας κυρίως του χαμηλού της pH, είναι σε θέση να απελευθερώσει προσροφημένα σωματίδια με ιούς, τα οποία ακολούθως είναι δυνατό να μεταφερθούν σε υπόγειους υδροφορείς. Τέλος, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό της κατακράτησης και της επιβίωσης των μικροοργανισμών σε αυτό. Όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα συγκράτησης της εδαφικής υγρασίας, όπως το pH και η οργανική ουσία, επηρεάζουν την επιβίωση των βακτηρίων και ιών στο έδαφος. Η αντοχή των διάφορων μικροοργανισμών στις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες και επιδράσεις ποικίλει μεταξύ των φυλών και ειδών τους. Πιστεύεται ότι τα βακτήρια απομακρύνονται αποτελεσματικότερα με τις διεργασίες διήθησης, ενώ για τους ιούς ο κύριος μηχανισμός ελέγχου αυτών είναι η προσρόφηση τους στην στερεά μάζα του θεωρούμενου μέσου (Αγγελάκης και Tchobanoglous,

1995).

Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι από διάφορες έρευνες έχει προκύψει η σημαντική επίδραση του τύπου της εκροής, της ταχύτητας διήθησης και του βάθους παρατήρησης στην απομάκρυνση διάφορων παθογόνων (βακτηριοφάγων, βακτηρίων και ιών).

1.3.7 Παράμετροι και κριτήρια ποιότητας νερού.

- Παράμετροι ποιότητας νερού.

Οι σημαντικότερες παράμετροι ποιότητας νερού, οι οποίες συσχετίζονται με την εκφόρτιση υγρών αποβλήτων είναι: το διαλυμένο οξυγόνο (DO), τα αιωρούμενα στερεά, τα βακτήρια, τα θρεπτικά στοιχεία, το pH, καθώς και διάφορες τοξικές ουσίες στις οποίες περιλαμβάνονται μέταλλα, φυτοφάρμακα, PCBs κ.α. Το DO είναι πολύ σημαντικό στην ανάπτυξη υδρόβιας ζωής, επειδή, ανάλογα με τα αναπτυσσόμενα υδροχαρή είδη είναι δυνατό να προκληθούν επιβλαβείς επιπτώσεις όταν τα επίπεδα του είναι κάτω από 4 έως 5 mg/L. Τα αιωρούμενα στερεά επηρεάζουν κυρίως τη θολότητα του νερού και καθώς αυτά τελικά καθιζάνουν, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσής τους στο βυθό του υδάτινου αποδέκτη που εμπεριέχονται, τοξικότητα και έλλειψη οξυγόνου στα αυξανόμενα ιζήματα. Τα κολοβακτηρίδια χρησιμοποιούνται ως δείκτης και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι έχουν κοπρανώδη προέλευση και αποτελούν μέτρηση για την ασφαλή χρήση του νερού. Τα θρεπτικά στοιχεία προκαλούν ευτροφισμό με μείωση επακολούθως του DO. Η οξύτητα του νερού (pH), επηρεάζει την χημική και οικολογική ισορροπία του περιβάλλοντος νερού. Οι τοξικές ουσίες περιλαμβάνουν διάφορες ενώσεις, οι οποίες υπό διαφορετικές συγκεντρώσεις έχουν επιβλαβείς επιδράσεις στην υδρόβια ζωή, στον άνθρωπο με το προσλαμβανόμενο νερό, τα ψάρια και τα οστρακοειδή (Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995).

1.3.8 Ποιότητα υπόγειων νερών

Ο βιολογικός και χημικός χαρακτήρας των υπόγειων υδάτων είναι αποδεκτός για τις περισσότερες δυνατές χρήσεις. Η ποιότητα των υπόγειων νερών σε διάφορα σημεία, όπως στο ρηχό υπόγειο νερό, μεταβάλλεται εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Στις σημερινές συνθήκες, όπου παρατηρείται σημαντική αύξηση της χρήσης νερού και παράλληλης μείωσης των αποθεμάτων του, η διατήρηση της ποιότητας των υπόγειων νερών παρουσιάζεται ως επιτακτική ανάγκη. Η αποδοχή του υπόγειου νερού, βέβαια ως πηγής ύδρευσης εξαρτάται απότο κατά πόσο η ποιότητα του μπορεί να ικανοποιεί, με ή χωρίς επεξεργασία, τις προδιαγραφές του πόσιμου

νερού. Οι περισσότερες ενοχλητικές ουσίες στο νερό είναι τα βεβαιωμένα τοξικά καθώς και διάφοροι οργανικοί μικρορυπαντές, οι οποίοι έχουν έντονα απασχολήσει τα τελευταία χρόνια. Οι πιο συχνά αναφερόμενες παράμετροι για την ποιότητα του υπόγειου νερού είναι τα μικροβιολογικά του χαρακτηριστικά, τα ολικά διαλυμένα στερεά, η οξύτητα και η αλκαλικότητα, τα μεταλλικά και θρεπτικά συστατικά (ολικό άζωτο και φώσφορος), η αμμωνία, καθώς και διάφοροι οργανικοί μικρορυπαντές. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 24) παρουσιάζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις τοξικών σε νερό ύδρευσης και άρδευσης (Τολίκας, 1997)

Πίνακας 24. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις τοξικών σε νερό ύδρευσης και άρδευσης.

Στοιχείο	Νερό ύδρευσης (mg/l)	Νερό άρδευσης (mg/l)
As	0.05	0.01
Al		5.00
B		0.75
Ba	1.00	
Be		0.50
Cd	0.01	0.01
Cr	0.05	0.10
Co		0.05
Cu		0.20
Hg	0.002	
Mn		0.020
Mo		0.21
Ni		0.20
Pb	0.05	5.0
Se		0.02
Ag	0.05	
Zn		2.0

(Πηγή: Τολίκας, 1997)

Το υπόγειο νερό είναι λιγότερο επιρρεπές στην βακτηριακή μόλυνση σε σχέση με το επιφανειακό κι αυτό λόγω του γεγονότος ότι το έδαφος και οι πέτρες, φιλτράρουν όλα τα βακτήρια. Παρόλα αυτά, τα βακτήρια βρίσκουν διεξόδους προς τα υπόγεια νερά και μερικές φορές μάλιστα σε επικίνδυνα υψηλές συγκεντρώσεις. Όμως, η μη ύπαρξη βακτηριακής μόλυνσης δεν σημαίνει ότι το νερό είναι κατάλληλο για πόση. Πολλά αόρατα διαλυμένα μεταλλικά και οργανικά συστατικά παρουσιάζονται σε διάφορες συγκεντρώσεις. Τα

1.3.9 Πηγές μόλυνσης υπόγειων νερών.

Οι πηγές μόλυνσης, ανάλογα με την προέλευση τους, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: αστικές, βιομηχανικές και αγροτικές.

- Αστικές πηγές μόλυνσης.

Στη συγκεκριμένη κατηγορία υπάγονται όλες οι περιπτώσεις μόλυνσης, οι οποίες οφείλονται σε αστικές δραστηριότητες. Σημαντικότερες είναι οι απορροές από χώρους απόθεσης απορριμμάτων, αλλά και οι διαρροές από συστήματα αποχέτευσης. Όσον αφορά τις απορροές που παράγονται είναι ιδιαίτερα ρυπογόνες, με υψηλές περιεκτικότητες σε νιτρικά, χλωριούχα και θειικά ιόντα, μέταλλα, οργανικές ενώσεις κ.ά. (Τολίκας, 1997).

- Βιομηχανικές πηγές μόλυνσης.

Σε αυτήν την κατηγορία σημαντικά προβλήματα δημιουργούνται από την διάθεση των στερεών ή υγρών αποβλήτων των βιομηχανικών μονάδων, τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες τοξικών και επικίνδυνων ουσιών. Το πρόβλημα γίνεται πλέον εξαιρετικά πειστικό, καθώς η ανάπτυξη της βιομηχανίας έχει οδηγήσει στην αύξηση των παραγόμενων αποβλήτων και συνεπώς στην παραγωγή εξαιρετικά τοξικών ουσιών. Στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι παράγονται ετησίως 570.000 τόνοι στερεών τοξικών αποβλήτων, για τα οποία απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα για την συγκέντρωση και διάθεση τους. Επίσης, παράγονται ακόμα 7 εκατομμύρια τόνοι στερεά απόβλητα, που ενδεχόμενα είναι μερικώς τοξικά ή υπάρχει κίνδυνος να περιέχουν τοξικές ενώσεις. Όσον αφορά τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα εκτιμώνται σε 50 εκατομμύρια m³ ανά έτος. Σχετικά με την διάθεση των ποσοτήτων αυτών δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία, εκτιμάται όμως ότι οι περισσότερες ποσότητες στερεών διατίθενται σε χώρους απόθεσης απορριμμάτων. Αναφορικά με τα υγρά, η κατάσταση είναι εξαιρετικά άσχημη, καθώς τα περισσότερα καταλήγουν σε επιφανειακά σώματα νερού ή στην θάλασσα (Τολίκας, 1997).

- Αγροτικές πηγές μόλυνσης.

Στην περίπτωση των αγροτικών δραστηριοτήτων, η ρύπανση συνήθως είναι διάχυτη σε μία εκτεταμένη περιοχή. Οι ρύποι είναι υπολείμματα λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, που κατεισδύουν με τη βοήθεια του νερού της άρδευσης ή των βροχοπτώσεων και εισέρχονται στον υποκείμενο σχηματισμό. Πολλές από τις ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι εξαιρετικά τοξικές και η εφαρμογή τους σε μεγάλες επιφάνειες με εντατικούς ρυθμούς δεν επιτρέπει τη διάσπαση ή τον αυτοέλεγχο των φυσικών συστημάτων. Ιδιαίτερα επιβαρυνμένα είναι τα απόβλητα που προέρχονται από αγροκτήματα, εγκαταστάσεις εκτροφής ζώων και πουλερικών, καθώς και από βιοτεχνικές και βιομηχανικές μονάδες αγροτικής φύσεως, όπως σφαγεία, ελαιοτριβεία κτλ.

(Τολίκας, 1997).

1.4 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ

1.4.1 Κριτήρια αξιολόγησης καταλληλότητας

Τα πλέον πρόσφατα, περιεκτικά και κοινής αποδοχής διεθνή κριτήρια αξιολόγησης των υδάτων που προορίζονται για αρδευτική χρήση δίνονται από τους Ayers and Westcot (1985), σύμφωνα με τα οποία κατατάσσονται σε τρεις ομάδες σε σχέση με την αλατότητα, την αλκαλικότητα, την τοξικότητα και διάφορους άλλους παράγοντες όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 25. Με τα κριτήρια αυτά καθώς και με άλλα παράπλευρα διεθνή, που παρατίθενται στη συνέχεια, αξιολογείται η καταλληλότητα των νερών άρδευσης για χρήση στη γεωργία με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά

Όλα τα νερά περιέχουν μετρήσιμες ποσότητες διαλυτών αλάτων, οι οποίες αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που προσδιορίζουν την καταλληλότητα των νερών για άρδευση. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (E.Y.A.A) έχουν γενικά μεγαλύτερες τιμές αλατότητας από τα νερά των συμβατικών νερών, με αποτέλεσμα να υπάρχει αυξημένη πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων στο έδαφος και στις καλλιέργειες από τη χρήση τους. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται τόσο με την ποσότητα, όσο και με το είδος των αλάτων και πιθανώς με την ύπαρξη κάποιου τοξικού στοιχείου, το οποίο βρίσκεται σε περίσσεια (Ayers and Westcot, 1985).

Οι περιορισμοί που τίθενται στον Πίνακα 25 δεν είναι απόλυτοι, καθώς στη φύση δεν υπάρχουν σαφείς διαχωριστικές γραμμές μεταξύ των κατηγοριών που ορίζονται στον προαναφερθέντα πίνακα. Για το λόγο αυτό, διαφορές της τάξης του 10 ~ 20% από αυτές των οδηγιών μπορεί να έχουν μικρή σημασία σε σχέση με άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τις καλλιέργειες. Η κατάταξη ενός νερού στην κατηγορία εκείνη, όπου δεν τίθεται κανένας περιορισμός στη χρήση του δείχνει ότι η παραγωγή της καλλιέργειας θα είναι πλήρης. Αντίθετα, εάν το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία στην οποία τίθενται μεγάλοι περιορισμοί στη χρήση του, τότε είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι αγρότες θα συναντήσουν προβλήματα τόσο με το έδαφος όσο και με την καλλιέργεια και η παραγωγή θα είναι μειωμένη λόγω της χρήσης του υποβαθμισμένου νερού. Μεγάλος βαθμός περιορισμού σημαίνει ότι ειδικές πρακτικές διαχείρισης του συστήματος έδαφος νερό φυτό είναι απαραίτητες για να αποφευχθούν δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος, στην καλλιέργεια και στον άνθρωπο από τη χρήση του νερού. Ακολουθεί μία σύντομη αλλά περιεκτική ανάλυση των βασικών παραμέτρων που λαμβάνει υπόψη της η ποιοτική αξιολόγηση του νερού σύμφωνα με τους Ayers and Westcot (1985), όπως είναι η αλατότητα, η διηθητικότητα, τα ιχνοστοιχεία και η τοξικότητα τους, διάφορες

άλλες επιδράσεις, καθώς και κάποια άλλα συμπληρωματικά κριτήρια αξιολόγησης των νερών άρδευσης που σχετίζονται με την επιλογή του συστήματος άρδευσης και τον τρόπο διαχείρισης των συγκεκριμένων αποβλήτων. Σε ότι αφορά τα κολοβακτήρια, θα χρησιμοποιηθούν τα κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 1989), της πολιτείας California των ΗΠΑ (State of California, 1978) και της Κύπρου (Papadopoulos, 1995). Τέλος, για τα αιωρούμενα στερεά και τη βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο θα χρησιμοποιηθούν τα κριτήρια της Κύπρου.

- Αλατότητα.

Η αλατότητα, μετρούμενη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity of water EC_w), είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της αταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Συνδέεται άμεσα με τη συνολική συγκέντρωση των αλάτων στο νερό και με τα πιθανά προβλήματα που προκαλούν αυτά στα εδάφη και φυτά. Οι ζημιές που προκαλούνται στα φυτά, τόσο από τη συνολική ποσότητα των διαλυμένων αλάτων στο νερό, όσο και από συγκεκριμένα ιόντα, συνδέονται άμεσα με την αυξημένη αλατότητα.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του νερού άρδευσης και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν οι συγκεντρώσεις των αλάτων φθάσουν σε αυξημένα επίπεδα, όντας βλαπτικά για το έδαφος ή/και τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης των αλάτων εξαρτάται από το ρυθμό απόθεσης τους στο έδαφος με το νερό άρδευσης και από το ρυθμό απομάκρυνσης τους με έκπλυση. Η ποσότητα των αλάτων που εισέρχεται στο έδαφος σε μία χρονική περίοδο πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα που απομακρύνεται κατά την ίδια περίοδο. Τα περισσότερα άλατα είναι διαλυτά και μετακινούνται εύκολα με το εφαρμοσμένο νερό. Η μόνη διαδικασία που μπορεί να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα είναι η έκπλυση, η οποία επιτυγχάνεται με την εφαρμογή περίσσειας νερού από εκείνη που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να καταναλώσουν τα φυτά. Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητη η καλή έως άριστη στράγγιση του εδάφους, ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω (Ayers and Westcot, 1985).

Πίνακας 25. Κριτήρια αξιολόγησης της καταλληλότητας των υδάτων στην άρδευση των καλλιεργειών.

Ενδεχόμενο αρδευτικό πρόβλημα	Μονάδες	Βαθμός περιορισμού στη χρήση		
		Κανένας	Μικρός έως μέτριος	Μεγάλος
Αλατότητα (επιρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος) EC _w 25 °C	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Διηθητικότητα (επιρεάζει το ρυθμό διήθησης του νερού στο έδαφος και εκτιμάται από το συνδυασμό των SAR και EC _w) ^a SAR = 0-3 και EC _w →: 3-6 6-12 12-20 20-40		>0.7 >1.2 >1.9 >2.9 >5.0	0.7-0.2 1.2-0.3 1.9-0.5 2.9-1.3 5.0-2.9	<0.2 <0.3 <0.5 <1.3 <2.9
Τοξικότητα ιόντων (Επιρεάζει τα ευαίσθητα φυτά)				
Νάτριο (Na) Επιφανειακή άρδευση (προσρόφηση διά των ριζών) SAR:		<3	3-9	>9
Άρδευση με καταιονισμό (προσρόφηση διά των φύλλων)	me/l	<3	>3	
Χλώριο (Cl) ^{γ,δ} Επιφανειακή άρδευση (προσρόφηση διά των ριζών)	mg/l	<69	>69	
Άρδευση με καταιονισμό (προσρόφηση δια των φύλλων)	me/l	<4	4-10	>10
Βόριο (B)	mg/l	<142	142-355	>355
Ιχνοστοιχεία (Πίνακες 6.13- 6.14)				
Αζώτο (Ολικό-N) ^β	mg/l	<3	>3	
Οξείνα Ανθρακικά (HCO₃) (μόνο για την άρδευση με καταιονισμό)	mg/l	<106	>106	
Υπολειμματικό χλώριο	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
pH		Σύνθετος εύρος 6.5-8.5		

- α. Για τα υγρά απόβλητα συνιστάται η χρήση του adj. SAR αντί του SAR για να επιτυγχάνεται μια πιο σωστή εκτίμηση του ασβεστίου του εδαφικού νερού μετά την άρδευση.
β. Στο ολικό άζωτο πρέπει να συμπεριλαμβάνεται το νιτρικό, το αμμωνιακό και το οργανικό άζωτο. Παρόλο που οι μορφές του αζώτου στα υγρά αστικά απόβλητα ποικίλουν, τα φυτά ανταποκρίνονται στο ολικό άζωτο.

(Πηγή: Ayers and Westcot, 1985)

Στον ανωτέρω πίνακα θεωρείται ότι κάτω από συνθήκες κανονικής άρδευσης ένα κλάσμα του νερού διηθείται βαθιά μέσα από τη ζώνη του ριζοστρώματος και απομακρύνει τα άλατα. Αυτό το κλάσμα λέγεται "κλάσμα έκπλυσης" και για τις τιμές του προαναφερθέντα πίνακα θεωρείται ότι έχει μία μέση τιμή της τάξης του 15%. Υπό αυτή την προϋπόθεση, δεν αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα αλατότητας για νερά με ηλεκτρική αγωγιμότητα μικρότερη από 0,7 dS/m και δεν απαιτείται καμιά άλλη ιδιαίτερη πρακτική διαχείρισης. Για άρδευση με νερά ηλεκτρικής αγωγιμότητας 0,7 ~ 3,0 dS/m πιθανόν να απαιτούνται ειδικές πρακτικές διαχείρισης, ώστε να μην υπάρξει μείωση της παραγωγής. Η ανάγκη για ειδικές πρακτικές διαχείρισης αυξάνει με την αύξηση της αλατότητας. Νερά με ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 3 dS/m απαιτούν ιδιαίτερα δραστικά μέτρα και προσεκτικές πρακτικές διαχείρισης για να ελεγχθεί η αλατότητα. Η επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών στα άλατα, οι

συχνότερες αρδεύσεις με μικρές αρδευτικές δόσεις, η αύξηση του κλάσματος έκπλυσης και η άρδευση κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι ορισμένες από τις σημαντικότερες πρακτικές που πρέπει να εφαρμόζονται όταν η άρδευση πραγματοποιείται με νερά υψηλής αλατότητας. Η ανθεκτικότητα των φυτών στα άλατα καθώς και η προβλεπόμενη μείωση της παραγωγής τους σε σχέση με την αλατότητα του εδάφους (EC_e) και την αλατότητα του αρδευτικού νερού (EC_w) φαίνεται στον Πίνακα 26 (Ayers and Westcot, 1985).

Σε περιοχές με ανεπαρκή στράγγιση, η υψηλή υπόγεια στάθμη μπορεί να αποτελέσει ένα επιπρόσθετο παράγοντα που συμβάλλει σημαντικά στη συσσώρευση αλάτων στο έδαφος (υπόγεια στάθμη σε βάθος μικρότερο από 1 έως 2 m). Στα περισσότερα εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη, το νερό ανέρχεται τριχοειδώς μέχρι το ριζόστρωμα και εφοδιάζει συνεχώς το ριζόστρωμα με άλατα καθώς το νερό διαπνέεται από το φυτό ή εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους. Ο ρυθμός αύξησης της αλατότητας του εδάφους εξαρτάται από τη μέθοδο άρδευσης, τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό, το βάθος της στάθμης του νερού, τον τύπο του εδάφους και το κλίμα. Η μακροχρόνια χρήση των αποβλήτων για άρδευση δεν είναι δυνατή χωρίς επαρκή στράγγιση.

Μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών παρατηρείται και στην περίπτωση κατά την οποία η άρδευση πραγματοποιείται με καταιονισμό, με νερό που ξεπερνά τα μέγιστα όρια της EC_w του Πίνακα 27. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται καταστροφές στα φύλλα των καλλιεργειών, ο οποίος επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις κλιματικές συνθήκες, όταν ποτίζονται επί 5 ή περισσότερες ώρες την εβδομάδα καθόλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου.

•Διηθητικότητα.

Τα άλατα του νατρίου στο αρδευτικό νερό, εκτός από τις άμεσες δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά, μπορούν να επηρεάσουν και την εδαφική δομή, μειώνοντας τόσο το ρυθμό με τον οποίο το νερό διεισδύει στο έδαφος, όσο και τον αερισμό του εδάφους. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Επακόλουθο της καταστροφής της εδαφικής δομής είναι το επιφανειακό λίμνασμα του νερού, η δημιουργία κρούστας, η υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων και η έλλειψη επαρκούς αερισμού του εδάφους.

Τα προβλήματα διηθητικότητας αφορούν συνήθως ένα μικρό βάθος του επιφανειακού εδάφους και σχετίζονται κυρίως με την υψηλή περιεκτικότητα νατρίου ή την πολύ χαμηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στη ζώνη αυτή ή στο εφαρμοζόμενο νερό. Τα προβλήματα έλλειψης ασβεστίου δημιουργούνται από άρδευση με νερά πολύ μικρής αλατότητας, τα οποία διαλύουν και ξεπλένουν το ασβέστιο του εδάφους, αλλά και με νερά πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που προκαλούν μεγάλη συσσώρευση νατρίου στο έδαφος σε σχέση με το ασβέστιο.

Νερά με υψηλή αλατότητα αυξάνουν τη διηθητικότητα και μερικώς αντισταθμίζουν τα προβλήματα που προκαλεί το αυξημένο SAR (Sodium Adsorption Ratio ποσοστό προσρόφησης νατρίου), όπως φαίνεται στον Πίνακα 25. Για δεδομένο SAR, η διηθητικότητα αυξάνεται όσο αυξάνει η αλατότητα του νερού άρδευσης και μειώνεται με την αντίστοιχη μείωση της. Για το λόγο αυτό το SAR και η EC_w πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συνδυασμένα για την εκτίμηση και αντιμετώπιση των προβλημάτων διηθητικότητας. (Μισοπολινός, 1991).

Το SAR υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Εξίσωση 1):

$$SAR = \frac{Na}{(Ca + Mg)^{0.5}}$$

Αν και ο υπολογισμός του SAR με την παραπάνω εξίσωση, θεωρείται αποδεκτή διαδικασία υπολογισμού για τα περισσότερα συμβατικά νερά άρδευσης που χρησιμοποιούνται στη γεωργία (Ayers and Westcot 1985), για τα υγρά αστικά απόβλητα πρέπει να υπολογίζεται το προσαρμοσμένο ποσοστό προσρόφησης νατρίου adjusted SAR (Εξίσωση 2), επειδή αναμένεται σημαντική ιζηματοποίηση ή διαλυτότητα του ασβεστίου που οφείλεται στην επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα, των όξινων ανθρακικών και της ολικής αλατότητας του νερού άρδευσης.

$$adjSAR = \frac{Na}{(Ca_x + Mg)^{0.5}}$$

όπου το Ca_x υπολογίζεται σε σχέση με το λόγο HCO_3/Ca , την EC_w και τη σχετική πίεση του CO_2 με τη βοήθεια του Πίνακα 28.

Πίνακας 26. Προβλεπόμενη μείωση της παραγωγής σε σχέση με την αλατότητα του προς άρδευση νερού (EC_w) και του εδάφους (EC_e).

Καλλιέργειες	0%		10%		25%		50%		100%	
	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w
Εκτατικές καλλιέργειες										
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	8.0	5.3	10.0	6.7	13.0	8.7	18.0	12.0	28.0	19.0
Βαμβάκι (<i>Gossypium hirsutum</i>)	7.7	5.1	9.6	6.4	13.0	8.4	17.0	12.0	27.0	18.0
Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>)	7.0	4.7	8.7	5.8	11.0	7.5	15.0	10.0	24.0	16.0
Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13.0	8.7
Σιτάρι (<i>Triticum aestivum</i>)	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13.0	8.7	20.0	13.0
Σιτάρι σκληρό (<i>T. turgidum</i>)	5.7	3.8	7.6	5.0	10.0	6.9	15.0	10.0	24.0	16.0
Σόγια (<i>Glycine max</i>)	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10.0	6.7
Κτηνοτροφικό Μπιζέλι (<i>Vigna unguiculata</i>)	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13.0	8.8
Αράπικο φουστίκι (<i>Arachis hypogea</i>)	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Ρύζι (<i>Oryza sativa</i>)	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11.0	7.6
Καλαμπόκι (<i>Zea mays</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Λινάρι (<i>Linum usitatissimum</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Κουκιά (<i>Vicia faba</i>)	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12.0	8.0
Φασόλια (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Λαχανοκομικά										
Κολοκυθάκια (<i>Cucurbita pero melopepo</i>)	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10.0	6.7	15.0	10.0
Κοκκινογούλια (<i>Beta vulgaris</i>)	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15.0	10.0
Κολοκύθι (<i>Cucurbita pero melopepo</i>)	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
Μπρόκολα (<i>Brassica oleracea</i>)	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14.0	9.1
Τομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13.0	8.4
Αγγούρι (<i>Cucumis sativus</i>)	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10.0	6.8
Σπανάκι (<i>Spenacea oleracea</i>)	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15.0	10.0
Σέλινο (<i>Aprium bravec lens</i>)	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18.0	12.0
Μάττα (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12.0	8.1
Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7

συνέχεια Πίνακα 26.

Καλλιέργειες	0%		10%		25%		50%		100%	
	Ece	Ecw	Ece	Ecw	Ece	Ecw	Ece	Ecw	Ece	Ecw
Λαχανοκομικά										
Γλυκό Καλαμπόκι (Zea Mays)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Γλυκοπατάτα (Ipomoea batatas)	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11.0	7.1
Πιπεριά (Crisicum annuum)	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Μαρούλι (Lactuca sativa)	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Ρεπανάκι (Raphanus sativus)	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Κρεμμύδι (Allium cepa)	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Καρρότο (Daucus carota)	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Φασόλια (Phaseolus vulgaris)	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Γογγύλι (Brassica rapa)	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12.0	8.0
Οπωροφόρα										
Χουρμαδιά (Phoenix dactylifera)	4.0	2.7	6.8	4.5	11.0	7.3	18.0	12.0	32.0	21.0
Ελιά (Olea europaea L.)										
Κορωνέικη	-	1.5	-	2.6	-	6.5	-	13.4	-	26.0
Αμφίσης	-	1.5	-	3.0	-	5.6	-	11.2	-	22.0
Μεγαρίτικη	-	1.5	-	3.0	-	5.6	-	10.2	-	20.0
Χονδρολιά Χαλκιδικής	-	1.5	-	1.8	-	3.6	-	8.4	-	19.0
Υποκείμενα Μηλιάς										
M-9	-	<0.7	-	0.7	-	1.7	-	3.7	-	7.5
M-106	-	<0.8	-	0.8	-	1.6	-	3.3	-	6.6
M-26	-	<0.6	-	0.6	-	1.3	-	3.0	-	6.3
Γκρέιπφρουτ (Citrus Paradisi)	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8.0	5.4
Πορτοκαλιά (Citrus sinensis)	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8.0	5.3
Ροδακινιά (Prunus persica)	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Βερυκοκιά (Prunus armeniaca)	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Αμπέλι (Vitis sp.)	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12.0	7.9
Αμυγδαλιά (Prunus dulcis)	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Δαμασκηλιά (Prunus domesticus)	1.5	1.0	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Φράουλα (Fragaria sp.)	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4.0	2.7

συνέχεια Πίνακα 26.

Καλλιέργειες	0%		10%		25%		50%		100%	
	Ece	Ecw	Ece	Ecw	Ece	Ecw	Ece	Ecw	Ece	Ecw
Χορτοδοτικά φυτά										
Αγρόπυρο (<i>Agropyron elongatum</i>)	7.5	5.0	9.9	6.6	13.0	9.0	19.0	13.0	31.0	21.0
Αγρόπυρο (<i>Agropyron cristatum</i>)	7.5	5.0	9.0	6.0	11.0	7.4	15.0	9.8	22.0	15.0
Βερμούδα (<i>Cynodon dactylon</i>)	6.9	4.6	8.5	5.6	11.0	7.2	15.0	9.8	23.0	15.0
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.4	13.0	8.7	20.0	13.0
Λόλιο, Ηρα (πολυετή) (<i>Lolium perene</i>)	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12.0	8.1	19.0	13.0
Λωτός (<i>Lotus corniculatus tenuifolium</i>)	5.0	3.3	6.0	4.0	7.5	5.0	10.0	6.7	15.0	10.0
Φάλαρη (<i>Phalaris tuberosa</i>)	4.6	3.1	5.9	3.9	7.9	5.3	11.0	7.4	18.0	12.0
Φεστούκα (<i>Festuca elatior</i>)	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12.0	7.8	20.0	13.0
Αγρόπυρο (<i>Agropyron sibiricum</i>)	3.5	2.3	6.0	4.0	9.8	6.5	16.0	11.0	28.0	19.0
Αγριοκουκί, Αγριόραχο (<i>Vicia angustifolia</i>)	3.0	2.0	3.9	2.6	5.3	3.5	7.6	5.0	12.0	8.1
Σόργο του Σουδάν (<i>Sorghum sudanense</i>)	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14.0	9.6	26.0	17.0
Ελυμος (<i>Elymus triticoides</i>)	2.7	1.8	4.4	2.9	6.9	4.6	11.0	7.4	19.0	13.0
Βίγνα (<i>Vigna unguiculata</i>)	2.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12.0	7.8
Λωτός (<i>Lotus uliginosus</i>)	2.3	1.5	2.8	1.9	3.6	2.4	4.9	3.3	7.6	5.0
Σεσημάνια (<i>Sesbania exaltata</i>)	2.3	1.5	3.7	2.5	5.9	3.9	9.4	6.3	17.0	11.0
Sphaerophysa salsula	2.2	1.5	3.6	2.4	5.8	3.8	9.3	6.2	16.0	11.0
Μηδική (<i>Medicago sativa</i>)	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16.0	10.0
Eragrostis sp.	2.0	1.3	3.2	2.1	5.0	3.3	8.0	5.3	14.0	9.3
Καλαμύκκι (<i>Zea mays</i>)	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15.0	10.0
Άλεξανδρινό τριφύλι (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	1.5	1.0	3.2	2.2	5.9	3.9	10.0	6.8	19.0	13.0
Δακτυλίσ (<i>Dactylis glomerata</i>)	1.5	1.0	3.1	2.1	5.5	3.7	9.6	6.4	12.0	12.0
Ασβελιαφός, Αλεποπουρά (<i>Alopecurus pratensis</i>)	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12.0	7.9
Τριφύλι το λεμόνιο (<i>Trifolium pratense</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Αγριοτρίφυλο (<i>Trifolium hybridum</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Ασπροτρίφυλο (<i>Trifolium repens</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Τριφύλι το χαμοκέρασο (<i>Trifolium fragiferum</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6

(Πηγή: Maas and Hoffman, 1977)

Πίνακας 27. Όρια αλατότητας πέρα από τα οποία εμφανίζονται καταστροφές στα φύλλα και μείωση της παραγωγής από τον καταιονισμό και την εδαφική αλατότητα.

Καλλιέργεια	Μέγιστη EC _w (dS/m) χωρίς ζημιά από απορρόφηση στα φύλλα	Καλλιέργεια	Μέγιστη EC _w (dS/m) χωρίς ζημιά από απορρόφηση στα φύλλα
Αμυγδαλιά (<i>Prunus communis</i>)	<0.5	Βρώμη (<i>Avena sativa</i>)	1.0-2.0
Βερυκοκιά (<i>Prunus armeniaca</i>)	<0.5	Αραβόσιτος (<i>Zea mays</i>)	1.0-2.0
Εσπεριδοειδή (<i>Citrus spp.</i>)	<0.5	Αγγούρι (<i>Cucumis</i>)	1.0-2.0
Δαμασκηλιά (<i>Prunus domestica</i>)	<0.5	Σουσάμι (<i>Sesamum indicum</i>)	1.0-2.0
Αμπέλι (<i>Vitis spp.</i>)	0.5-1.0	Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)	1.0-2.0
Πτεριά (<i>Capsicum annuum</i>)	0.5-1.0	Φράουλα (<i>Fragaria spp.</i>)	2.0-4.0
Πατάτα <i>Solanum tuberosum</i>)	0.5-1.0	Βαμβάκι (<i>Gossypium hirsutum</i>)	3.0-6.0
Τομάτα (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	0.5-1.0	Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>)	3.0-6.0
Μηδική (<i>Medicago sativa</i>)	1.0-2.0	Ηλιάνθος (<i>Helianthus annuus</i>)	3.0-6.0

(Πηγή: Maas, 1985)

Κατά κανόνα τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν πολλά άλατα και άφθονο ασβέστιο. Ενδέχεται όμως να είναι πλούσια και σε νάτριο. Στην περίπτωση αυτή, η πιθανή υψηλή τιμή του SAR πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν πρόκειται να γίνει επαναχρησιμοποίησή τους. Βέβαια, περίσσεια νατρίου στο νερό άρδευσης προωθεί την εδαφική διασπορά και την καταστροφή των εδαφικών συσσωματωμάτων μόνο όταν η σχέση του νατρίου με το ασβέστιο (ή ασβέστιο και μαγνήσιο) είναι μεγαλύτερη από 3:1. Τότε εμφανίζονται σοβαρά προβλήματα διηθητικότητας από διασπορά της αργίλου και κλείσιμο των εδαφικών πόρων, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το νερό μικρής τιμής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που δημιουργεί η μικρή εδαφική διαπερατότητα και την επιτυχή χρησιμοποίηση νερών με αυξημένο SAR υπάρχουν ειδικές πρακτικές διαχείρισης του συστήματος έδαφος - νερό άρδευσης, με την προϋπόθεση ότι οι συγκεκριμένες πρακτικές να εφαρμόζονται συνεχώς ώστε να μην προκληθεί καταστροφή της εδαφικής δομής. Τέτοιες πρακτικές διαχείρισης θα αυξήσουν την διαπερατότητα και θα μειώσουν τα δευτερογενή προβλήματα που σχετίζονται με το σχηματισμό επιφανειακής κρούστας, τον πλημμυλή αερισμό, τις ασθένειες των ριζών και τον έλεγχο των ζιζανίων και των εντόμων (κυρίως κουνουπιών) (Μισοπολινός, 1991).

Πίνακας 28. Συγκέντρωση Ca_x που αναμένεται να παραμείνει στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους μετά από άρδευση με νερό συγκεκριμένου κλάσματος HCO_3/Ca και EC_w .

Λόγος HCO_3/Ca	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_w) του εφαρμοζόμενου νερού σε dS/m											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.4	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.87	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

(Πηγή: Suarez, 1981)

• Τοξικότητα ιόντων.

Ορισμένα ιόντα τα οποία προσλαμβάνονται από τα φυτά, ακόμη και μικρές σε ποσότητες, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την πρόκληση καταστροφών και τη μείωση της παραγωγής. Τα προβλήματα τοξικότητας των ιόντων παρουσιάζονται συχνά μαζί με εκείνα της αλατότητας καθιστώντας τα περισσότερο πολύπλοκα, παρόλο που μερικές φορές προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται και σε χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα ιόντα στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την άρδευση με υγρά απόβλητα είναι το βόριο (B), το νάτριο (Na) και το χλώριο (Cl). Η συγκέντρωση των δύο τελευταίων είναι ιδιαίτερα αυξημένη όταν χρησιμοποιούνται αποσκληρυντικά νερού.

Η πιο διαδεδομένη τοξικότητα από τη χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων στη γεωργία

προέρχεται από το βόριο. Πηγές βορίου είναι συνήθως τα οικιακά απορρυπαντικά και οι βιομηχανικές εκροές. Συγκεντρώσεις βορί μεγαλύτερες από 3 ppm επηρεάζουν τις περισσότερες καλλιέργειες. Παρόλα αυτά, ορισμένες φορές δεν παρουσιάζονται προβλήματα ακόμη και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Αυτό εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, ανθρακικό ασβέστιο καθώς και από το pH του (Μισοπολινός, 1991).

Αρχικά τα συμπτώματα τοξικότητας του βορίου παρουσιάζονται στα φύλλα σαν κίτρινες κηλίδες ή ξήρανση των ιστών στις κορυφές των φύλλων και στις άκρες τους. Η ξήρανση επεκτείνεται προς το κέντρο των φύλλων και στις περιοχές που βρίσκονται μεταξύ των νεύρων, όταν η συγκέντρωση του βορίου αυξάνεται. Τα συμπτώματα τοξικότητας στα φύλλα εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του βορίου ξεπεράσει τα 250 ~ 300 mg/kg ξηρής ουσίας φύλλων. Στον Πίνακα 29 παρουσιάζεται η ανθεκτικότητα διάφορων αγροτικών καλλιεργειών στο βόριο.

Τα φαινόμενα τοξικότητας του χλωρίου παρουσιάζονται στα φύλλα των φυτών υπό μορφή καψίματος ή ξήρανσης των ιστών. Αρχικά, προσβάλλονται οι κορυφές των φύλλων, που είναι κοινό σύμπτωμα τοξικότητας χλωρίου. Εκτεταμένες νεκρώσεις φύλλων συνοδεύονται από έντονη πτώση τους που μπορεί να φθάσει και στην αποφύλλωση των φυτών. Στα ευαίσθητα φυτά τα συμπτώματα της τοξικότητας εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του χλωρίου στα φύλλα ανέρχεται στο 0,3 ~ 1,0% της ξηρής ουσίας τους. Η πρόσληψη του χλωρίου από τα φυτά εξαρτάται όχι μόνο από την ποιότητα του νερού άρδευσης αλλά και από τη συγκέντρωση του χλωρίου στο εδαφικό διάλυμα. Επίσης, εξαρτάται από τις συνθήκες στράγγισης του εδάφους και από την ικανότητα του φυτού να αποκλείει το χλώριο κατά την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες του (Μισοπολινός, 1991)

Σχετικά με το νάτριο, η τοξική του δράση δεν είναι εύκολο να διαγνωσθεί. Συμπτώματα τοξικότητας είναι το κάψιμο των φύλλων και ιδίως η ξήρανση και νέκρωση των ιστών κατά μήκος των εξωτερικών άκρων των φύλλων. Συμπτώματα τοξικότητας νατρίου εμφανίζονται στα φύλλα των φυτών, όταν η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,25 ~ 0,5% της ξηρής ουσίας των φύλλων.

Πίνακας 29. Ανθεκτικότητα αγροτικών καλλιέργειών στο βόριο (B)^α.

Αγροτικές καλλιέργειες	
Πολύ ευαίσθητες (<0.5mg/l) Λεμονιά (Citrus limon) Βατόμουρο (Rubus spp.)	Μέτρια ευαίσθητες (1.0 - 2.0 mg/l) Πιπεριά κόκκινη (Capsicum annuum) Μπιζέλι (Pisum sativa) Καρότο (Daucus carota) Ραπανάκι (Raphanus sativus) Πατάτα (Solanum tuberosum) Αγγούρι (Cucumis sativus)
Ευαίσθητες (0.5 - 0.75 mg/l) Αβοκάντο (Persea americana) Γκρέιπφρουτ (Citrus X paradisi) Πορτοκαλιά (Citrus sinensis) Βερυκοκιά (Prunus armeniaca) Ροδάκινιά (Prunus persica) Κερασιά (Prunus avium) Δαμασκηλιά (Prunus domestica) Διόσπυρος (Diospyros kaki) Συκιά (Ficus carica) Αμπέλι (Vitis vinifera) Καρυδιά (Juglans regia) Ελαιοκάρυο (Carya illinoensis) Βίγνα (Vigna unguiculata) Κρεμμύδι (Allium cepa)	Μέτρια ανθεκτικές (2.0 - 4.0 mg/l) Μαρούλι (Lactuca sativa) Μάππα (Brassica oleracea capitata) Σέλινό (Apium graveolens) Γογγύλι - κράμβη η ράπας (Brassica rapa) Γρασίδι Κεντάκι (Poa pratensis) Βρώμη (Avena sativa) Καλαμπόκι (Zea Mays) Αγκινάρα (Cynara scolymus) Καπνός (Nicotiana tabacum) Σινάπι (Brassica juncea) Μελιλότος (Clover, Melilotus indica) Κολοκυθάκια (Cucurbita pepo) Αρωματικό πεπόνι (Cucumis melo)
Ευαίσθητα (0.75 - 1.0 mg/l) Σκόρδο (Allium sativum) Γλυκοπατάτα (Ipomea batatas) Σιτάρι (Triticum aestivum) Κριθάρι (Hordeum vulgare) Ηλιανθος (Helianthus annuus) Φασολιά (Vigna radiata) Σουσάμι (Sesamum indicum) Λούπινο (Lupinus hartwegii) Φραουλιά (Fragaria spp.) Αγκινάρα Jerusalem (Helianthus tuberosus) Φασολιά (Phaseolus vulgaris) Φασολιά (Phaseolus lunatus) Αράπικο Φυστίκι (Arachis hypogaea)	Ανθεκτικές (4.0 - 6.0 mg/l) Σόργο (Sorghum bicolor) Τομάτα (Lycopersicon lycopersicum) Μηδουλή (Alfalfa, Medicago sativa) Βίκος (Vicia benghalensis) Μαϊντανός (Petroselinum crispum) Κοκκινόγούλια (Beta vulgaris) Ζαχαρότευτλα (Beta vulgaris)
	Πολύ ανθεκτικές (6.0 - 15.0 mg/l) Βαμβάκι (Gossypium hirsutum) Σπαράγγι (Asparagus officinalis)

- α. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις στο εδαφικό νερό χωρίς να παρατηρείται μείωση της παραγωγής. Η ανθεκτικότητα στο βόριο ποικίλει ανάλογα με τις κλιματικές και εδαφικές συνθήκες καθώς επίσης και με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βορίου στο αρδευτικό νερό είναι περίπου ίσες ή λίγο μικρότερες από εκείνες του εδαφικού νερού.

(Πηγή: Maas, 1990)

Στον Πίνακα 25 χρησιμοποιείται η τιμή του SAR για να εντοπιστεί πιθανός κίνδυνος τοξικής δράσης του Na, όταν το νερό εφαρμόζεται με επιφανειακές μεθόδους άρδευσης και καταιονισμό. Είναι δύσκολο να περιοριστεί η τοξική δράση ορισμένων ιόντων στις ευαίσθητες καλλιέργειες, χωρίς αλλαγή νερού άρδευσης, αρδευτικού συστήματος, καλλιέργειας ή συνδυασμό αυτών. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο στα θερμά κλίματα. Τα συμπτώματα εμφανίζονται σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες, όταν οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές.

Στην άρδευση με καταιονισμό, το νάτριο ή/και το χλώριο απορροφώνται απευθείας από την επιφάνεια των φύλλων και προκαλούν ζημιές στα φυτά. Τέτοια επίπεδα τοξικότητας λαμβάνουν

χώρα σε συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου μικρότερες από εκείνες που προκαλούν αντίστοιχα επίπεδα τοξικότητας κατά την επιφανειακή άρδευση. Άρδευση με καταιονισμό σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών, ισχυρών ανέμων και χαμηλής σχετικής υγρασίας αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης τοξικότητας από χλώριο και νάτριο. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνίσταται άρδευση κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε αποφεύγονται οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς και η χαμηλή σχετική υγρασία. Στον Πίνακα 30 δίνονται τα όρια της συγκέντρωσης του νατρίου και του χλωρίου σε νερό άρδευσης, ώστε να μην προκαλεί διάβρωση στην επιφάνεια των φύλλων διαφόρων φυτών, όταν η άρδευση πραγματοποιείται με καταιονισμό (Μισοπολινός, 1991).

Πίνακας 30. Ανθεκτικότητα διαφόρων φυτών σε διάβρωση της επιφάνειας των φύλλων κατά την άρδευση με καταιονισμό ανάλογα με τη συγκέντρωση Na ή Cl στο νερό^α.

Συγκεντρώσεις Na ⁺ ή Cl ⁻ σε me/l ^β			
< 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Αμυγδαλιά (<i>Pirus dulcis</i>)	Αμπέλι (<i>Vitis spp.</i>)	Μηδική (<i>Medicago sativa</i>)	Κουνουπίδι (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)
Βερυκοκιά (<i>Pirus armeniaca</i>)	Πιπεριά (<i>Capsicum annuum</i>)	Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	Βαμβάκι (<i>Gossypium spp.</i>)
Εσπεριδοειδή (<i>Citrus spp.</i>)	Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i>)	Καλαμπόκι (<i>Zea mays</i>)	Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>)
Δαμασκηλιά (<i>Prunus domestica</i>)	Ντομάτα (<i>L. lycopersicum</i>)	Αγγούρι (<i>Cucumis sativus</i>)	Ηλιάνθος (<i>Helianthus annuus</i>)
		Κάρδαμος (<i>Carthamus tinctorius</i>)	
		Σουσάμι (<i>Sesamum indicum</i>)	
		Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)	

α. Ευαισθησία βασισμένη στην απευθείας απορρόφηση αλάτων από τα φύλλα.

β. Οι βλάβες των φύλλων επηρεάζονται από τις καλλιεργητικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι τιμές του πίνακα δίνονται ενδεικτικά και αφορούν άρδευση με καταιονισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας.

(Πηγή: Maas, 1990)

• Ιχνοστοιχεία.

Στο νερό άρδευσης, αλλά και στα εδαφικά διαλύματα, υπάρχουν διάφορα στοιχεία που βρίσκονται είτε σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις (μακροστοιχεία) είτε σε συγκεντρώσεις μικρότερες από μερικά mg/L, με συνήθεις τιμές μικρότερες από 100 μg/L (ιχνοστοιχεία).

Μερικά από αυτά αν και είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των φυτών σε μικρές συγκεντρώσεις, γίνονται τοξικά με την αύξηση των συγκεντρώσεων. Η ύπαρξη ιχνοστοιχείων στα αστικά υγρά απόβλητα σχετίζεται με την προέλευση των νερών και τις δραστηριότητες της αστικής περιοχής από την οποία προέρχονται τα απόβλητα. Η χρήση των ιχνοστοιχείων είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιομηχανία και στη μεταποίηση καταναλωτικών αγαθών. Επίσης, η παλαιώση και σταδιακή διάβρωση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης συνεισφέρει στην

παρουσία ιχνοστοιχείων στα υγρά απόβλητα. Για τους λόγους αυτούς, έστω και μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων βρίσκονται πάντοτε στα αστικά υγρά απόβλητα. Κάποια αποχετευτικά δίκτυα δέχονται και βιομηχανικές εκροές με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα απόβλητα.

Νερά που προέρχονται από κοινότητες μικρού και μεσαίου μεγέθους, κατά κανόνα δεν είναι επιβαρυνμένα με μεγάλες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, καθώς οι περιοχές αυτές δεν είναι ιδιαίτερα βιομηχανοποιημένες. Εξάλλου, τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τέτοιες περιοχές είναι αυτά που κατά κύριο λόγο προσφέρονται για επαναχρησιμοποίηση, τόσο λόγω της σύστασης τους όσο και λόγω της μικρής απόστασης από την καλλιεργήσιμη γη, γεγονός που καθιστά τη μεταφορά και διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων οικονομικά συμφέρουσα.

Παρόλο που οι συμβατικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων δεν είναι σχεδιασμένες για την απομάκρυνση των ιχνοστοιχείων, μέρος αυτών προσροφάται στα οργανικά και ανόργανα στερεά και απομακρύνεται με τις διαδικασίες των καθιζήσεων των αιωρούμενων στερεών. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα ανεπεξέργαστα απόβλητα μειώνονται κατά 70 έως 90% μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία (U.S. E.P.A., 1973).

Οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς στην άρδευση του ίδιου αγρού δίνονται στον Πίνακα 31. Στον Πίνακα 32 δίνονται οι επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις για νερό άρδευσης που χρησιμοποιείται για χρονικό διάστημα μικρότερο των είκοσι ετών σε εδάφη λεπτόκοκκης υφής με pH 6,0 ~ 8,5. Στον ίδιο πίνακα (Πίνακας 31) επαναλαμβάνονται, για λόγους σύγκρισης, οι συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις σε νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς σε όλα τα εδάφη.

Κανένα από τα στοιχεία του Πίνακα 31 δεν προκαλεί τοξικότητα, εφόσον τηρούνται τα αναγραφόμενα επίπεδα συγκέντρωσης. Επομένως, τα νερά πρέπει να θεωρούνται ασφαλή για συνεχή άρδευση, για όλες τις καλλιέργειες και όλους τους εδαφικούς τύπους, όταν δεν υπερβαίνονται οι συγκεντρώσεις αυτές. Επαναλαμβανόμενες αρδεύσεις με νερό που περιέχει κάποια ιχνοστοιχεία σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από αυτές του Πίνακα 31 θα αυξήσουν τελικά τη συγκέντρωση αυτών σε επίπεδα που είναι πιθανό να προκαλέσουν φυτοτοξικότητες.

Συνιστάται, οι τιμές του συγκεκριμένου πίνακα να θεωρούνται ως οι μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο νερό που χρησιμοποιείται για μακρά χρονικά διαστήματα και με κανονικές δόσεις εφαρμογής του στον αγρό. Στην περίπτωση κατά την οποία η άρδευση με απόβλητα γίνεται για περιορισμένα χρονικά διαστήματα υπάρχει η δυνατότητα να ξεπεραστούν είτε τα όρια συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων (Πίνακας 32) είτε οι δόσεις άρδευσης. Στην περίπτωση αυτή πρέπει σύντομα να αποκατασταθούν τα κανονικά επίπεδα συγκέντρωσης των

ιχνοστοιχείων και εφαρμογής του αρδευτικού νερού στον αγρό. Συνιστώνται επίσης, περιοδικοί έλεγχοι τόσο του εδάφους όσο και του νερού άρδευσης, ώστε να εκτιμάται ο ρυθμός συσσώρευσης ιχνοστοιχείων και να σχεδιάζονται οι μελλοντικοί χειρισμοί (Council on Agricultural Science and Technology, 1976).

Μεταξύ των ιχνοστοιχείων που βρίσκονται στα απόβλητα τα στοιχεία B, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Se και Zn θεωρείται ότι είναι επικίνδυνα, εάν εισαχθούν στα καλλιεργούμενα εδάφη χωρίς έλεγχο. Τα ιχνοστοιχεία Al, As, Cr, Fe, Mn, Pb και Sb, τα οποία εισάγονται στα εδάφη κατά την άρδευση με απόβλητα δεν οδηγούν σε φυτοτοξικότητες, ούτε εκθέτουν τους καταναλωτές σε κινδύνους εφόσον εφαρμοσθούν οι κοινές καλλιεργητικές πρακτικές (Council on Agricultural Science and Technology, 1976).

Συνοψίζοντας την αναφορά στα ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα αστικά υγρά απόβλητα, μπορεί να ειπωθεί ότι, οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα νερά αυτά δεν είναι αρκετά υψηλές για να δημιουργήσουν προβλήματα κατά τη βραχ υπρόθεσμη χρήση τους.

Ωστόσο, τα ιχνοστοιχεία έχουν την τάση να συσσωρεύονται στα εδάφη ύστερα από μακροχρόνια χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων, με αποτέλεσμα τη σταδιακή αύξηση των συγκεντρώσεών τους. Για το λόγο αυτό οι πιθανές επιζήμιες συνέπειες τους δεν πρέπει να αγνοούνται κατά τη χρήση των υγρών αποβλήτων στη γεωργία. Αστικά υγρά απόβλητα με τυπική σύσταση πρέπει να εφαρμοστούν για περισσότερα από 100 χρόνια πριν φθάσουν οι συγκεντρώσεις κάποιων ιχνοστοιχείων στα ανώτατα όρια για τα καλλιεργούμενα εδάφη. Επειδή όμως, η σύσταση των αποβλήτων και τα χαρακτηριστικά των εδαφών διαφέρουν σημαντικά από τόπο σε τόπο, συνιστάται η κατά περίπτωση αντιμετώπιση κάθε κατάστασης (Pettygrove and Asano, 1985).

Πίνακας 31. Συνιστώμενες μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο αρδευτικό νερό για συνεχή χρήση.

Στοιχείο	Συνιστώμενη μέγιστη συγκέντρωση (mg/l) ^a	Παρατηρήσεις
Al (αργίλιο)	5.00	Μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγωγής σε όξινα εδάφη (pH<5.5), αλλά σε νατριομένα εδάφη (pH>7.0) τα ιόντα του Al καθιζάνουν και ελαχιστοποιείται η τοξικότητά του.
As (αρσενικό)	0.10	Η φυτοτοξικότητά του ποικίλει σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνεται από 12 mg/l για το Sudan grass έως λιγότερο από 0.05 mg/l για το ρύζι.
Be (βηρύλλιο)	0.10	Η φυτοτοξικότητά του ποικίλει σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνεται από 5 mg/l για την ουλόφυλλο κράμβη έως 0.5 mg/l για τα νάνα φασόλια.
Cd (κάδμιο)	0.01	Είναι τοξικό στα φασόλια, παντζάρια, ζαχαρότευτλα και κοκκινογούλια, όταν η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα είναι έως 0.1 mg/l. Συνιστώνται συντηρητικά όρια εξαιτίας της τάσης του να συσσωρεύεται σε φυτικούς ιστούς και εδάφη σε συγκεντρώσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς για τους ανθρώπους.
Co (κοβάλτιο)	0.05	Είναι τοξικό στη ντομάτα, όταν η συγκέντρωσή του στο θρεπτικό διάλυμα φθάνει τα 0.1 mg/l. Σε ουδέτερα και νατριομένα εδάφη καθίσταται αδρανές.
Cr (χρώμιο)	0.10	Θεωρείται, όχι πάντα, βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη των φυτών. Εξαιτίας της περιορισμένης γνώσης πάνω στην φυτοτοξικότητα, συνιστώνται συντηρητικές συγκεντρώσεις.
Cu (χαλκός)	0.20	Είναι τοξικό σε αρκετά φυτά, όταν οι συγκεντρώσεις του στο θρεπτικό διάλυμα κομούνται από 0.1 έως 1.0 mg/l.
F (φθόριο)	1.00	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και νατριομένα εδάφη.
Fe (σίδηρος)	5.00	Σε αεριζόμενα εδάφη δεν είναι τοξικό για τα φυτά. Μπορεί όμως να συμβάλλει στην οξίνιση των εδαφών και να μειώσει τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδενίου που είναι σημαντικά στοιχεία για τα φυτά. Άρδευση με καταιονισμό δημιουργεί αποθέσεις σε φυτά, εξοπλισμό και κτίσματα.
Li (λίθιο)	2.50	Ανεκτό από τα περισσότερα φυτά έως 5 mg/l. Ευκίνητο στο έδαφος. Τοξικό για τα εσπεριδοειδή σε χαμηλές συγκεντρώσεις (<0.075 mg/l). Επιδρά όμοια με το βόριο.
Mn (μαγγάνιο)	0.20	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από μερικά δέκατα έως μερικά mg/l, αλλά συνήθως μόνο σε όξινα εδάφη.
Mo (μολυβδένιο)	0.01	Μη τοξικό για τα φυτά όταν βρίσκεται σε κανονικές συγκεντρώσεις στο έδαφος και στο νερό. Μπορεί να είναι τοξικό για τα ζώα, όταν βοσκήσουν σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου μολυβδενίου.

συνέχεια Πίνακα 31.

Στοιχεία	Συνιστώμενη μέγιστη συγκέντρωση (mg/l) ^α	Παρατηρήσεις
Ni (νικέλιο)	0.20	Τοξικό σε διάφορα φυτά σε συγκεντρώσεις από 0.5 έως 1.0 mg/l. Μειωμένη τοξικότητα σε ουδέτερα ή αλκαλικά pH.
Pb (μόλυβδος)	5.00	Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ανάρρωση της αύξησης των φυτικών κυττάρων
Se (σελήνιο)	0.02	Τοξικό στα φυτά ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις, όπως 0.025 mg/l. Επίσης, είναι τοξικό στα ζώα που βόσκουν σε εδάφη με σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις εφαρμοζόμενου σεληνίου. Αντίθετα, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητο στα ζώα.
Sn (κασσίτερος)		Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικό-τητας άγνωστα.
Ti (τιτάνιο)		Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικό-τητας άγνωστα.
W (βολφράμιο) ή (τουγκστένιο)		Δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Συγκεκριμένα επίπεδα ανεκτικό-τητας άγνωστα.
V (βανάδιο)	0.10	Τοξικό σε πολλά φυτά σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις.
Zn (ψευδάργυρος)	2.00	Τοξικό σε πολλά φυτά σε μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων. Η τοξικότητά του μειώνεται όταν το pH>6 και τα εδάφη είναι καλής δομής ή οργανικά.

α. Η μέγιστη συγκέντρωση βασίζεται στην εφαρμογή αρδευτικού νερού ύψους 1000 mm/χρόνο σε εδάφη υπό ορθολογική διαχείριση. Εάν το εφαρμοζόμενο ύψος νερού ξεπερνάει σημαντικά αυτό το όριο, οι μέγιστες συγκεντρώσεις πρέπει να μειωθούν κατάλληλα. Για μικρότερα ύψη νερού δε χρειάζονται προσαρμογές στις μέγιστες συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις που δίνονται αφορούν συνεχή χρήση του ίδιου νερού στον αγρό.

(Πηγή: Ayers and Westcot, 1985)

Πίνακας 32. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς ή και για χρονικό διάστημα μικρότερο των 20 ετών.

Συστατικό	Επιτρεπόμενη συγκέντρωση	
	Σε νερά που χρησιμοποιούνται συνεχώς για όλα τα εδάφη	Σε νερά που χρησιμοποιούνται το πολύ 20 χρόνια και σε εδάφη λεπτόκοκκης υφής με pH 6.0- 8.5
Αλουμίνιο (Al)	5.0	20.0
Αρσενικό (As)	0.10	2.0
Βηρύλιο (Be)	0.10	0.5
Βόριο (B)	0.75	2.0
Κάδμιο (Cd)	0.01	0.05
Χρώμιο (Cr)	0.01	1.0
Κοβάλτιο (Co)	0.05	5.0
Χαλκός (Cu)	0.20	5.0
Φθόριο (F)	1.0	15
Σίδηρος (Fe)	5.0	20.0
Μόλυβδος (Pb)	5.0	0.075
Λίθιο (Li)	0.075	0.075
Μαγγάνιο (Mn)	0.20	10.0
Μολυβδαίνιο (Mo)	0.01	0.05
Νικέλιο (Ni)	0.20	2.0
Σελήνιο (Se)	0.02	0.02
Βανάδιο (V)	0.1	1.0
Ψευδάργυρος (Zn)	2.0	10.0

(Πηγή: Ayers and Westcot, 1985)

- Θρεπτικά στοιχεία.

Τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν ένα βασικό πλεονέκτημα της άρδευσης με συγκεκριμένο νερό, επειδή μειώνουν σημαντικά τις αναγκαίες ποσότητες χημικών λιπασμάτων. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, η περίσσεια θρεπτικών στοιχείων στα υγρά απόβλητα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε κάποιες καλλιέργειες. Γενική αρχή είναι η εφαρμογή περιοδικών ελέγχων για την εκτίμηση των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται σε αυτά, έτσι ώστε να υπολογίζονται οι ποσότητές τους που δίνονται στο έδαφος και φυσικά στις καλλιέργειες μέσω των αρδεύσεων. Οι ποσότητες αυτές των θρεπτικών στοιχείων πρέπει να αφαιρούνται από το συνολικό ποσό θρεπτικών που προστίθεται στο σύστημα έδαφος - φυτό με την κλασική λίπανση. Τα θρεπτικά στοιχεία που συνήθως υπάρχουν στα υγρά αστικά απόβλητα περιλαμβάνουν το άζωτο, το φωσφόρο και περιστασιακά το κάλιο, τον ψευδάργυρο, το βόριο και το θείο.

Σε ότι αφορά στο άζωτο, η συνολική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε αστικά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, κυμαίνεται από 20 έως 60 mg/L, ενώ τόσο η συγκέντρωση του αζώτου όσο και οι μορφές με τις οποίες βρίσκεται στα απόβλητα (αμμωνιακό, νιτρικό, οργανικό) εξαρτώνται από το βαθμό και το είδος της επεξεργασίας που έχουν υποστεί αυτά. Το άζωτο που φθάνει στο έδαφος με το νερό άρδευσης είναι ισοδύναμο με το άζωτο των χημικών λιπασμάτων, αλλά δε ρυθμίζεται εύκολα. Σε κάθε άρδευση μαζί με το νερό εφαρμόζεται και άζωτο που λιπαίνει τα φυτά. Ο τρόπος αυτός λίπανσης είναι ευνοϊκός κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών, αλλά δημιουργεί προβλήματα κατά το στάδιο της ωριμότητας. Περίσσεια αζώτου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε κάποιες καλλιέργειες, όπως αυξημένη βλάστηση, καθυστέρηση στην ωρίμανση του καρπού και υποβάθμιση της ποιότητάς του. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνιστάται η αλλαγή του νερού άρδευσης με άλλοδιαθέσιμο νε χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο ή η ρο ανάμειξη του με άλλο αρδευτικό νερό ε πίσης μικρής περιεκτικότητας σε άζωτο για τη μείωση της συγκέντρωσης του. Όταν το άζωτο που δι νεται με τα υγρά απόβλητα είναι λιγότερο από αυτό που χρειάζεται η καλλιέργεια, απαιτείται συμπληρωματική αζωτούχος λίπανση (Papadopoulos and Stylianos, 1988).

Μορφές αζώτου στα απόβλητα.

Τα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν κατά κανόνα τρεις μορφές αζώτου: το οργανικό, το αμμωνιακό και το νιτρικό άζωτο, ενώ είναι δυνατό να υπάρχουν και μικρές ποσότητες νιτροδών. Η σχετική αναλογία των μορφών αυτών μεταβάλλεται ανάλογα με την προέλευση και το είδος της επεξεργασίας των αποβλήτων. Πάντως, η βασική μορφή του αζώτου είναι η αμμωνιακή με συγκεντρώσεις από 5 έως 40 mg N/L. Το οργανικό άζωτο συναντάται άλλοτε σε διαλυτές μορφές και άλλοτε σε λεπτοδιαμερισμένα σωματίδια και αποτελείται από ένα σύνθετο μείγμα που περιλαμβάνει οξέα, αμινοσάκχαρα και πρωτεΐνες. Όλες οι μορφές είναι εύκολα

μετατρέψιμες σε αμμωνιακά με τη δράση των μικροοργανισμών στο νερό ή στο έδαφος (όπου είναι ακόμη πιο εύκολα μετατρέψιμες) στο οποίο εφαρμόζονται τα απόβλητα. Εκτός των περιπτώσεων κατά τις οποίες τα απόβλητα προέρχονται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, το οργανικό μέρος του αζώτου αντιπροσωπεύει λιγότερο από το μισό του ολικού αζώτου. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κυμαίνονται από 0 έως 30 mg N/L. Στις περιπτώσεις όπου τα απόβλητα έχουν υποστεί μέρος του αμμωνιακού αζώτου αερόβια επεξεργασία, μετατρέπεται σε νιτρικό με τη διεργασία της νιτροποίησης από νιτροβακτήρια.

Παραμονή του αζώτου στο έδαφος.

Όταν το pH του εδάφους είναι μεγαλύτερο του 7, τότε ένα μέρος του αμμωνιακού αζώτου των

αποβλήτων μπορεί να χαθεί ως αέριο (αμμωνία, NH_3). Κάποια από τα ορυκτά της αργίλου, ειδικά στα αργιλώδη εδάφη, έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν τα αμμωνιακά ιόντα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα. Τα ιόντα αυτά δεν ανταλλάσσονται εύκολα από άλλα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος, όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο ή το νάτριο, ούτε και είναι διαθέσιμα στα νιτροβακτήρια για ν τροποίηση. Ένα ι μ έρος του εφαρμοζόμενου αμμωνιακού αζώτου μπορεί να δεσμευτεί κατ' αυτόν τον τρόπο, αλλά σε μία μακρά χρονική περίοδο το φαινόμενο αυτό δεν έχει σημαντική επίδραση στο ισοζύγιο του αζώτου. Όπως και άλλα κατιόντα στα υγρά απόβλητα, τα αμμωνιακά ιόντα είναι δυνατό να προσροφηθούν από τα αρνητικά φορτισμένα κολλοειδή της αργίλου και της οργανικής ουσίας του εδάφους. Σε αντίθεση με τη σταθερή δέσμευση στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών που προαναφέρθηκε, τα προσροφημένα ηλεκτροστατικά αμμωνιακά ιόντα μπορεί να ανταλλάγουν με άλλα κατιόντα του εδαφικού διαλύματος. Σε όλα τα εδάφη, εκτός από τα πολύ αμμώδη, η ικανότητα προσρόφησης των αμμωνιακών ιόντων είναι αρκετή για να συγκρατήσει όλο το αμμώνιο, όταν το νερό εφαρμόζεται με αργούς ρυθμούς. Αθροιστική συσσώρευση των προσροφημένων αμμωνιακών κατά κανόνα δε συμβαίνει. Η συγκράτηση των αμμωνιακών είναι προσωρινή και διαρκεί μόνο μερικές ημέρες ή εβδομάδες, καθώς τα προσροφημένα αμμωνιακά εύκολα οξειδώνονται σε νιτρικά από νιτροβακτήρια, οπότε γίνονται ευκίνητα και μεταφέρονται μακριά από τη θέση προσρόφησης με τη ροή του νερού ή με διάχυση.

Στην περίπτωση εφαρμογής ποσοτήτων νερού σημαντικά μεγαλύτερων από τις συνήθειες (2,5-10 cm ανά εβδομάδα), οι οποίες εφαρμόζονται με αργούς ρυθμούς, μπορεί να προκληθεί κορεσμός της ικανότητας συγκράτησης των αμμωνιακών από το έδαφος, με αποτέλεσμα τα αμμωνιακά να διηθούνται σε βαθύτερες εδαφικές στρώσεις.

Ένας μηχανισμός προσωρινής συγκράτησης των αμμωνιακών συμβαίνει κατά την αφομοίωση τους από μικροοργανισμούς του εδάφους. Αυτό συμβαίνει κατά την αποσύνθεση οργανικών υπολοίπων χαμηλής συγκέντρωσης σε αζώτο. Η ακινητοποίηση αμμωνιακών κατά κανόνα συμβαίνει μόνο κατά τις πρώτες 2-3 εβδομάδες της αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων.

Πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά.

Η κατάληξη του αζώτου που περιέχεται σε απόβλητα που χρησιμοποιούνται για άρδευση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αναλογία των νιτρικών στο εδαφικό διάλυμα που κινείται προς βαθύτερες εδαφικές στρώσεις και το οποίο απορροφάται από τις ρίζες των φυτών.

Οι καλλιέργειες δεν αξιοποιούν όλο το ανόργανο αζώτο που είναι διαθέσιμο στη ζώνη του ριζοστρώματος. Το ποσοστό του αζώτου που αφομοιώνεται από τα φυτά εξαρτάται από το είδος

του φυτού, το βάθος και την κατανομή των ριζών, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, το ρυθμό κίνησης του νερού δια μέσου της ζώνης του ριζοστρώματος και από άλλους παράγοντες. Γενικά, η αποδοτικότητα της αφομοίωσης του εφαρμοζόμενου αζώτου σπάνια είναι μεγαλύτερη από 50%, ενώ συχνά είναι μικρότερη.

Σχετικά με το φώσφορο, η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων στην άρδευση των καλλιεργειών είναι αποδοτική και ασφαλής, με την προϋπόθεση να μη υπερβαίνεται η ικανότητα κατακράτησης των εφαρμοζόμενων στοιχείων από το σύστημα έδαφος - φυτό. Τα φωσφορικά που προστίθενται στο έδαφος μπορούν να προσληφθούν από τα φυτά, να συσσωρευτούν στη στερεά φάση του εδάφους με αντιδράσεις προσρόφησης και ιζηματοποίησης ή να χαθούν από το σύστημα με διήθηση ή διάβρωση. Το σημαντικότερο ποσοστό του εφαρμοζόμενου φωσφόρου αντιδρά με το έδαφος και προσλαμβάνεται από τα φυτά. Ένα μικρό μόνο μέρος, που δεν ξεπερνά το 3% της προστιθέμενης ανά έτος ποσότητας φωσφόρου, βρίσκεται στα νερά στράγγισης. Ιδίαίτερη προσοχή απαιτείται όταν ο εφοδιασμός του συστήματος έδαφος - φυτό με φώσφορο, τόσο με την κλασική λίπανση όσο και με το νερό άρδευσης, είναι μεγαλύτερος από την ικανότητα του συστήματος αυτού να συγκρατήσει/αξιοποιήσει το στοιχείο αυτό. Στον Πίνακα 33 δίνονται οι ποσότητες του αζώτου και του φωσφόρου που απομακρύνονται από το έδαφος με τη συγκομιδή των καλλιεργειών, λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση και το συγκομιζόμενο τμήμα των φυτών. Στον Πίνακα 34 παρουσιάζεται η συνήθης ετήσια πρόσληψη αζώτου, φωσφόρου και καλίου από διάφορα φυτά σε kg/στρέμμα.

Πίνακας 33. Απαίτηση ποσοτήτων αζώτου και φωσφόρου από αντιπροσωπευτικές καλλιέργειες με τη συγκομιδή σε σχέση με την απ όδοση και το συγκομιζόμενο προϊόν.

Καλλιέργειες	Συγκομιζόμενο φυτικό τμήμα	Απόδοση σε kg/στρέμμα	Απομάκρυνση N σε kg/tn προϊόντος	Απομάκρυνση P σε kg/tn προϊόντος
Μεγάλες καλλιέργειες				
Ατρακτυλίδα	Σπόρος	331	31.3	-
Βαμβάκι	Σπόρος	210	35.8	10.2
	Κοτσάνια	156	52.2	7.3
Βρώμη	Σπόρος	331	19.1	-
Γρασίδι μεικτό	Χορτονομή	494	15.4	-
Ζαχαρότευτλα	Ρίζες	7415	1.8	0.1
	Φύλλα	7415	1.8	0.2
Καλαμπόκι	Σπόρος	1112	15.0	3.1
	Ενσήρωμα	6179	4.1	-
	Καλαμιά ^a	494	9.5	1.0
Κριθάρι	Σπόρος	494	19.1	3.3
	Άχυρο	618	7.7	1.3
Λειμώνας αρδευόμενος	Χορτονομή	494	21.3	-
Μηδική	Χορτονομή	1434	29.5	2.4
Ρύζι	Σπόρος	816	14.1	-
	Άχυρο	865	4.5	-
Σιτάρι	Σπόρος	494	17.7	3.6
	Άχυρο	865	8.2	0.9
Σόγια	Σπόρος	309	60.8	5.4
	Καλαμιά ^a	309	20.9	1.8
Σόργο	Σπόρος	494	19.1	3.0
	Καλαμιά ^a	445	9.5	1.5
Φασόλια Ξερά	Σπόρος	331	35.4	-
Φυτά που δίνουν νωπά φρούτα και Ξηρούς καρπούς				
Αβokάντο	Φρούτο	643	3.6	-
Αμπέλι	Φρούτο	2472	0.9	-
Αμυγδαλιά	Ξηρός καρπός	222	30.4	-
Αχλαδιά	Φρούτο	3707	0.9	-
Βερικοκιά	Φρούτο	1977	1.8	-
Γκρέιπφρουτ	Φρούτο	2719	1.8	-
Δαμασκηλιά	Φρούτο	1977	3.2	-
Ελιά	Φρούτο	519	1.8	-
Καρυδιά	Ξηρός καρπός	247	24.0	-
Κερασιά	Φρούτο	989	2.3	-
Λεμονιά	Φρούτο	3213	1.8	-
Πορτοκαλιά	Φρούτο	1977	2.3	-
Ροδακινιά	Φρούτο	3955	1.4	-
Φράουλα	Φρούτο	4696	1.8	-
Λαχανικά				
Καρότο	Ρίζα	4696	1.8	-
Μπρόκολο	Άνθος	1236	5.9	-
Πατάτα	Κόνδυλος	4943	3.6	-
Τομάτα	Φρούτο	6179	1.8	0.1
	Υπέργεια βιομάζα	7415	1.4	0.2
Γρασίδια				
Βερμούδα	Χορτονομή	989	28.6	-
Κεντάκι	Χορτονομή	544	28.1	-

(Πηγή: Broadbent and Reisenauer, 1985)

Πίνακας 34. Πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από ορισμένα φυτά.

Είδος φυτού	Πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων (kg/στρέμμα/έτος)		
	Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
Μεγάλες καλλιέργειες			
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>)	7.06	1.68	2.3
Αραβόσιτος (<i>Zea mays</i>)	17.4 - 19.3	1.9 - 2.8	10.8
Βαμβάκι (<i>Gossypium spp.</i>)	7.4 - 11.2	1.4	3.8
Σόργο (<i>Sorghum spp.</i>)	13.5	1.6	7.0
Πατάτα (<i>Solanum tuberosum</i>)	23.0	2.3	24.7 - 32.3
Σόγια (<i>Glycine hispida</i>) ^α	10.5 - 14.4	1.2 - 1.4	3.3 - 5.4
Σιτάρι (<i>Triticum aestivum/durum</i>)	5.6 - 9.1	1.7	0.5 - 2.0
Χορτοδοτικά			
Μηδική (<i>Medicago sativa</i>)	22.5 - 53.8	2.3 - 3.4	17.4 - 22.5
Λιβαδικά αγρωστώδη (<i>Bromus spp.</i>)	13.0 - 22.5	3.9 - 5.6	24.7
Αγριάδα (<i>Cynodon dactylon</i>)	39.2 - 67.3	3.4 - 4.5	22.5
Πόα (<i>Poa pratensis</i>)	20.2 - 26.9	4.5	20.2
Αγρόπυρο (<i>Agropyron repens</i>)	23.5 - 28.0	3.0 - 4.6	27.5
Φάλαρις (<i>Phalaris canariensis</i>)	33.6 - 44.8	4.0 - 4.5	31.4
Ήρα (<i>Lolium spp.</i>)	20.2 - 28.0	6.2 - 8.4	26.9 - 32.5
Τριφύλλι (<i>Trifolium spp.</i>) ^β	17.7	1.8	10.1
Φεστούκα (<i>Festuca spp.</i>)	15.1 - 32.5	2.9	29.9
Δακτυλίδα (<i>Dactylis glomerata</i>)	25.8 - 28.0	2.3 - 5.6	25.2 - 35.3
Δασικά δένδρα			
- Ανατολικά δάση			
Διάφορα ανάμεικτα είδη σκληρού ξύλου	21.6		
Κόκκινη πεύκη (<i>Pinus spp.</i>)	11.2		
Λευκή ελάτη (παλαιά φυτεία)	28.0		
Αρχική βλάστηση	28.0		
- Νότια δάση			
Ανάμεικτα είδη σκληρού ξύλου	11.2		
Πεύκη χωρίς υποβλάστηση (<i>Pinus spp.</i>) ^γ	22.0		
Πεύκη με υποβλάστηση (<i>Pinus spp.</i>)	32.0		
- Δάση λιμνών			
Ανάμεικτα είδη σκληρού ξύλου	33.6		
Υβρίδια λεύκης (<i>Populus spp.</i>) ^δ	15.7		
- Δυτικά δάση			
Υβρίδια λεύκης (<i>Populus spp.</i>)	30.3 - 40.4		
Ελάτη του Douglas (<i>Abies spp.</i>)	15.1 - 24.7		

α. Μπορεί να δεσμεύσει και ατμοσφαιρικό N.

β. Ορισμένα είδη δεσμεύουν πολύ μικρό ποσοστό ατμοσφαιρικού N υπό συνθήκες αζωτούχου λίπανσης.

γ. Πρόκειται για το είδος *Pinus taeda*.

δ. Αντιπροσωπεύει τον πρώτο κύκλο ανάπτυξης των δενδρυλλίων (κοπή-συγκομιδή κάθε 4-5 έτη)

(Πηγή: Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995)

1.4.2 Επιμέρους προβλήματα

Το pH του νερού σπάνια αποτελεί από μόνο του πρόβλημα. Ωστόσο, τιμή του pH έξω από τα συνηθισμένα όρια (6,5 ~ 8,5) αποτελεί ένδειξη ότι το νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας με πιθανή παρουσία τοξικών ιόντων. Τιμή του pH εκτός των παραπάνω ορίων πρέπει να απο τελεί

προειδοποίηση και να οδηγεί σε περαιτέρω αναλύσεις και εκτιμήσεις για την ποιότητα του νερού.

Εάν τα επίπεδα υπολειμματικού χλωρίου παραμένουν υψηλά κατά το χρόνο εφαρμογής του νερού, προκαλούνται καταστροφές στα φυτά, εφόσον χρησιμοποιούνται συστήματα καταιονισμού. Το ελεύθερο χλώριο (Cl₂) είναι πολύ δραστικό και ασταθές στο νερό. Η ποσότητα του υπολειμματικού χλωρίου μειώνεται εντυπωσιακά, αν το νερό παραμείνει σε ανοικτές δεξαμενές αρκετό χρονικό διάστημα. Υπολειμματικό χλώριο (Cl) λιγότερο από 1 mg/L δεν επηρεάζει το φύλλωμα των φυτών, αλλά όπου υπερβαίνει τα 5 mg/L μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στα φυτά. Το μέγεθος των ζημιών που προκαλεί αυξάνει, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του πάνω από το 1 mg/L. Οδηγίες για το υπολειμματικό χλώριο στο νερό άρδευσης δίνονται στον Πίνακα 25.

1.4.3 Κριτήρια επιλογής μεθόδου άρδευσης

Η ορθολογική χρήση του νερού άρδευσης είναι το κυρίαρχο ζήτημα στη γεωργία. Στην περίπτωση της χρήσης αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς είναι αυτονόητο, ότι ο τρόπος εφαρμογής τους στον αγρό έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία, γιατί συνδέεται άμεσα με πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Όσο μικρότερος είναι ο βαθμός της αρδευτικής αποδοτικότητας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος ρύπανσης ή μόλυνσης εδάφους και νερών (επιφανειακών ή υπόγειων). Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ορθολογική χρήση των προς άρδευση αποβλήτων. Ο Πίνακας 35 παρουσιάζει τη δυνατότητα επιλογής της πλέον κατάλληλης μεθόδου άρδευσης με κριτήρια τη διαβροχή της επιφάνειας του φυλλώματος, τη συσσώρευση αλάτων στο ριζόστρωμα, τη διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας και την καταλληλότητα τους να χρησιμοποιούν υφάλμυρα νερά.

Στον Πίνακα 36 παρουσιάζονται οι πιθανοί κίνδυνοι έμφραξης ενός συστήματος άρδευσης με σταγόνες λόγω φυσικών, χημικών και βιολογικών αιτιών. Η ύπαρξη στερεών τεμαχίων στα υγρά αστικά απόβλητα που δέχθηκαν δευτεροβάθμια επεξεργασία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σταλακτήρες μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα, τα οποία αντιμετωπίζονται με τη χρήση χαλκικόφιλτρων και το συχνό καθάρισμα τους με άφθονο νερό (Papadopoulos and Stylianos, 1988).

Γενικά, η χρήση αποβλήτων στην άρδευση με σταγόνες απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλων φίλτρων στην αρχή του συστήματος (Gilbert et al. 1979). Η άρδευση των καλλιεργειών με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, μέσω συστήματος σταγόνων, προϋποθέτει την ταυτόχρονη χρήση χαλκικόφιλτρου, φίλτρου σίτας και έγχυσης χλωρίου στο σύστημα άρδευσης, για την αποφυγή εμφράξεων. Η χλωρίωση των αποβλήτων είναι απαραίτητη για την αποφυγή ανάπτυξης βακτηριακής μάζας και φυκών στο σύστημα διανομής τους. Η έγχυση μπορεί να πραγματοποιείται

είτε συνεχώς κατά τη διάρκεια της άρδευσης (0,4 mg/L ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο), είτε κατά τη διάρκεια της τελευταίας ώρας της άρδευσης (2 mg/L ελεύθερο υπολειμματικό χλώριο) (Adin and Sacks, 1991).

Πίνακας 35. Εκτίμηση της καταλληλότητας 4 μεθόδων άρδευσης για χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Παράμετροι που εκτιμούνται	Μέθοδος άρδευσης			
	Αυλάκια	Λωρίδες	Καταιονισμός	Σταγόνες
Βρέξιμο φύλλων και ζημιές αυτών με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής.	Δεν παρατηρούνται ζημιές στα φύλλα επειδή τα φυτά βρίσκονται στον αυχένα των αυλακίων και δεν έρχονται σε επαφή με το νερό.	Μερικά από τα κάτω φύλλα μπορεί να βραχούν, αλλά η ζημιά είναι μικρή για να προκαλέσει μείωση της παραγωγής.	Μπορεί να προκληθούν μεγάλες ζημιές στα φύλλα με αποτέλεσμα σημαντική μείωση της παραγωγής.	Δε συμβαίνει καμία ζημιά στα φύλλα.
Συσσωρευση αλάτων στο ριζόστρωμα, με τις επαναλαμβανόμενες αρδεύσεις.	Συσσωρευση αλάτων στον αυχένα των αυλακίων με πιθανή πρόκληση ζημιών στα φυτά.	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δε συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα.	Τα άλατα κινούνται κατακόρυφα προς τα κάτω και δε συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα.	Η συγκέντρωση των αλάτων γίνεται περιφερειακά. Άλατα συσσωρεύονται μεταξύ των σημείων ενστάλαξης.
Δυνατότητα διατήρησης της εδαφικής υγρασίας σε υψηλή διαθεσιμότητα για τα φυτά.	Τα φυτά μπορεί να υποστούν stress από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων.	Τα φυτά μπορεί να υποστούν stress από την έλλειψη νερού μεταξύ των αρδεύσεων.	Δεν μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.	Μπορεί να εξασφαλίσει υψηλή διαθεσιμότητα νερού σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και να μειώσει την επίδραση της αλατότητας.
Καταλληλότητα για χρησιμοποίηση υφάλμυρων αποβλήτων, χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής.	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση του νερού και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις.	Καλή έως μέτρια. Με καλή διαχείριση του νερού και στράγγιση μπορεί να επιτευχθούν ανεκτές αποδόσεις.	Μέτρια έως ανεπαρκής. Οι περισσότερες καλλιέργειες υποφέρουν από ζημιές στη φυλλική τους επιφάνεια με συνέπεια μειωμένη παραγωγή.	Εξαιρετική έως καλή. Σχεδόν όλες οι καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν με πολύ μικρή μείωση της παραγωγής.

Πηγή: Kandiah, 1990)

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα αλατότητας των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων κυμαίνονται από 450 έως 2000 mg/L (ECW = 0,7 ~ 3,0 dS/m). Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν στιγμές, στις οποίες η συγκέντρωση των αλάτων υπερβαίνει τα 2000 mg/L. Γενικά, πρέπει να υιοθετούνται κατάλληλες πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων για να αποφεύγεται ο κίνδυνος δημιουργίας αλατούχων εδαφών, ανεξάρτητα από την περιεκτικότητα των αποβλήτων σε άλατα. Επομένως, η έκπλυση και η στράγγιση είναι δύο πρακτικές διαχείρισης των υγρών αποβλήτων που συμβάλλουν αποφασιστικά στην αποφυγή δημιουργίας αλατούχων εδαφών. Η

σωστή οργάνωση των αρδεύσεων και η ανάμειξη των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων με νερό μικρότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποτελούν άλλες δύοπρακτικές ελαχιστοποιήσης των πιθανών προβλημάτων συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος (Kandiah, 1990).

Πίνακας 36. Πιθανοί κίνδυνοι έμφραξης σταλακτήρων στην άρδευση με σταγόνες.

Αίτια έμφραξης	Περιορισμός στη χρήση του νερού		
	Μικρός	Μικρός έως μέσος	Μεγάλος
Φυσικά			
Αιωρούμενα στερεά (mg/l)	<50	50 - 100	>100
Χημικά			
pH	<7.0	7.0 - 8.0	>8.0
Διαλυμένα στερεά (mg/l)	<500	500 - 2000	>2000
Μαγγάνιο (mg/l)	<0.1	0.1 - 1.5	>1.5
Σίδηρος (mg/l)	<0.1	0.1 - 1.5	>1.5
Υδρόθειο (mg/l)	<0.5	0.5 - 2.0	>2.0
Βιολογικά			
Βακτηριακοί πληθυσμοί (μέγιστος αριθμός/ml)	<10 ⁴	10 ⁴ - 5*10 ⁴	>5*10 ⁴

(Πηγή: Nakayama and Bucks, 1986)

Η ανάμειξη των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων με πηγές φρέσκου νερού είναι μία επιλογή. Εάν τα απόβλητα έχουν αυξημένη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τότε μπορεί να γίνει ανάμειξη τους με φρέσκο νερό μικρής τιμής ηλεκτρικής αγωγιμότητας για να προκύψει νερό άρδευσης αποδεκτής αλατότητας (Grattan and Rhoades, 1990).

Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διαθεσιμότητα φρέσκου νερού και η απουσία τεχνικών δυσκολιών.

Η αλατότητα του μείγματος υπολογίζεται από την Εξίσωση 3.

$$ECw = \frac{Q_A}{(Q_A + Q_B)} ECw_A + \frac{Q_B}{(Q_A + Q_B)} ECw_B = ECw_{\text{μείγματος}} + Q_B$$

όπου , τα γράμματα A και B συμβολίζουν τα προς ανάμειξη νερά, ECw είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα των νερών σε dS/m, και Q είναι οι ποσότητες νερού που αναμειγνύονται.

Εκτός από τις πρακτικές διαχείρισης των προς άρδευση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων υπάρχουν και διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές που μπορούν να υιοθετηθούν για την ελαχιστοποίηση ή αποφυγή διαφόρων προβλημάτων (αλατότητα, νατρίωση) όταν οι αγροί αρδεύονται με αυτά. Η ισοπέδωση των αγρών, η βαθιά άροση και η σωστή τοποθέτηση του σπόρου είναι πρακτικές που συμβάλλουν σημαντικά στην πρόληψη πιθανών προβλημάτων και τη διατήρηση της παραγωγικότητας του εδάφους.

Βιοδιασπώμενη οργανική ύλη και αιωρούμενων στερεών.

Η βιοδιασπώμενη οργανική ύλη αποτελείται κυρίως από πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες και λίπη. Η χρήση υγρών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης προκαλεί προβλήματα τόσο στα σωληνωτά αρδευτικά συστήματα (εμφράξεις) όσο και στο έδαφος (δημιουργία στερεών υπολειμμάτων με επίπτωση στις φυσικές ιδιότητες του καθώς και ανάπτυξη σηπτικών συνθηκών). Οι χρησιμοποιούμενες παράμετροι αξιολόγησης της οργανικής ύλης στα υγρά αστικά απόβλητα είναι το BOD και το COD. Τα όρια του BOD για επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση διαφόρων καλλιεργειών δίνονται στα κριτήρια της Κύπρου (Πίνακας 57). Στον ίδιο πίνακα δίνονται και τα όρια των αιωρούμενων στερεών.

1.4.4 Μικροβιολογικά κριτήρια.

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία είναι η μείωση του κινδύνου για τη δημόσια υγεία, εξαιτίας της έκθεσης των αγροτών και του κοινού σε παθογόνους μικροοργανισμούς. Σε γενικές γραμμές, οι κίνδυνοι για την υγεία των ανθρώπων είναι ανάλογοι του βαθμού έκθεσης αυτών στα υγρά απόβλητα, της ποιότητας των αποβλήτων και της αξιοπιστίας των συστημάτων επεξεργασίας τους.

Επειδή ο κύριος όγκος των υγρών αστικών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές, οι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που βρίσκονται στον εντερικό σωλήνα των ανθρώπων βρίσκονται και στα απόβλητα, με συνέπεια την πιθανή διάδοση διαφόρων μολυσματικών ασθενειών. Ο αριθμός των παθογόνων οργανισμών στα υγρά αστικά απόβλητα έχει μειωθεί δραστικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της βελτίωσης των συνθηκών υγιεινής και του ελέγχου των ασθενειών με αντιβιοτικά.

Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα βακτήρια, τα παράσιτα (πρωτόζωα) και τους ιούς. Γενικά, η χρήση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς δε συνιστάται γιατί μπορεί να θέσει σε σοβαρό κίνδυνο την

υγεία των ανθρώπων. Κατάλληλη επεξεργασία των αποβλήτων και εφαρμογή προστατευτικών μέτρων κατά τη χρήση τους, απομακρύνει τους κινδύνους και δίνει τη δυνατότητα για επωφελή αξιοποίηση αυτής της πηγής νερού.

Τα προβλήματα υγείας που είναι δυνατό να προκληθούν από τη χρήση ανεπεξέργαστων ή μ ερικώς επεξεργασμένων αποβλήτων έχουν αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας τα τελευταία χρόνια. Καθώς οι κίνδυνοι από τη χρήση των αποβλήτων για την ανθρώπινη υγεία είναι υπαρκτοί, τα ποιοτικά κριτήρια και οι οδηγίες αξιολόγησης της καταλληλότητας των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς έχουν σαν κύριο στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας. Πολλές χώρες σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές, όπου κατά κύριο λόγο εφαρμόζεται η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων, έχουν θεσπίσει μικροβιολογικά κριτήρια για να εξασφαλίσουν την ακίνδυνη χρήση των υγρών αποβλήτων (Ali, 1987).

Οι μετρήσεις των μικροβιακών δεικτών αποτελούν πλέον αναλύσεις ρουτίνας για τα εξειδικευμένα εργαστήρια, διότι οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι αξιόπιστες, σχετικά εύκολες στην εκτέλεση τους, οικονομικές και ευαίσθητες. Αυτοί είναι οι λόγοι για τους οποίους η υγιεινή κατάσταση ενός νερού χαρακτηρίζεται από τους δείκτες που έχουν επιβληθεί από τις νομοθεσίες των κρατών ως μέτρο ποιοτικού ελέγχου.

Ορισμένες από τις χώρες που έχουν θεσπίσει μικροβιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση είναι η Αυστραλία, 19 πολιτείες των Η.Π.Α., το Ισραήλ, η Κύπρος, η Ιορδανία, η Ν. Αφρική, καθώς και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ).

Στη συγκεκριμένη διατριβή παρατίθενται τα μικροβιολογικά κριτήρια του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας και της Κύπρου τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των εκροών των εγκαταστάσεων της νήσου Λέσβου.

Κατά τη θέσπιση κριτηρίων για τη μικροβιακή ποιότητα των αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση καλλιεργειών γίνεται μία προσπάθεια συμβιβασμού του θεωρητικά επιθυμητού και ασφαλούς για τη δημόσια υγεία, με εκείνο που είναι πρακτικά εφικτό. Όρια πολύ αυστηρά θα μπορούσαν να αποκλείσουν τη χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων, με αποτέλεσμα την απώλεια μιας πολύτιμης πηγής νερού. Τα κριτήρια που επιβάλλονται πρέπει να έχουν σαν κύριο στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας αλλά και το όφελος που προκύπτει από την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων. Τα όρια αυτά πρέπει να είναι τεχνολογικά εφικτά και να επιτυγχάνονται με χαμηλό κόστος από συστήματα επεξεργασίας σταθερής και υψηλής απόδοσης (Ali, 1987).

Επίσης, πρέπει να τονισθεί ότι η σωστή διαχείριση των υγρών αποβλήτων κατά την άρδευση και η

κατάλληλη επιλογή των καλλιεργειών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας.

Μεταξύ των δύο άκρων, δηλαδή της χρησιμοποίησης ανεπεξέργαστων αποβλήτων για άρδευση, όπως γίνεται σε ορισμένες χώρες και των πολύ αυστηρών κριτηρίων που προϋποθέτουν υψηλού κόστους τριτοβάθμια επεξεργασία, υπάρχει μία μέση προσέγγιση που συνιστά δευτέρου βαθμού επεξεργασία και χλωρίωση (Ali, 1987).

1.5 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

Υπάρχουσα κατάσταση

Στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική μελέτη για ανάπτυξη και εφαρμογή κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης το 2000 (Αγγελάκης κ. α., 2000). Τα κριτήρια αυτά βασίζονταν σε αρχές όμοιες με αυτές άλλων χωρών και διεθνών οργανισμών (Anderson et al., 2001 και Gerba and Rose, 2002). Επίσης, πρόσφατα Παρανυχιανάκης κ. α. (2009) στο πλαίσιο ενός έργου συγχρηματοδότησης της ΚΕΔΚΕ και της Ένωσης ΔΕΥΑ προτείνονται κριτήρια επαναχρησιμοποίησης εκροών υγρών αποβλήτων για τη Χώρα μας, που ορίζουν διεργασίες επεξεργασίας, όρια χημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων, ελάχιστες αποστάσεις από κατοικημένες περιοχές, σημεία πρόσβασης κοινού και πηγές νερού, καθώς και επιτόπια μέτρα προστασίας για την μείωση των συνεπαγόμενων κινδύνων για τη δημόσια υγεία. Επίσης, αναλύονται και περιγράφονται κριτήρια για τις παρακάτω κατηγορίες χρήσης ανακυκλωμένου νερού:(α) Αστικές και οικιακές χρήσεις, όπως:(i) Οικιακές χρήσεις όπως άρδευση οικιακών κήπων, πλύσιμο αυτοκινήτων, καζανάκι τουαλέτας(ii) άρδευση χώρων πρασίνου με ή χωρίς με περιορισμούς πρόσβασης,(iii) πυρόσβεση και(β) Άρδευση καλλιεργειών, όπως:(i) άρδευση καλλιεργειών χωρίς περιορισμούς χρήσης,(ii) άρδευση καλλιεργειών με περιορισμούς χρήσης (γ) Περιβαλλοντικές χρήσεις.(δ) Βιομηχανική χρήση.(ε) Εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων που δεν προορίζονται για ύδρευση.Τα προτεινόμενα κριτήρια βρίσκουν εφαρμογή για εκροές υγρών αποβλήτων που προέρχονται από οικιακές δραστηριότητες (αστικά απόβλητα) και στις οποίες δεν εκφορτίζονται απόβλητα από βιομηχανικές μονάδες. Τα κριτήρια αυτά αποσκοπούν κύρια στην προστασία της δημόσιας υγείας από παθογόνους μικροοργανισμούς και χημικές ενώσεις. Θέματα που σχετίζονται με τις επιδράσεις χημικών παραμέτρων στην απόδοση των καλλιεργειών και το έδαφος δεν περιλαμβάνονται στα προτεινόμενα κριτήρια, καθώς θεωρείται ότι ισχύει για τις παραμέτρους αυτές, ότι και για το φυσικό νερό. Παρόμοια και για τις βιομηχανικές χρήσεις δεν εξειδικεύονται φυσικοχημικά κριτήρια για τις επιμέρους εφαρμογές και θεωρείται ότι η εκπλήρωση

των απαιτήσεων αυτών είναι υποχρέωση του χρήστη. Σχετικά με τις περιβαλλοντικές χρήσεις είναι φανερό ότι απαιτείται η θεώρηση φυσικοχημικών παραμέτρων για την προστασία της υδρόβιας πανίδας και χλωρίδας από τοξικές επιδράσεις και την υποβάθμιση της ποιότητας νερού των επιφανειακών πηγών. Η εμπειρία από τη διεθνή βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι απαιτείται μία ανά περίπτωση αξιολόγηση των ποιοτικών κριτηρίων που πρέπει να ικανοποιούνται. Σε όλες τις εφαρμοζόμενες χρήσεις ανακυκλωμένων εκροών εφαρμόζεται απολύμανση για την αποφυγή επιπτώσεων εξαιτίας μη ενδεικνύμενης ή κατά λάθος χρήσης εκροών. Τέλος, τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων για όλες τις προτεινόμενες εφαρμογές παρουσιάζονται συνοπτικά στους Πίνακα 1 που ακολουθεί.

Πίνακας 1. Προτεινόμενα Κριτήρια Επαναχρησιμοποίησης Αστικών Υγρών Αποβλήτων (Παρανυχιανάκης κ. α., 2009).

Κατηγορία ανακύκλωσης	Διεργασίες επεξεργασίας ^{1, 2, 3, 4}	Επιτόπια μέτρα μείωσης κινδύνων	Ποιοτικοί παράμετροι ^{5, 6, 7, 8}
Αστικές και Οικιακές χρήσεις			
Οικιακές Χρήσεις: άρδευση κήπων, πλύσιμο αυτοκινήτων, διπλές σωληνώσεις μεταφοράς	Προωθημένη <ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια, μεμβράνες, απολύμανση <ul style="list-style-type: none"> ◦ Δεν απαιτούνται 		BOD ₅ : <10 mg/L FC: <1cfu/100 mL Θολότητα: < 0,2 NTU Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L Χρώμα
Αστικές χρήσεις χωρίς περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης: (άρδευση χώρων πρασίνου όπως αθλητικές εγκαταστάσεις, πάρκα, γήπεδα γκολφ, πλύσιμο δρόμων, πυρόσβεση)	Προωθημένη <ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια, διήθηση απολύμανση • Δευτεροβάθμια, μεμβράνες, απολύμανση <ul style="list-style-type: none"> ◦ Δεν απαιτούνται 		BOD ₅ : <10 mg/L FC: <1cfu/100 mL Θολότητα: < 2 NTU Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L
Αστικές χρήσεις με περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης: άρδευση περιοχών όπου η πρόσβαση	Δευτεροβάθμια και απολύμανση	<ul style="list-style-type: none"> • Αυστηρός έλεγχος πρόσβασης • Ελάχιστη απόσταση από σημεία διέλευσης 	BOD ₅ : <20 mg/L TSS: <20 mg/L FC: <100 cfu/100 mL

κοινού είναι περιορισμένη ή ελεγχόμενη (νησίδες εθνικών οδών, γήπεδα γκολφ, νεκροταφεία)		κοινού	Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L
Άρδευση Καλλιιεργειών			
Άρδευση καλλιιεργειών χωρίς περιορισμούς χρήσης/πρόσβασης	<p>Προωθημένη</p> <ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια, διήθηση, απολύμανση • Δευτεροβάθμια, μεμβράνες, απολύμανση <ul style="list-style-type: none"> ο Δεν απαιτούνται ο Όλες οι καλλιιεργειες και όλες οι μέθοδοι εφαρμογής 		<p>BOD₅: <10 mg/L</p> <p>FC: <1cfu/100 mL</p> <p>Θολότητα: < 2 NTU</p> <p>Υπολειμματικό Cl₂: 1 mg/L</p>
Άρδευση με Περιορισμούς Χρήσης/Πρόσβασης	Δευτεροβάθμια, διήθηση και απολύμανση	<ul style="list-style-type: none"> • Κηπευτικές καλλιιεργειες που το υπέργειο μέρος τους καταναλώνεται νωπό και δεν βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος (τομάτες, μελιτζάνες και πιπεριές). Εφαρμογή με στάγδην ή υποεπιφανειακή άρδευση και μη συγκομιδή υγρής παραγωγής ή από το έδαφος. • Κηπευτικές καλλιιεργειες με επαφή με το έδαφος που φέρουν ωστόσο φλοιό που αφαιρείται πριν την κατανάλωση. Σε περίπτωση άρδευσης με καταιονισμό, η συγκομιδή να γίνεται όταν η παραγωγή είναι απολύτως στεγνή (2-3 ημερες). Απαιτείται επίσης έλεγχος της πρόσβασης και διακοπή της άρδευσης όταν επικρατούν ισχυροί άνεμοι. 	<p>BOD₅: <10 mg/L</p> <p>TSS: <10 mg/L</p> <p>FC: <100cfu/100 mL</p> <p>Υπολειμματικό Cl₂: 1 mg/L</p>

		<p>Ελάχιστη απόσταση 30 m από πηγές νερού, σημεία διέλευσης κοινού και γειτονικές καλλιέργειες που η παραγωγή τους καταναλώνεται νωπή.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Άρδευση με καταιονισμό καλλιεργειών που υπόκεινται σε διεργασία ή μαγείρεμα πριν την κατανάλωση τους (όπως είναι τα λαχανικά που μαγειρεύονται ή υφίστανται διεργασία, τα οπωροφόρα δένδρα για κομπόστα ή χυμό, οι αμπελώνες για παρασκευή κρασιού και σταφίδας, οι ελιές, δημητριακά κ.α), λειβαδικών εκτάσεων για βοσκή ζώων, για ενσίρωση και καλλιεργειών δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο. <p>Ελάχιστη απόσταση 50 m από πηγές νερού, σημεία διέλευσης κοινού και γειτονικές καλλιέργειες που η παραγωγή τους καταναλώνεται νωπή.</p> <p>Έλεγχος της πρόσβασης, διακοπή της άρδευσης όταν επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Η συλλογή της παραγωγής γίνεται όταν η κόμη των καλλιεργειών είναι απολύτως στεγνή.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Άρδευση καλλιεργειών με επιφανειακές μεθόδους που τα προϊόντα τους καταναλώνονται νωπά και βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση με το έδαφος (οπωροφόρα δένδρα 	
--	--	--	--

		<p>και αμπελώνες). Απαιτείται έλεγχος της πρόσβασης και μη συλλογή από το έδαφος. Η συγκομιδή να πραγματοποιείται σε διάστημα μεγαλύτερο από μια εβδομάδα από την εφαρμογή άρδευσης.</p>	
<p>Άρδευση με Περιορισμούς Χρήσης/Προσβάσις</p>	<p>Δευτεροβάθμια και απολύμανση</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Άρδευση καλλιεργειών με τοπικές μεθόδους που τα προϊόντα τους καταναλώνονται νωπά και βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση με το έδαφος (οπωροφόρα δένδρα και αμπελώνες). Απαιτείται έλεγχος της πρόσβασης κατά την διάρκεια της άρδευσης. Δεν επιτρέπεται η συλλογή παραγωγής από το έδαφος. • Άρδευση με επιφανειακές μεθόδους καλλιεργειών που υφίστανται διεργασία ή μαγείρεμα πριν την κατανάλωση τους (οπωροφόρα δένδρα για κομπόστα ή χυμό, αμπελώνες για κρασί ή σταφίδα, οι ελιές και τα δημητριακά). Απαιτείται έλεγχος της πρόσβασης κατά τη διάρκεια της άρδευσης και έλεγχος απορροής. 	<p>BOD₅: <20 mg/L TSS: <20 mg/L FC: <1000 cfu/100 mL Υπολειμματικό Cl₂: 1 mg/L</p>
<p>Άρδευση με Περιορισμούς Χρήσης/Προσβάσις</p>	<p>Δευτεροβάθμια και αποθήκευση τουλάχιστον 10 ημέρες</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Άρδευση καλλιεργειών με επιφανειακές μεθόδους καλλιεργειών που δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο (παραγωγή βιομάζας και ξυλείας, οι 	<p>BOD₅: <30 mg/L TSS: <30 mg/L FC: -</p>

		<p>χορτολιβαδικές καλλιέργειες και η σποροπαραγωγή). Απαιτείται αυστηρός έλεγχος της πρόσβασης κατά την διάρκεια της άρδευσης και μέτρα προστασίας για τους εργαζομένους. Επίσης απαιτείται έλεγχος της απορροής. Δεν επιτρέπεται η βόσκηση ζώων γαλακτοπαραγωγής για 2 εβδομάδες από την εφαρμογή άρδευσης. Επίσης, σε περίπτωση ύπαρξης υπόγειου υδροφορέα, ο ορίζοντας του πρέπει να βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 4 m.</p>	
Βιομηχανική χρήση	Τουλάχιστον: Δευτεροβάθμια και απολύμανση	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν επιτρέπεται η χρήση ανακυκλωμένου νερού σε βιομηχανίες μεταποίησης τροφίμων. • Όπου η χρήση των εκροών συνεπάγεται την δημιουργία σταγονιδίων ή αερολυμάτων απαιτείται προωθημένη επεξεργασία όπως δευτεροβάθμια, διήθηση και απολύμανση ή λήψη μέτρων προστασίας του προσωπικού από την έκθεση σε σταγονίδια (καταλληλός ρουχισμός, γάντια, μάσκες). 	Ορίζονται κατά περίπτωση
Περιβαλλοντικές χρήσεις όπως συντήρηση ροής σε ποτάμια,	Ελάχιστη: Δευτεροβάθμια, βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών και απολύμανση	<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτείται κατά περίπτωση αξιολόγηση λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό πρόσβασης 	BOD ₅ : <20mg/L TSS: < 20 mg/L

λίμνες και υδροβιότοπους		του κοινού, την χρήση, τις πιθανές επιπτώσεις στους υπόγειους υδροφορείς, τις πιθανές επιδράσεις του υπολειμματικού χλωρίου στους υδρόβιους οργανισμούς, και τις πιθανές επιπτώσεις στις φυσικοχημικές ιδιότητες του υδατικού σώματος ⁹ .	FC: <250 cfu/100 mL Υπολειμματικό Cl ₂ : κατά περίπτωση
Εμπλουτισμός υδροφορέων που δεν προορίζονται για ύδρευση μέσω λεκανών διήθησης	Ελάχιστη: Δευτεροβάθμια βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών και απολύμανση	<ul style="list-style-type: none"> • Το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας, καθώς και τα όρια των ποιοτικών παραμέτρων θα πρέπει να καθορίζονται ανά περίπτωση λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το δυναμικό του υδροφορέα, το χρόνο παραμονής, τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και την χρήση του⁹. 	Ορίζονται κατά περίπτωση

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει διεργασίες ενεργούς ιλύος, σταλαγματικών φίλτρων ή και φυσικά συστήματα επεξεργασίας (τεχνητοί υδροβιότοποι και λίμνες οξείδωσης) που διασφαλίζουν εκροές με συγκεντρώσεις BOD και TSS < 30 mg/L.² Η διήθηση αναφέρεται στη διέλευση αποβλήτου από φυσικά μέσα όπως είναι μη διαταραγμένα εδάφη, η άμμος, ο ανθρακίτης και ειδικά υφάσματα ή μικροφίλτραση.³ Η απολύμανση αναφέρεται στην απομακρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών μέσω φυσικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών. Η υιοθέτηση Cl₂ ως απολύμαντικού μέσου αναφοράς δεν αποκλείει την χρήση άλλων απολυμαντών.⁴ Κατά τη διήθηση ο ρυθμός εφαρμογής πρέπει να διατηρείται μικρότερος από 20 cm/min.⁵ Η παρακολούθηση πρέπει να γίνεται ανά εβδομάδα στην έξοδο της μονάδας επεξεργασίας. Η οριζόμενη συγκέντρωση TSS ή θολότητας θα πρέπει να επιτυγχάνεται πριν την απολύμανση των εκροών. Η παρακολούθηση της θολότητας όπου περιγράφεται (οικιακές χρήσεις, αστικές χρήσεις και άρδευση χωρίς περιορισμούς χρήσης) πρέπει να πραγματοποιείται σε συνεχή βάση.⁶ Τα ποιοτικά κριτήρια θα πρέπει να εκπληρώνονται στο 90% των

δειγμάτων και κανένα δείγμα για τα FC δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100 cfu/100 mL για τις χρήσεις υψηλού κινδύνου (οικιακές χρήσεις, αστικές χρήσεις και άρδευση χωρίς περιορισμούς χρήσης) και στο 75% των δειγμάτων για τις υπόλοιπες χρήσεις.7 Για τις χρήσεις υψηλού κινδύνου ως ελάχιστο Ct σε περιπτώσεις απολύμανσης με Cl2 ορίζονται τα 450 mg/L•min με ελάχιστο χρόνο επαφής κατά την παροχή αιχμής τα 90 min, ενώ για απολύμανση με UV τα 100 mJ/cm2, ώστε να διασφαλίζεται απομάκρυνση των ιών κατά τουλάχιστο 4 log 8 Ως ελάχιστος χρόνος επαφής κατά την παροχή αιχμής ορίζονται τα 60 min 9 Απαιτούνται όρια για το N και P. Προτάσεις

Από την μέχρι τώρα Ελληνική εμπειρία τεκμαίρεται ότι η νομοθετική θέσπιση μέτρων και κριτηρίων για την επαναχρησιμοποίηση εκροών αστικών υγρών αποβλήτων θα πρέπει να γίνει με Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) μεταξύ των Υπουργείων Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης και Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Σκοπός μιας τέτοιας απόφασης θα είναι:(α) Η αξιοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων. Η εξοικονόμηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από: (i) Την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην ΕΕ και ειδικότερα στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής. Και (ii) Την έντονη ταπείνωση ή υφαλμύρυνση υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την υπεράντληση, την προϊούσα λειψυδρία και την είσοδο του θαλασσιού μετώπου σε παράκτιες περιοχές.(β) την βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μεταξύ της άντλησης και της ανατροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΥΑ 145116/2011 ΠΕΡΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1. Εισαγωγή

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 145116/2011 (Φ.Ε.Κ. 354/Β/8.3.2011) “Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις” επιφέρει σημαντικές τροποποιήσεις στη διαχείριση αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να μπορούν να ανακτηθούν ως νερό με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους. Διευκρινίσεις για την εφαρμογή της Κ.Υ.Α. παρέχονται στην υπ’ αριθμόν 145447/23.6.2011 εγκύκλιο του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.ΚΑ).

Θεσπίζονται τέσσερις βασικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων: (α) άρδευση, (β) βιομηχανική χρήση, (γ) τροφοδότηση/ εμπλουτισμός υπόγειων

υδροφορέων και (δ) αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση. Τίθενται όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους για τις διάφορες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης, καθώς και ο αντίστοιχος βαθμός της κατ' ελάχιστον απαιτούμενης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από απολύμανση) και η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών.

Επίσης, με τη νέα ΚΥΑ καταργείται η μελέτη επεξεργασίας και διάθεσης των υγρών αποβλήτων που προβλέπεται στην ΚΥΑ Ε1β/221/1965, κατά το μέρος που καλύπτεται από το πεδίο εφαρμογής της νέας ΚΥΑ. Πλέον, εισάγεται η μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής του προτεινόμενου συστήματος επαναχρησιμοποίησης, που θα κατατίθεται προς έγκριση και έκδοση της άδειας επαναχρησιμοποίησης στην Διεύθυνση Υδάτων της οικείας Αποκεντρωμένης Διοίκησης. Η διάρκεια ισχύος της άδειας επαναχρησιμοποίησης δεν μπορεί να υπερβαίνει κατά μέγιστο τα 8 έτη από την ημερομηνία έκδοσής της.

Στο παρόν άρθρο εξειδικεύεται το πεδίο εφαρμογής της νέας ΚΥΑ και πραγματοποιείται μια εισαγωγή στους διάφορους τύπους επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

2.2. Πεδίο εφαρμογής

Η ΚΥΑ εφαρμόζεται για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων: υγρών οικιακών ή αστικών λυμάτων ή βιομηχανικών λυμάτων που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης, και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία.

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, είναι οι εξής:

Επεξεργασία του γάλακτος.

Παραγωγή οπωροκηπευτικών προϊόντων.

Παραγωγή και εμφιάλωση μη αλκοολούχων ποτών.

Μεταποίηση γεώμηλων.

Βιομηχανία κρέατος

Ζυθοποιία.

Παραγωγή αλκοόλης και αλκοολούχων ποτών.

Παραγωγή ζωοτροφών από φυτικά προϊόντα.

Παραγωγή ζελατίνας και κόλλας από δέρματα και οστά ζώων.

Μονάδες παραγωγής βύνης.

Μεταποιητική βιομηχανία ιχθύων.

3. Τύποι επαναχρησιμοποίησης

Στην ΚΥΑ ορίζονται οι εξής δυνατότητες για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων:

1. Άρδευση, που διακρίνεται περαιτέρω σε:

α) Περιορισμένη

β) Απεριόριστη

2. Βιομηχανική χρήση, που διακρίνεται περαιτέρω σε:

α) Επαναχρησιμοποίηση ως νερό ψύξης μιας χρήσης

β) Άλλες βιομηχανικές χρήσεις, όπως επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών, κ.α.

3. Τροφοδότηση/ Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, που διακρίνεται περαιτέρω σε:

α) Τροφοδότηση με διήθηση διαμέσω εδαφικού στρώματος

β) Τροφοδότηση με γεωτρήσεις

4. Αστική και Περιαστική επαναχρησιμοποίηση

Οι προαναφερόμενοι τύποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων δεν είναι επιτρεπτοί για το σύνολο του πεδίου εφαρμογής της ΚΥΑ. Οι επιτρεπόμενες μορφές επαναχρησιμοποίησης σε συνάρτηση με την πηγή παραγωγής των υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων

Πηγή/ Τύπος υγρών αποβλήτων	Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης
Οικιακά ή αστικά λύματα ή βιομηχανικά λύματα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης	<ol style="list-style-type: none"> 1. Άρδευση 2. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων 3. Αστική και περιαστική χρήση 4. Βιομηχανική χρήση
Υγρά βιομηχανικά απόβλητα που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία	<ol style="list-style-type: none"> 1. Βιομηχανική χρήση 2. Περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος άρδευσης 3. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007 και μόνο μέσω διήθησης.

Σημειώνεται ότι η ΚΥΑ δεν βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση διάθεσης σε υδάτινους αποδέκτες.

3.1. Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

Διακρίνονται δύο τύποι επαναχρησιμοποίησης στην περίπτωση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα:

Περιορισμένη άρδευση, που αφορά μόνο καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλου είδους επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή οι καρποί τους δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος κατά τη διαδικασία συλλογής τους. Παραδείγματα των καλλιεργειών αυτών είναι καλλιέργειες ζωοτροφών, λιβάδια, βιομηχανικές καλλιέργειες, δέντρα (εκτός των οπωροφόρων), καλλιέργειες σπόρων κ.α.. Στην περιορισμένη άρδευση δεν επιτρέπεται η εφαρμογή του καταιονισμού ως μεθόδου άρδευσης. Η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση πρέπει να απαγορεύεται.

Απεριόριστη άρδευση, που αφορά σε είδη καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, π.χ. λαχανικά, αμπέλια, οπωροφόρα δέντρα κ.α., ενώ αφορά επίσης και ανθοκομικές καλλιέργειες. Στις περιπτώσεις αυτές επιτρέπονται διάφοροι τύποι άρδευσης, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού, ενώ δεν υπάρχουν περιορισμοί στην πρόσβαση του κοινού.

3.2. Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων

Διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων:

Άμεσος εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα.

Εμπλουτισμός με τη μέθοδο της διήθησης διαμέσου εδαφικού στρώματος εδάφους, με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος.

Με ορισμένες εξαιρέσεις, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων επιτρέπεται μόνο στις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα υπόγεια νερά δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007.

Στην τροφοδότηση των υπόγειων υδροφορέων εντάσσονται τόσο η υπεδάφια όσο και η επιφανειακή διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανόμενης και της τελικής διάθεσης σε απορροφητικό βόθρο.

3.3. Αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση

Ο συγκεκριμένος τύπος επαναχρησιμοποίησης αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών κλπ. Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης μεταξύ άλλων συμπεριλαμβάνουν: το πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου όπως δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές κατοικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων αναψυχής, τη χρήση νερού για την πυρόσβεση, τη συμπύκνωση εδαφών, τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, τα διακοσμητικά συντριβάνια, τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών ή υγροβιοτόπων καθώς και για την ενίσχυση παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

3.4. Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση

Η επαναχρησιμοποίηση αυτού του τύπου περιλαμβάνει εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης (μιας χρήσης ή επανακυκλοφορούμενων), αναπλήρωση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

4. Μεταβατικές διατάξεις

Η νέα ΚΥΑ αφήνει χρονικό περιθώριο 2 ετών για τη συμμόρφωση όσων εγκαταστάσεων ή δραστηριοτήτων επαναχρησιμοποιούν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και δεν καλύπτονται από τους όρους και τους περιορισμούς της ΚΥΑ.

Η ENVIMA μπορεί να αναλάβει την επιλογή, αδειοδότηση, προμήθεια, εγκατάσταση και τη συντήρηση & λειτουργία των απαιτούμενων συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τα νομοθετικά όρια και να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα του επιλεγμένου συστήματος επαναχρησιμοποίησης.

Για περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να έλθετε σε επικοινωνία μαζί μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Αγγελάκης, Α. Ν. και Tchobanoglous, G.(1995),Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επεξεργασία και Διάθεση Εκροών , Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
2. Αγγελάκης Α., Τσαγκαράκης Κ., Παρανυχιανάκης Ν., Ανδρεαδάκης Α., Μαυροφοράκης Μ., Ανυφαντάκη Κ. και Παπαδογιαννάκης Ν. (1999), Η σημασία ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων εκροών αστικών υγρών αποβλήτων , ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., Ινστιτούτο Α.Λ.Α. Ηρακλείου, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Ηράκλειο.
3. ΚΥΑ 145116/2011 Εισαγωγή στην ΚΥΑ επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα
4. Μαυράκη Δ. (2000), Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με προεπεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα , Ηράκλειο Κρήτης.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. Γενική Γραμματεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδος (Γ.Γ.Ε.Σ.Υ.Ε.), Διαθέσιμο στη: www.statistics.gr (Ημερομηνία πρόσβασης 27/6/2009).