Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Βελτιστοποίηση της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων σε νησιά του Αιγαίου

Κωνσταντοπούλου Φλώρα

Επιβλέπων Καθηγητής: Π. Γκίκας, Επ. Καθ. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Χανιά, Σεπτέμβριος 2012

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. **Πέτρο Γκίκα**, Επίκουρο Καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης, που συνέβαλε στην υλοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αλλά και για την πολύτιμη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. **Λάζαρο Παπαγεωργίου** και τον διδακτορικό φοιτητή **Songsong Liu** από το Centre for Process Systems Engineering, Department of Chemical Engineering στο University College London, London, United Kingdom για την εξαιρετική συνεργασία μας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διευθυντή μου κ. **Κώστα Μπάτο** για την υποστήριξη και την υπομονή του για όλες τις μέρες που απουσίασα από την εργασία μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την **οικογένειά** μου, για την ηθική υποστήριξη και την αγάπη τους καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Την αφιερώνω στο γιο μου, **Απόστολο**, που πρόσφατα συμπλήρωσε το πρώτο έτος της ζωής του.

Περιεχόμενα

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ 1

2 ΠΡΟΛΟΓΟΣ 3

3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ 5

3.1 Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων 5

3.2 Ανάγκη Επαναχρησιμοποίησης Ανακτημένου Νερού 7

3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα από τη Χρήση Ανακτημένου Νερού . 8

3.4 Συμβατικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων 10

3.4.1 Στάδια Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων 10

3.4.2 Τεχνικές Απαιτήσεις για την Επαναχρησιμοποίηση Ανακτημένου Νερού .. 11

3.5 Συστήματα Ανάκτησης Νερού από Υγρά Αστικά Απόβλητα και από Θαλασσινό Νερό 14

3.5.1 Δορυφορικά και Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων 14

3.5.2 Τεχνολογίες ανάκτησης νερού από εκροές επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων 22

3.5.3 Τεχνολογίες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού 26

4 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ 27

4.1 Διεθνείς Κανονισμοί και Ευρωπαϊκές Οδηγίες 27

4.1.1 Διεθνείς Κανονισμοί 28

4.1.2 Ευρωπαϊκές Οδηγίες 28

4.1.3 Νομοθεσία στον Ευρωπαϊκό χώρο 29

4.2 Ανασκόπηση του Νομοθετικού Πλαισίου για τη Χρήση Ανακτημένου Νερού στην Ελλάδα 31

4.2.1 Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση 40

4.2.2 Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων 41

4.2.3 Αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση 41

4.2.4 Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση 41

5 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ 44

5.1 Άρδευση Αγροτικών Περιοχών 44

5.2 Αστική Χρήση 46

5.3 Βιομηχανική Χρήση 47

5.4 Φόρτιση Υπόγειων Υδροφορέων 47

5.5 Δημιουργία Χώρων Αναψυχής 48

5.6 Χρήση Ανακτημένου Νερού για Άμεση Πόση 48

6 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ 50

6.1 Ελλάδα 50
6.2 Κύπρος.....52
6.3 Παραδείγματα σε Ευρωπαϊκές Χώρες.....55
6.4 Παρουσίαση Επιλεγμένων Περιπτώσεων Εφαρμογών Δορυφορικών και Αποκεντρωμένων Συστημάτων 59
6.4.1 Mawson Lakes Recycled Water System 59
6.4.2 Dockside Green..... 60

7 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ, ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ 63
7.1 Εξέλιξη Των Τεχνικών Βελτιστοποίησης.....63
7.2 Δεδομένα και Αποτελέσματα του Μοντέλου 65
7.3 Βασικές Παραδοχές.....65
7.4 Παραδοχές Εκτίμησης Κόστους 66

8 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ 68
8.1 Περιγραφή της Πάρου 69
8.1.1 Υδρολογική Κατάσταση της Πάρου..... 70
8.2 Περιγραφή της Σαντορίνης 71
8.2.1 Υδρολογική Κατάσταση της Σαντορίνης..... 72
8.3 Συνολική Κατανάλωση Νερού Ύδρευσης.....73
8.3.1 Πάρος- Αντίπαρος 73
8.3.2 Σαντορίνη- Θηρασιά 73

9 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ 75
9.1 Υπολογισμός της Θεωρητικής Αστικής Ζήτησης Πόσιμου Νερού.....77
9.1.1 Καταγραφή των Χρηστών Ύδατος..... 77
9.1.2 Μόνιμος πληθυσμός..... 79
9.1.3 Παραθεριστές εξοχικών κατοικιών 81
9.1.4 Τουρισμός 88
9.1.5 Συνολική Αποτίμηση Ζήτησης..... 89
9.2 Εφαρμογή του Πράσινου Σεναρίου.....93
9.3 Σύγκριση της Θεωρητικής Αστικής Ζήτησης με το Διαθέσιμο Δυναμικό Πόσιμου Νερού.....93
9.4 Εκτίμηση των Αναγκών σε Πόσιμο Νερό σύμφωνα με τις Πραγματικές Ανάγκες και την Ποιότητα του Νερού.....94
9.5 Επιτρεπόμενα Σημεία Χωροθέτησης των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Ανάκτησης νερού και Μονάδων Αφαλάτωσης.....97
9.6 Εκτίμηση του Αποχετευτικού Δικτύου, των Σταθμών Άντλησης κ.ά. για τις Ανάγκες του Συστήματος.....99

10 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ....104
10.1 Πάρος και Αντίπαρος.....104

10.1.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων 110
10.2 Σαντορίνη και Θηρασιά 113
10.2.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων 118
11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ .. 120
12 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 121
13 ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ 125
14 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ 125
15 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 125

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

BOD	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο
COD	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο
FC	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια
OF	Επιφανειακής Ροής
RI	Ταχείας διήθησης
SR	Βραδείας εφαρμογής
SS	Αιωρούμενα στερεά
TC	Ολικά κολοβακτηρίδια
TSS	Ολικά αιωρούμενα στερεά
UV	Υπεριώδης ακτινοβολία

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πολλές περιοχές πλέον στον πλανήτη δε διαθέτουν σημαντικούς πόρους γλυκού νερού καθιστώντας ως μόνη βιώσιμη εναλλακτική λύση την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ή την ανάκτηση νερού από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζεται μία προσέγγιση βελτιστοποίησης της ολοκληρωμένης διαχείριση των υδάτινων πόρων, συμπεριλαμβανομένων της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού και της ανάκτησης νερού από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Οι εναλλακτικές δυνατότητες αξιοποίησης ανακτημένου νερού είναι πλέον πολλές: άρδευση αγροτικών περιοχών, αστική- βιομηχανική χρήση, φόρτιση υπόγειων υδροφορέων, δημιουργία χώρων αναψυχής και άλλα με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και οικονομικά οφέλη. Ωστόσο η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψη τους ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς. Στην εργασία αναλύεται το νομοθετικό πλαίσιο αλλά και η υφιστάμενη εμπειρία στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες χώρες.

Το αναμενόμενο όφελος είναι άμεσα συσχετισμένο με τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και επομένως η σκοπιμότητα της επαναχρησιμοποίησης θα πρέπει να αξιολογείται σε συνάρτηση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής. Τα προτεινόμενο **μοντέλο μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP)** λαμβάνει υπόψη τους διαφορετικούς Δήμους των νησιών, τις επακόλουθες τοπικές ανάγκες χρήσης νερού (συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας του νερού), την παραγωγή υγρών αποβλήτων, καθώς και γεωγραφικές πτυχές.

Οι αποφάσεις βέλτιστης διαχείρισης των υδάτινων πόρων, συμπεριλαμβανομένης της βέλτιστης χωροθέτησης και δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης, των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και ανάκτησης νερού, καθώς και της ανάλογης υποδομής για την μεταφορά του αφαλατωμένου νερού, των υγρών αποβλήτων και του ανακτημένου νερού, λαμβάνονται με την ελαχιστοποίηση του συνολικού ετήσιου κεφαλαίου και λειτουργικού κόστους λαμβάνοντας υπόψη κάποιες βασικές παραδοχές.

Τέλος, η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόζεται σε τέσσερα ελληνικά νησιά του Αιγαίου: **Πάρο- Αντίπαρο** και **Σαντορίνη- Θηρασιά**, ως περιπτώσεις εφαρμογής και ανάλυσης σεναρίων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη λύση που δίνεται από το προτεινόμενο μοντέλο παρέχει σημαντικό όφελος σε σύγκριση με τις λύσεις των άλλων σεναρίων. Συγκεκριμένα, σε Πάρο- Αντίπαρο, η παραγόμενη βέλτιστη λύση δίνει ένα ετήσιο συνολικό κόστος των 1.264.964 ευρώ συμπεριλαμβανομένου 4 μονάδες αφαλάτωσης, 8 εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και 7 εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού. Ενώ, σε Σαντορίνη- Θηρασιά, η βέλτιστη λύση δίνει ένα ετήσιο συνολικό κόστος των 2.150.574 ευρώ

συμπεριλαμβανομένου 3 μονάδες αφαλάτωσης, 9 εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και 9 εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού.

2 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Χώρες σε όλον τον κόσμο αντιμετωπίζουν προκλήσεις παροχής πόσιμου νερού λόγω της αυξανόμενης ζήτησης, της ξηρασίας, της μείωσης και της ρύπανσης των υπόγειων νερών και της εξάρτησης σε παραδοσιακές πηγές νερού. Πρόσφατες μελέτες, αλλά και εμπειρία, έχουν δείξει ότι η επαναχρησιμοποίηση εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να συμβάλει στην άμβλυνση του πιο πάνω προβλήματος. Παρόλο αυτά, τα σημερινά επίπεδα επαναχρησιμοποίησης αποτελούν ένα μικρό μέρος του συνολικού όγκου των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων που παράγονται ενώ οι δυνατότητες είναι μεγάλες.

Η προσέγγιση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων αφορά πρόληψη της ρύπανσης, μείωση των καταναλισκομένων αγαθών, ανακύκλωση και χρήση βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών. Κάτω από αυτό το πρίσμα, οποιαδήποτε σύγχρονη μελέτη συνολικής διαχείρισης των υδατικών πόρων μιας περιοχής θα πρέπει να περιλαμβάνει και την αξιοποίηση του ανακτημένου νερού.

Ειδικά στα νησιά του Αιγαίου, τελευταία παρατηρείται αύξηση της ζήτησης νερού κυρίως λόγω της αύξησης του εποχιακού πληθυσμού και λόγω της παράλληλης αύξησης της κατά κεφαλήν κατανάλωσης νερού. Παράλληλα παρατηρείται αποχή των κατοίκων των νησιών από τις παραδοσιακές μεθόδους συλλογής και αποθήκευσης των όμβριων υδάτων, ώστε αυτά να χρησιμοποιηθούν κατά τους θερινούς μήνες, με παράλληλη απαίτηση για παροχή νερού από την πολιτεία σε επιδοτούμενες τιμές. Η επάρκεια νερού σήμερα είναι ένα θέμα που προβληματίζει ολοένα και περισσότερες περιοχές που δεν είχαν φαινόμενα λειψυδρίας. Οι ανακοινώσεις για την κλιματική αλλαγή και τα αναμενόμενα φαινόμενα λειψυδρίας που πρόκειται να έλθουν ως επακόλουθο, έχουν δημιουργήσει ένα κλίμα απαισιοδοξίας και φόβου στο ευρύ κοινό.

Διάφορες λύσεις έχουν προταθεί για την κάλυψη της ζήτησης νερού στα νησιά του Αιγαίου, μεταξύ των οποίων είναι η μεταφορά νερού από την ηπειρωτική χώρα ή από μεγάλα νησιά πού έχουν σχετικά πλεονάσματα νερού (κυρίως η Ρόδος), η αφαλάτωση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού και η ανάκτηση νερού από υγρά αστικά απόβλητα. Είναι βέβαιο, ότι η βέλτιστη λύση θα είναι ένα μείγμα των διαφόρων πιθανών τεχνολογιών. Η βέλτιστη λύση πρέπει να λάβει υπόψη όσο δυνατό περισσότερους παράγοντες και να παρέχει νερό με ασφάλεια στο χαμηλότερο δυνατό κόστος. Στη συγκεκριμένη εργασία θα διερευνηθεί η βέλτιστη διαστασιολόγηση και χωροθέτηση εγκαταστάσεων ανάκτησης νερού (από τη θάλασσα ή από εκροές εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών ασικών αποβλήτων), καθώς και των δικτύων ύδρευσης, άρδευσης και αποχέτευσης. Η βελτιστοποίηση της τοποθεσίας και της δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους που περιλαμβάνει το κόστος επένδυσης αλλά και λειτουργίας για τις μονάδες αφαλάτωσης, μονάδες επεξεργασίας και ανάκτησης νερού, των δικτύων νερού, των σταθμών άντλησης και των δεξαμενών αποθήκευσης.

Η παρούσα εργασία θα εξετάσει την εφαρμογή της μεθοδολογίας στα γειτονικά νησιά Πάρος- Αντίπαρος και Σαντορίνη- Θηρασιά. Τα οφέλη επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού περιλαμβάνουν την εξασφάλιση πόσιμου νερού μόνο για τις χρήσεις που πραγματικά απαιτούν ποιότητα πόσιμου νερού ώστε να μη γίνεται σπατάλη αυτού. Οι λοιπές χρήσεις θα χρησιμοποιούν πλέον το ανακτημένο νερό. Ειδικά στις νησιωτικές περιοχές όπου γίνεται υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων που οδηγούν στην υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα και στην υφαλμύρωσή του είναι απαραίτητη μια εναλλακτική πηγή νερού. Επίσης, οι σχετικοί Δήμοι θα έχουν πρόσβαση σε μεγάλες ποσότητες νερού κατάλληλου για άρδευση και θα μπορέσει να δρομολογήσει νέες περιβαλλοντικές δραστηριότητες, δηλαδή να δημιουργήσει νέα πάρκα και περιοχές πρασίνου που δεν θα κινδυνεύουν να ερημώσουν λόγω της ενδεχόμενης μελλοντικής έλλειψης νερού. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η χρήση του ανακτημένου νερού σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, προληπτική άρδευση περιοχών για διατήρηση υγρασίας και συνεπώς μείωσης του κινδύνου θερινών πυρκαγιών, κλπ.

3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα Υγρά Αστικά Απόβλητα στα νησιά προέρχονται από οικίες και μικρά καταστήματα και περιέχουν:

- Νερό σε ποσοστό μεγαλύτερο του 99%.
- Διάφορα στερεά (οργανικά απεκκρίματα, άμμος, φερτά υλικά, σκωρίες, μικρού μεγέθους αιωρούμενα στερεά, άλλα).
- Οργανικές ουσίες (πρωτεΐνες, ζωικά και φυτικά λίπη, υδατάνθρακες...).
- Παθογόνους μικροοργανισμούς που προέρχονται από τις καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου.
- Τοξικές ενώσεις για όλες τις μορφές ζωής (εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα, αντιβιοτικά, φαρμακευτικές ουσίες).
- Ανόργανα συστατικά (άζωτο, φωσφόρος), ενώσεις θείου, βαριά μέταλλα.
- Διάφορα άλλα συστατικά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις.

Το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων μετράται συνήθως ως COD, BOD ή TOC. Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) είναι η παράμετρος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων και των ρυπασμένων νερών. Αντιστοιχεί στην ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων οργανικών ουσιών. Η ταχύτητα της βιολογικής αυτής οξείδωσης εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης που περιέχεται στο προς εξέταση δείγμα.

Τα αστικά λύματα περιέχουν κυρίως υδατάνθρακες π.χ. κυτταρίνη, σάκχαρα, άμυλο, καθώς επίσης και αζωτούχες (ουρία, πρωτεΐνες κ.λ.π.) και θειούχες ενώσεις. Οι περισσότερες απ' αυτές τις ουσίες κατά την βιολογική οξείδωση διασπώνται σε άλλες απλούστερες και δίνουν ανάλογα προϊόντα όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO2), αμμωνία (NH3) και νερό (H2O). Οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις είναι συνυφασμένες με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου, η οποία λαμβάνεται σαν μέτρο της οργανικής ρύπανσης των νερών. Για θερμοκρασία 20oC απαιτούνται περίπου 20 ημέρες για να ικανοποιηθούν τα 95-99 % του ολικού BOD. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός του BOD γίνεται για διάστημα επώασης πέντε (5) ημερών (BOD5).

Το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση μιας ποσότητας οργανικών ουσιών μπορεί να μετρηθεί και με χημικές μεθόδους. Στην περίπτωση αυτή ονομάζεται Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο και συμβολίζεται ως COD. Με τον όρο COD εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα (CO2) και νερό (H2O). Η οξείδωση αφορά το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο, όπως είναι το διχρωμικό κάλιο.

Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημά της αφού ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD5, η οποία διαρκεί 5 ημέρες. Το μειονέκτημα όμως είναι ότι με το COD μετριέται όχι μόνο η βιοδιασπάσιμη αλλά και η μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Συνεπώς, η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιο τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD5 όταν πρόκειται για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα τυπικά αστικά λύματα. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg (O2)/lt. Το COD είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD5 και για τα αστικά λύματα ο λόγος COD / BOD5 κυμαίνεται μεταξύ 1,2 - 1,5.

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) αποτελεί μια άλλη παράμετρο μέτρησης (έκφρασης) του οργανικού φορτίου. Είναι ένα μέτρο κατάλληλο για μετρήσεις μικρών συγκεντρώσεων οργανικής ύλης που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα την παραγωγή πόσιμου νερού. Η ανάλυση του TOC έχει το πλεονέκτημα ότι ολοκληρώνεται σε 5 με 10 λεπτά. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg (Corganic)/lt.

Εάν ο λόγος BOD/COD για ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα είναι ίσος με 0,5 ή μεγαλύτερος, τότε τα απόβλητα θεωρούνται ότι είναι εύκολα επεξεργάσιμα με βιολογικές μεθόδους. Εάν ο λόγος είναι μικρότερος από 0,3, τότε τα απόβλητα μπορεί να περιέχουν ορισμένα τοξικά στοιχεία, ενώ ταυτόχρονα προσαρμοσμένοι μικροοργανισμοί απαιτούνται για τη σταθεροποίησή τους. Ο αντίστοιχος λόγος BOD/TOC για ανεπεξέργαστα απόβλητα ποικίλλει από 1,2 έως 2,0.

Τα υγρά αστικά απόβλητα που δεν έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία ή έχουν επεξεργαστεί πλημμελώς δύναται να προκαλέσουν ρύπανση στον υδάτινο αποδέκτη (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια), στο έδαφος ή στα υπόγεια νερά:

- Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται στα υγρά απόβλητα προέρχονται από απεκκρίσεις ανθρώπων ή ζώων που έχουν προσβληθεί από μολυσματική ασθένεια ή είναι φορείς αυτής. Διακρίνονται τέσσερις γενικές κατηγορίες παθογόνων μικροοργανισμών, τα βακτήρια, τα πρωτόζωα, οι έλμινθες (σκουλήκια) και οι ιοί. Η συγκέντρωση ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων χρησιμοποιείται για την μικροβιακή και μολυσματική αξιολόγηση των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ή του ανακτημένου νερού. Η παρουσία ιών, αν και καθοριστική γαι την ποιότητα του ανακτημένου νερού, μέχρι σήμερα δεν λαμβάνεται υπόψη.
- Ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που παραμένουν στα υγρά αστικά απόβλητα είναι δυνατόν να προκαλέσουν υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο αποδέκτη (φαινόμενο του ευτροφισμού).

Πέρα από τον έλεγχο για τη ρύπανση που προκαλείται από τις κλασσικές παραμέτρους (BOD, COD, TSS, N, P, μέταλλα κ.λ.π.), απαιτείται έλεγχος όλων των τοξικών ουσιών που υπάρχουν στις εκροές των ΕΕΛ. Η προσέγγιση βάσει των βιοχημικών ιδιοτήτων των τοξικών ουσιών αποδείχτηκε ανεπαρκής γιατί δεν μπορούσε να διακρίνει συνεργιστικές επιδράσεις και το βαθμό βιοδιαθεσιμότητας. Με τον τρόπο αυτό

υπολογίζεται η συνολική τοξικότητα του δείγματος που θα εισέλθει σε ένα υδάτινο οικοσύστημα. Τα πειράματα τοξικότητας κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη διάρκειά τους σε βραχεία, ενδιάμεσα και χρόνια. Οι μέθοδοι για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε πειράματα τοξικότητας χρησιμοποιούν συνήθως θαλάσσιους οργανισμούς και περιλαμβάνουν σύντομες αλλά και μακροχρόνιες βιοδοκιμές για την επιβίωση, τη γονιμοποίηση, την ικανότητα αναπαραγωγής, την ανάπτυξη, τα ποσοστά των γενετικών ανωμαλιών κ.λ.π. Η οξεία τοξικότητα εκφράζεται με τη συγκέντρωση που μπορεί να έχει επίδραση στο 50% των οργανισμών.

3.2 ΑΝΑΓΚΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η ανάγκη λοιπόν για την επαναχρησιμοποίηση του νερού μετά την ανάκτησή του από επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα προέρχεται από διάφορους παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους συνοψίζονται πιο κάτω:

- Η νοοτροπία ότι το διαθέσιμο νερό είναι απεριόριστο. Η μη ορθολογιστική διαχείριση του νερού με κύρια χρήση τη γεωργία, οδηγεί στην εξάντληση του διαθέσιμου δυναμικού, ενώ η σχετική νομοθεσία είναι κατά κανόνα ελλιπής. Δεδομένα (υδρολογικά, μετεωρολογικά και άλλα) σχετικά με τη διαθεσιμότητα του νερού είναι πολλές φορές ελλιπή και αναξιόπιστα. Άλλωστε η κλιματική αλλαγή εντείνει το φαινόμενο της μη διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, π.χ. λειψυδρία.
- Οι διαθέσιμες πηγές νερού που δεν μειώνονται μόνο σε ποσότητα αλλά και σε ποιότητα. Η πίεση των υδροφορέων οδηγεί στην παράλληλη υφαλμύρινση του υδροφορέα υποβαθμίζοντας την ποιότητα του νερού. Επίσης, η ανεξέλεγκτη διάθεση ρυπαντικού φορτίου (επεξεργασμένα ή μη υγρά αστικά απόβλητα) οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού στους υδάτινους αποδέκτες.
- Οι προβλεπόμενες αυξημένες ανάγκες νερού με την πάροδο του χρόνου, εν αντιθέσει με τις διαθέσιμες πηγές, οι οποίες τείνουν να μειωθούν από διάφορες αιτίες.

Ειδικά στα νησιά του Αιγαίου, η αύξηση της ζήτησης νερού παρατηρείται κυρίως λόγω της αύξησης του εποχιακού πληθυσμού και της τουριστικής ανάπτυξης. Παράλληλα παρατηρείται αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης νερού με ταυτόχρονη αποχή των κατοίκων των νησιών από τις παραδοσιακές μεθόδους συλλογής και αποθήκευσης των όμβριων υδάτων, ώστε αυτά να χρησιμοποιηθούν κατά τους θερινούς μήνες.

- Ο οικονομικός παράγοντας αφού το κόστος του αφαλατωμένου νερού, το οποίο αν και πόσιμο, είναι σαφώς υψηλότερο από αυτό του ανακτημένου νερού.

Καθώς λοιπόν οι περιβαλλοντικές πιέσεις αυξάνονται και πολλές κοινότητες σ' όλο τον κόσμο προσεγγίζουν ή φθάνουν τα όρια των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού τους, η επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού εμφανίζεται ως μια ελκυστική επιλογή για τη διατήρηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων παρέχουν σήμερα τη δυνατότητα παραγωγής νερού σχεδόν οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας. Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και οικονομικά οφέλη. Ωστόσο η επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό που λαμβάνει υπόψη τους ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς.

Η ανομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων τόσο χωρικά όσο και χρονικά, οδηγεί σε έντονα προβλήματα λειψυδρίας κυρίως κατά τις περιόδους αιχμής της άρδευσης (περίοδος αντίστοιχα κρίσιμη και για άλλες χρήσεις του νερού, όπως η χρήση του στις τουριστικές δραστηριότητες).

Η αυξημένη αυτή ζήτηση νερού καλύπτεται ολοένα και περισσότερο με τη χρήση υπόγειων υδάτων, η οποία σήμερα καλύπτει πάνω από το 40% των αναγκών σε νερό προοριζόμενο για άρδευση στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας (Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικής Εκτίμησης του Προγράμματος Αγροτικής Ανάπτυξης 2007- 2013). Στις παράκτιες περιοχές, η υπεράντληση υπόγειου ύδατος έχει οδηγήσει στη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους υδροφορείς. Το ανακτημένο νερό λοιπόν αποτελεί μία βοηθητική πηγή που μπορεί να διαφυλάξει πολύτιμο πόσιμο νερό και να συμβάλει στη βιώσιμη διαχείριση νερού και ενέργειας: ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για χρήση υπόγειου ή αφαλατωμένου νερού. Επίσης, σε περιοχές όπου οι παραδοσιακές πηγές είναι ανεπαρκείς, το ανακτημένο νερό μπορεί να είναι αυτό με το μικρότερο κόστος αφού βρίσκεται κοντά στην περιοχή που θα επαναχρησιμοποιηθεί.

Η επαναχρησιμοποίηση νερού έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα, τα κυριότερα από τα οποία συνοψίζονται πιο κάτω:

- Αυξάνει τις διαθέσιμες ποσότητες πόσιμου νερού, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που δεν απαιτούν πόσιμη ποιότητα νερού, αποδεσμεύοντας τις σχετικές ποσότητες πόσιμου νερού.
- Αυξάνει τη γεωργική απόδοση λόγω:
  - επιμήκυνσης της καλλιεργητικής περιόδου
  - προσφερόμενης δυνατότητας για πολλαπλές καλλιεργητικές περιόδους
  - αύξησης της παραγωγικότητας ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης
  - σταδιακής βελτίωσης της γονιμότητα του εδάφους με την τακτική προσθήκη οργανικής ύλης
- Προσφέρει τη δυνατότητα εμπλουτισμού των υπόγειων αποθεμάτων νερού. Η διείσδυση ανακτημένου νερού στον υδροφορέα και η ανάμειξή του με φυσικό υπόγειο νερό βελτιώνει κατά τεκμήριο την ποιότητα των υπόγειων υδάτων.

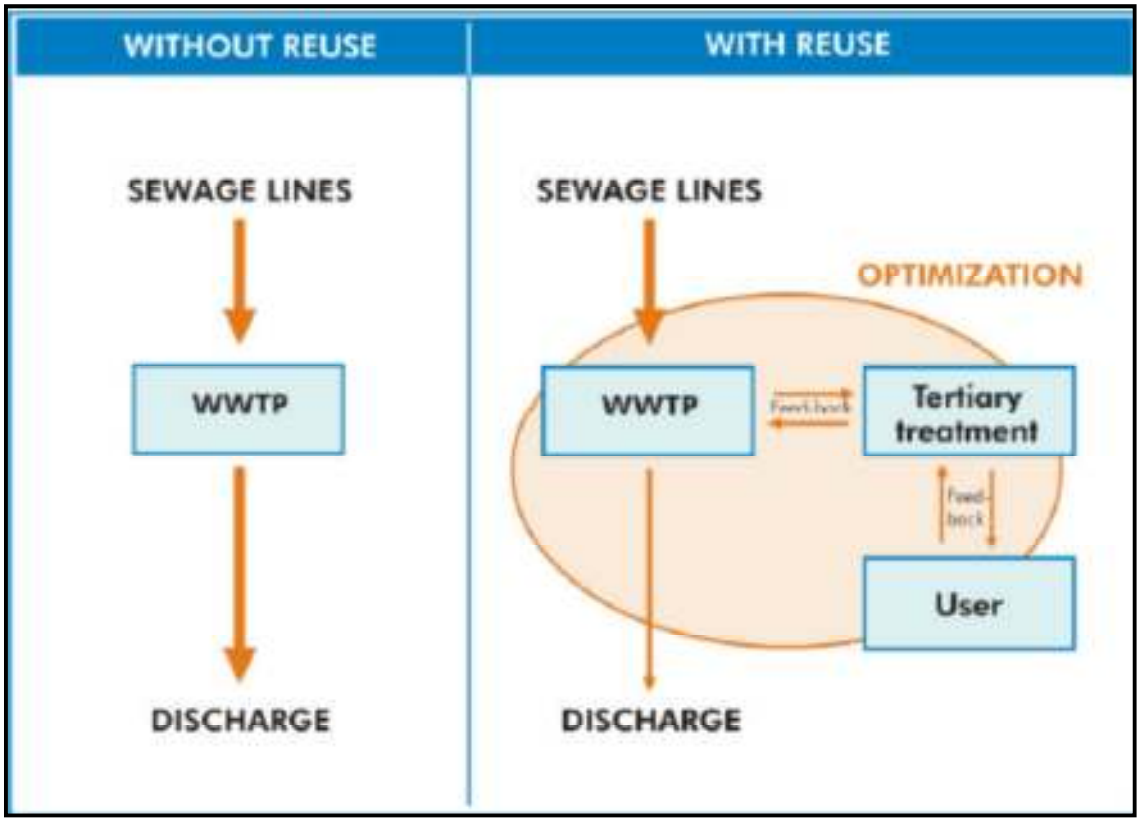
- Αποτελεί σημαντική επιπρόσθετη επεξεργασία του αρδευτικού νερού με την εφαρμογή του στο έδαφος το οποίο δρα ως βιολογικός αντιδραστήρας προστατεύοντας τον τελικό αποδέκτη.
- Εξοικονομεί υδατικούς πόρους μέσω της πρόληψης ρύπανσης των επιφανειακών νερών λόγω αποφυγής διάθεσης υγρών αποβλήτων σε αυτά.
- Αναβαθμίζει το αστικό περιβάλλον εφόσον χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ζωνών πρασίνου.
- Δεν απαιτούνται νέα έργα υποδομής μεταφοράς πόσιμου νερού (μικρότερο κόστος επένδυσης).
- Υπάρχει συνεχής παροχή ανακτημένου νερού, καθώς αστικά λύματα παράγονται καθ όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Πρέπει όμως να είμαστε επιφυλακτικοί στη χρήση του ανακτημένου νερού καθώς δύναται να προκληθούν προβλήματα στο περιβάλλον, όπως:

- Η αλατότητα του νερού μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στο έδαφος (αλκαλίωση) και είναι ανάγκη η λήψη κατάλληλων μέτρων.
- Η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής.

Επίσης, η χρήση του ανακτημένου νερού είναι δυνατόν, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να προκαλέσει προβλήματα υγείας από τους παθογόνους οργανισμούς που δεν έχουν απομακρυνθεί από τη διαδικασία επεξεργασίας. Αυτό το «μειονέκτημα» άλλωστε είναι και ο φόβος των πολιτών. Οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία μπορούν να εξαλειφθούν ή να περιορισθούν σε αποδεκτά επίπεδα μέσω της μείωσης του πληθυσμού των παθογόνων από την εφαρμογή κατάλληλων σχημάτων επεξεργασίας, της υιοθέτησης πρακτικών που μειώνουν την έκθεση στα παθογόνα, όπως η άρδευση καλλιεργειών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά και η άρδευση χώρων πρασίνου με συχνή πρόσβαση από το κοινό πρέπει να εφαρμόζεται το υψηλότερο δυνατό επίπεδο επεξεργασίας για την εξάλειψη των κινδύνων δημόσιας υγείας. Σε περιπτώσεις όπου η χρήση ανακτημένου νερού συνεπάγεται χαμηλή έκθεση ομάδων πληθυσμού, όπως η άρδευση καλλιεργειών, που τα προϊόντα τους δεν καταναλώνονται από τον άνθρωπο ή υφίστανται διεργασία πριν την κατανάλωσή τους χαμηλότερα επίπεδα επεξεργασίας μπορούν να υιοθετηθούν.

Η ανάκτηση του νερού πρέπει κατ' ουσία να θεωρείται ως διεργασία παραγωγής νερού παρά ως επέκταση της διεργασίας επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων. Υφιστάμενες τεχνολογίες επιτρέπουν την παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακτημένου νερού, κατάλληλο σχεδόν για κάθε χρήση. Επίσης, η ανάκτηση του νερού αναγκάζει τα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων να λειτουργούν με μεγαλύτερη αξιοπιστία, όπως απεικονίζεται στο **Σχήμα 3.1**. Μεταξύ άλλων η ανάκτηση νερού ουσιαστικά μειώνει την ποσότητα των προς διάθεση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αφού το ανακτημένο πλέον νερό οδηγείται στους χρήστες για επαναχρησιμοποίηση.



Σχήμα 3.1 Λειτουργία συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων

(χωρίς και με επαναχρησιμοποίηση ανακτημένου νερού)

3.4 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

3.4.1 Στάδια Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Για να καταστεί δυνατή η διάθεση των υγρών αστικών αποβλήτων στο περιβάλλον χωρίς προβλήματα στον τομέα της δημόσιας υγείας ή της υποβάθμισης των αποδεκτών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, είναι απαραίτητη η κατάλληλη επεξεργασία τους.

Τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων περιγράφονται περιληπτικά στον **Πίνακα 3.1**. Η επεξεργασία των λυμάτων επιτυγχάνεται με συνδυασμό των φυσικοχημικών και βιολογικών μεθόδων που αναλύονται.

Στάδιο	Περιγραφή – Στόχος
Προ - Επεξεργασία	Γίνεται απομάκρυνση των ογκωδών υλικών (ξύλα, πέτρες, πλαστικά, πανιά, κ.τ.λ.) με τη βοήθεια σχαρών. Ακολουθεί η εξάμμωση, δηλαδή η απομάκρυνση υλικών μεγάλου ειδικού βάρους (άμμος, χαλίκια, σκωρία...) μέσα σε ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές στις οποίες προκαλείται καθίζηση των υλικών αυτών. Τα ελεύθερα και επιπλέοντα λιπαρά υλικά ξαφρίζονται. Στη διαδικασία αυτή είναι δυνατόν να γίνεται και διοχέτευση αέρα στον πυθμένα των αντίστοιχων δεξαμενών.
Πρωτοβάθμια Επεξεργασία	Κατά τη φυσική πρωτοβάθμια επεξεργασία (καθίζηση) επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των αιωρούμενων οργανικών και ανόργανων στερεών μικρού μεγέθους. Κατά τη διαδικασία αυτή αποβάλλεται η πρωτοβάθμια λάσπη. Ακολουθεί, αν είναι απαραίτητο, χημική επεξεργασία με καθίζηση για την απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών τα οποία δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση.
Δευτεροβάθμια Επεξεργασία	Σκοπός της δευτεροβάθμιας (ή βιολογικής) επεξεργασίας είναι η περαιτέρω απομάκρυνση οργανικών ουσιών από τα απόβλητα. Χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί σε ειδική δεξαμενή (δεξαμενή αερισμού) οι οποίοι τρέφονται από τις οργανικές ουσίες καταναλώνοντας οξυγόνο το οποίο προστίθεται στα υπό επεξεργασία υγρά αστικά απόβλητα από ειδική διάταξη αερισμού. Όταν οι μικροοργανισμοί ευρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα υπό επεξεργασία υγρά αστικά απόβλητα, η διαδικασία είναι γνωστή ως διαδικασία ενεργού ιλύος. Μετά τη δεξαμενή αερισμού ακολουθεί δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν και απομακρύνονται (δευτεροβάθμια λάσπη). Μέρος των μικροοργανισμών επαναφέρεται στη δεξαμενή αερισμού.
Τριτοβάθμια Επεξεργασία	Η τριτοβάθμια επεξεργασία χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών που δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθούν στα προηγούμενα στάδια, όπως άζωτο, φωσφόρος, ενώσεις του αζώτου, αιωρούμενα και διαλυτά στερεά, βαριά μέταλλα και άλλα. Η απομάκρυνση αυτή επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ειδικών φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών. Η τριτοβάθμια επεξεργασία σχεδιάζεται για την απομάκρυνση κάθε φορά μέρους των πιο πάνω αναφερθέντων ουσιών, ανάλογα με τον αποδέκτη διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων ή ανάλογα με τη χρήση αυτών.
Απολύμανση	Έχει σκοπό την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών. Η χλωρίωση είναι από την πιο συνηθισμένη μέθοδο απολύμανσης ενώ χρησιμοποιούνται επίσης η οζόνωση και η εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας.

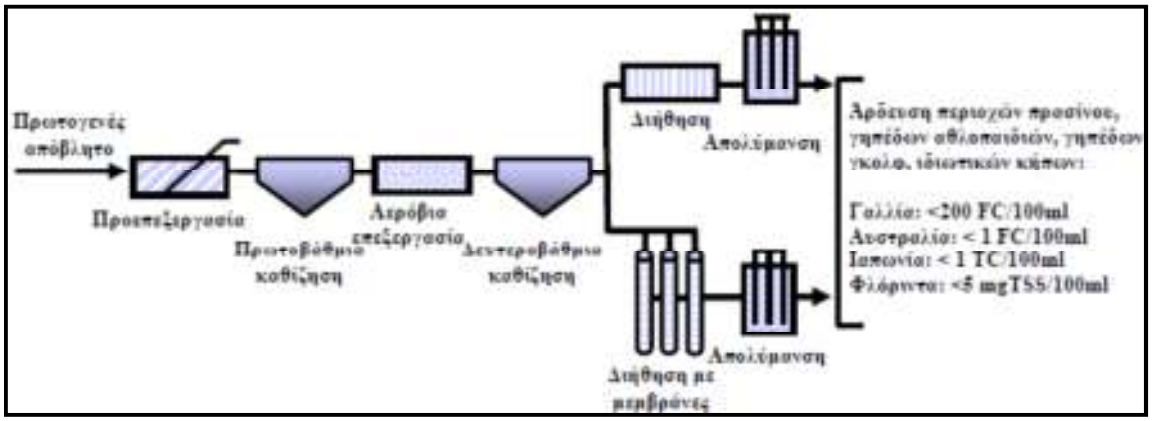
Πίνακας 3.1 Στάδια επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων

3.4.2 Τεχνικές Απαιτήσεις για την Επαναχρησιμοποίηση Ανακτημένου Νερού

Η αποτελεσματική επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων με στόχο την ανάκτηση καλής ποιότητας νερού για επαναχρησιμοποίηση σε αστικές ή αγροτικές εφαρμογές είναι γενικά μια σύνθετη και υψηλού βαθμού δυσκολίας διεργασία. Σε αυτό συντελούν δύο βασικοί παράγοντες:

- το γεγονός ότι τόσο η μικροβιολογική όσο και η χημική σύσταση των υγρών αστικών αποβλήτων δεν είναι καθορισμένες και δύναται να υπόκεινται σε μεγάλες διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα να μην ορίζεται πάντα μονοσήμαντα το είδος της βέλτιστης επεξεργασίας, και
- ότι η κατά κανόνα μεγάλη παροχή των υγρών αποβλήτων προς επεξεργασία απαιτούν την κατασκευή και λειτουργία ενός μεγάλου έργου.
- η απόλυτη απαίτηση για παραγωγή ανακτημένου νερού, το οποίο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια από τους τελικούς χρήστες.

Η επεξεργασία που τελικά επιλέγεται αποτελείται συνήθως από πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία με τελικό στάδιο πριν τη διάθεση, την εφαρμογή κάποιας διεργασίας απολύμανσης. Κατά την τελευταία δεκαετία έχουν ιδιαίτερα αναπτυχθεί οι διεργασίες καθαρισμού με τη χρήση μεμβρανών και πιστεύεται ότι πολύ σύντομα, όταν οι τεχνολογίες αναπτυχθούν περαιτέρω, θα είναι εφικτή η παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακτημένου ύδατος προς πόση, σε προσιτό κόστος. Στο **Σχήμα 3.2** εμφανίζεται τυπικό σχήμα ανάκτησης νερού με προορισμό αστικές χρήσεις (Lazarova 2003).

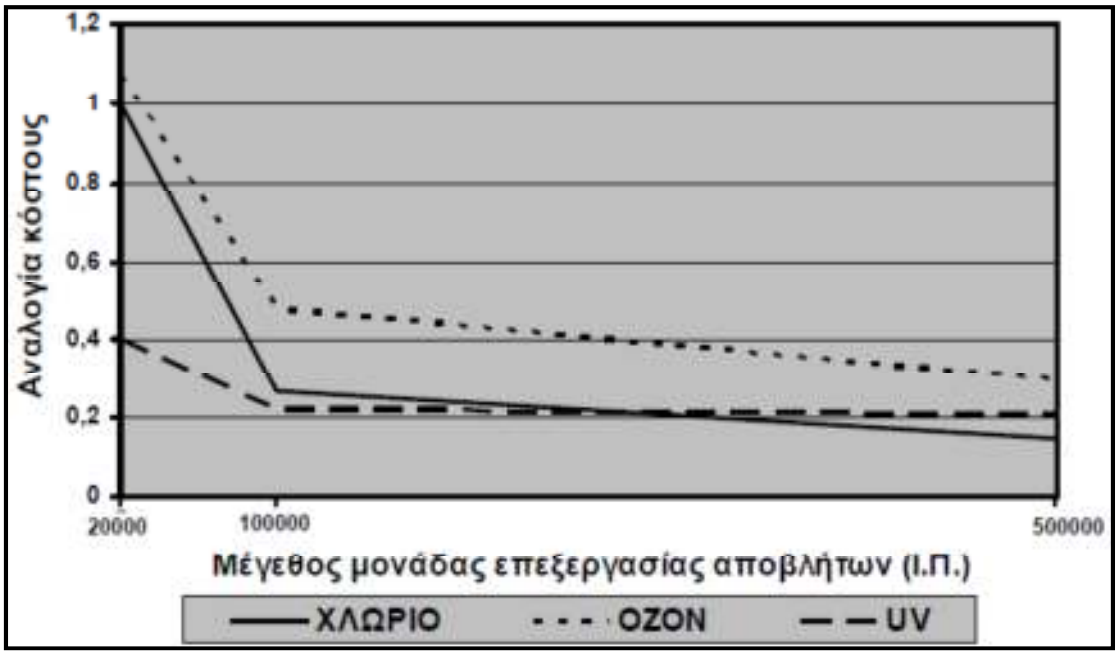


Σχήμα 3.2 Σχήμα ανάκτησης νερού για αστική χρήση

Τρεις κύριες μέθοδοι απολύμανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν: η χλωρίωση, η οζόνωση και χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV). Η κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και απαιτείται τεχνοοικονομική μελέτη για τον προσδιορισμό της πλέον κατάλληλης, η οποία σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να συνίσταται σε κατάλληλο συνδυασμό δύο τεχνολογιών. Στον **Πίνακα 3.2** φαίνονται τα συγκριτικά τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των τριών τεχνολογιών, ενώ στο **Σχήμα 3.3** δίνεται το σχετικό κόστος των τεχνολογιών απολύμανσης ως συνάρτηση του μεγέθους της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΧΛΩΡΙΩΣΗ	ΟΖΟΝΩΣΗ	UV
Βακτηριοκτόνος δράση	**++**	**++**	**++**
Ιοκτόνος δράση	**+**	**+++**	**++**
Επανεμφάνιση βακτηρίων	**+**	**+**	**+**
Απομένουσα τοξικότητα	**+++**	**+**	**-**
Παραπροϊόντα	**+++**	**+**	**-**
Προβλήματα ασφαλείας	**+++**	**++**	**+**
Λειτουργικό κόστος	**+**	**++**	**+**
Κόστος επένδυσης	**+**	**++**	**+**
Ευκολία εγκατάστασης	**+**	**+**	**++**
Συντήρηση	**++**	**+**	**+++**
Σύστημα ελέγχου	**+**	**++**	**+++**

Πίνακας 3.2 Τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών απολύμανσης (Lazarova 2003)



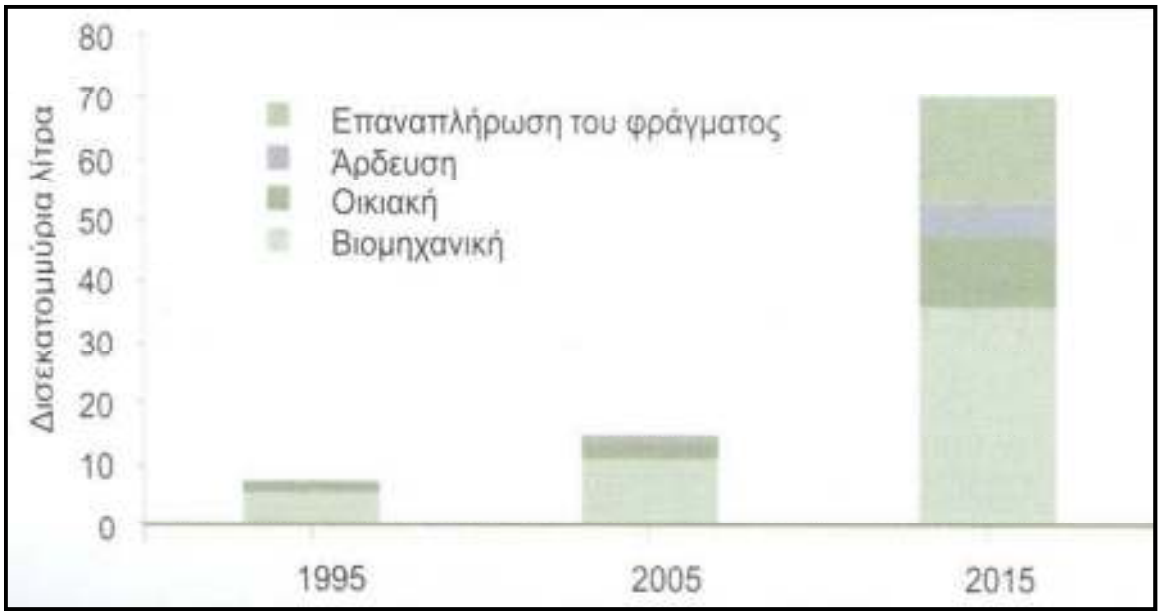
Σχήμα 3.3 Σύγκριση κόστους διαφορετικών μεθόδων απολύμανσης (Lazarova 2003)- (σημείο αναφοράς: το κόστος μονάδας χλωρίωσης 20.000 Ισοδύναμου Πληθυσμού)

3.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

3.5.1 Δορυφορικά και Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται κεντρικές μονάδες επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων όπου τα επεξεργασμένα απόβλητα απορρίπτονται σε παρακείμενο φυσικό αποδέκτη.

Για την αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων θα πρέπει να μην κατατάσσεται πλέον το νερό σε δύο απόλυτα διακριτές κατηγορίες: «πόσιμο ύδωρ» και «υγρό απόβλητο» αφού κατάλληλα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έχουν χρησιμοποιηθεί και για μη πόσιμες χρήσεις όπως ενδεικτικά παρουσιάζεται στο **Σχήμα 3.4** που αφορά την ευρύτερη περιοχή του Sydeny, New South Wales, Αυστραλία όπου εμφανίζεται και η αύξηση χρήσης τα επόμενα χρόνια.



Σχήμα 3.4 Τρέχουσες και προβλεπόμενες ποσότητες ανακτημένου νερού ανά έτος

Στον **Πίνακα 3.3** παρατίθενται διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης νερού με βάση τις σημερινές ποσότητες ανακτημένου ύδατος σε παγκόσμιο επίπεδο το οποίο όμως παραμένει χαμηλό. Τα επόμενα χρόνια όμως αναμένεται να αυξηθούν οι ποσότητες ανακτημένου νερού και η χρήση του σε μεγαλύτερες εφαρμογές.

Όπως φαίνεται από τον **Πίνακα 3.3.**, είναι γεγονός η παραγωγή ανακτημένου νερού για άμεση πόση. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού που μπορεί να ανακτηθεί, με χρήση διαφόρων τεχνολογιών, συνοψίζονται στον **Πίνακα 3.4**.

Εφαρμογή	Παρατηρήσεις
Γεωργικές εφαρμογές	Οι ελεγχόμενες γεωργικές εφαρμογές είναι οι πλέον διαδεδομένες διεθνώς. Παράμετροι όπως η ποιότητα του εδάφους, το είδος των καλλιεργειών, ο τύπος του συστήματος άρδευσης, οι κλιματικές συνθήκες και η ισχύουσα νομοθεσία καθορίζουν τα ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανακτημένου νερού, και ως εκ τούτου το κατάλληλο σύστημα επεξεργασίας. (Lazarova and Asano, 2004; Pettygrove and Asano, 1985).
Άρδευση χώρων πρασίνου	Ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται ευρέως για την άρδευση χώρων πρασίνου, όπως πάρκα, γήπεδα γκολφ, χώροι πρασίνου σε οικιστικές περιοχές, νεκροταφεία και λωρίδες πρασίνου σε δρόμους (Gill and Rainville, 1994).
Βιομηχανικές εφαρμογές	Ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως ύδωρ ψύξης σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, διυλιστήρια πετρελαίου και σε διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες (Asano et al., 1988; Mann and Liu, 1999).
Αστικές χρήσεις διαφορετικές από άρδευση	Ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για εφαρμογές πυροπροστασίας και πυρόσβεσης, ψύξη κλιματιστικών συσκευών, καθαρισμό τουαλετών και ουρητήρων, καθώς και για την πλύση αυτοκινήτων και ρούχων σε βιοτεχνικό επίπεδο. (Lazarova et al., 2003; Yamagata et al., 2002).
Περιβαλλοντικές χρήσεις και εφαρμογές αναψυχής	Περιλαμβάνουν τον εμπλουτισμό υδροβιοτόπων και ποταμών κατά την θερινή περίοδο με νερό, καθώς επίσης την δημιουργία τεχνητών λιμνών για λόγους αναψυχής. (Crites et al., 2006; Crites and Tchobanoglous, 1998)
Φόρτιση υδροφόρου ορίζοντα (έμμεση πόσιμη χρήση)	Ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για την φόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα καθώς και για την αποκατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα από διείσδυση υφάλμυρων υδάτων. (Asano, 1985; Bouwer, 1991)(Asano, 1985; Bouwer, 1991).
Αναπλήρωση επιφανειακών υδάτων(έμμεση πόσιμη χρήση)	Υψηλής ποιότητας ανακτημένο νερό εισάγεται σε δεξαμενές αποθήκευσης πόσιμου ύδατος (π.χ. φράγματα), και αναμειγνύεται με άλλες πηγές πόσιμου ύδατος.
Άμεσες πόσιμες εφαρμογές	Η μόνη τεκμηριωμένη περίπτωση χρήσης ανακτημένου νερού προς άμεση πόση συναντάται στο Windhoek, την πρωτεύουσα της Ναμίμπια, όπου υγρά απόβλητα μετά από τριτοβάθμια επεξεργασία, και αφού διέλθουν από μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης, αναμειγνύονται με επιφανειακά ύδατα και επανατροφοδοτούνται στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης (Harrhoff and Van der Merwe, 1996).

[a] Βασισμένο στη δημοσίευση των Asano et al. (2007)

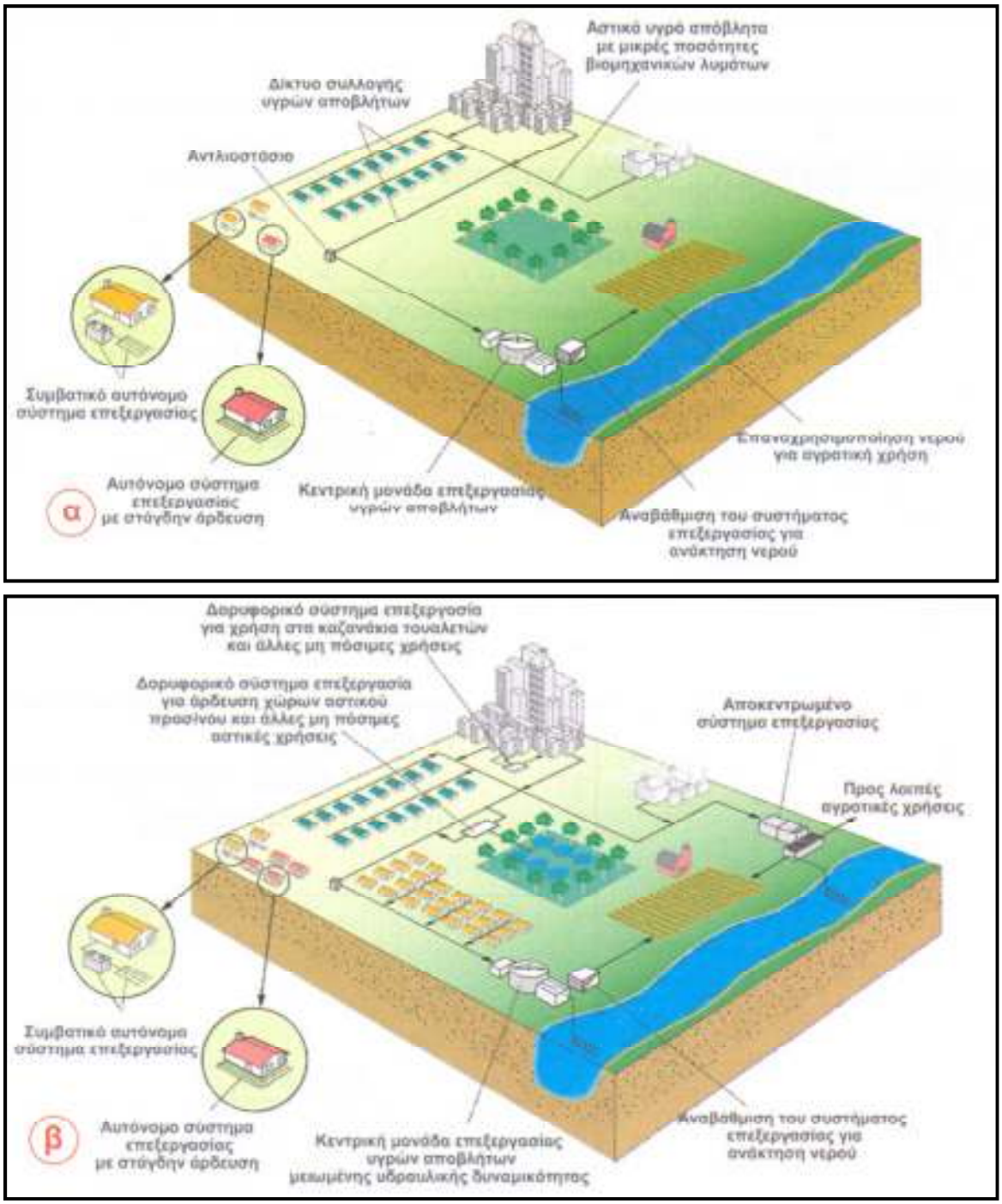
Πίνακας 3.3 Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού

		Εύρος ποιοτικών χαρακτηριστικών μετά από επεξεργασία				
Παράμετρος	Μονάδες	Συμβατική ενεργός ιλύς[β]	Συμβατική ενεργός ιλύς ακολουθούμενη από διήθηση[β]	Ενεργός ιλύς με BNR ακολουθούμενη από διήθηση[γ]	Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών (MBR)	Ενεργός ιλύς με BNR ακολουθούμενη από MF, RO και AOP[δ]
Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)	mg/L	5 - 25	2 - 8	1 - 4	≤1	<0.01
Κολλοειδή στερεά	mg/L	5 - 25	5 - 20	1 - 5	0 - 4	<0.01
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)	mg/L	5 - 30	< 5 - 20	1 - 5	<5 - 10	<1
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	mg/L	40 - 80	30 - 70	20 - 30	<30 - 40	10-50[ε]
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	mg/L	10 - 40	15 - 30	1 - 5	5 - 10	<0.5
Αμμωνιακό άζωτο	mg N/L	1 - 10	1 - 6	1 - 2	<1 - 5	<0.5
Νιτρικό άζωτο	mg N/L	20 - 30	20 - 30	1 - 10	<10[στ]	<0.5
Νιτρώδες άζωτο	mg N/L	0 - ίχνη	0 - ίχνη	0.001 - 0.1	0 - ίχνη	ίχνη
Ολικό άζωτο	mg N/L	15 - 35	15 - 35	2 - 5	<10[ζ]	<1.0
Ολικός φωσφόρος	mg P/L	4 - 10	4 - 8	≤2	4-10	<0.1
Θολερότητα	NTU	2 - 15	0.5 - 4	0.3 - 2	≤1	≤0.1
Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)	μg/L	10 – 40	10 - 40	10 - 20	10 - 20	<10
Μέταλλα	mg/L	1 – 1.5	1 - 1.4	1 - 1.5	ίχνη	<0.005
Τασιενεργά συστατικά	mg/L	0.5 - 2	0.5 - 1.5	0.1 - 1	0.1 - 0.5	<0.01
Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)	mg/L	500 - 700	500 - 700	500 - 700	500 - 700	20-40
Ιχνοστοιχεία[ζ]	μg/L	5 - 40	5 - 30	5 - 30	0.5 - 20	<10
Ολικά κολοβακτηρίδια	No /100 mL	10^4 - 10^5	10^3 - 10^5	10^4 - 10^5	<100	<1
Πρωτόζωα, κύστες και ωοκύστες	No /100 mL	10^1 - 10^2	0 -10	0 -1	0 - 1	<1
Ιοί	PFU/100 mL[η]	10^1 - 10^3	10^1 - 10^3	10^1 - 10^3	10^2 - 10^3	<1

α Βασισμένο στην δημοσίευση των Asano et al. (2007)
β Συμβατική ενεργός ιλύς ορίζεται ως επεξεργασία ενεργούς ιλύος με νιτροποίηση
γ BNR (biological nutrient removal) για την απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου
δ MF: μικροδιήθηση (microfiltration), RO: αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis), AOP: διεργασία προχωρημένης οξείδωσης (advance oxidation process)
ε μg/L
στ Με ανοξικά στάδια
ζ π.χ.: φαρμακευτικά προϊόντα
η PFU: Plaque forming units

Πίνακας 3.4 Τυπικό εύρος ποιοτικών χαρακτηριστικών

Όπως είναι ευνόητο, η χρήση του ανακτημένου νερού εξαρτάται από τεχνοοικονομικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Κατά τεκμήριο, οι κεντρικές μονάδες επεξεργασίας κατασκευάζονται στο υψομετρικά χαμηλότερο σημείο της εξυπηρετούμενης περιοχής (**Σχήμα 3.5**) και επομένως απαιτείται η κατασκευή δαπανηρής υποδομής για την άντληση των ανακτημένων εκροών, καθιστώντας την επαναχρησιμοποίηση νερού αντιοικονομική λύση, ιδιαίτερα αν συνυπολογιστεί και το κόστος συντήρησης και οι ενεργειακές απαιτήσεις για την άντληση. Εναλλακτικά, μέρος των υγρών αποβλήτων μπορεί να υποστεί επεξεργασία στα ανάντη της κεντρικής μονάδας, πλησίον του σημείου παραγωγής και επαναχρησιμοποίησης («δορυφορικά συστήματα» και «αποκεντρωμένα συστήματα»), με σημαντικά οφέλη από τις μειωμένες απαιτήσεις τόσο δικτύου συλλογής όσο και δικτύου διανομής. Στο **Σχήμα 3.5** φαίνονται οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης νερού μετά από επεξεργασία σε δορυφορικά ή αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας. Είναι εμφανείς οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού στη δεύτερη περίπτωση με σημαντικά μειωμένες δαπάνες άντλησης.



Σχήμα 3.5 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

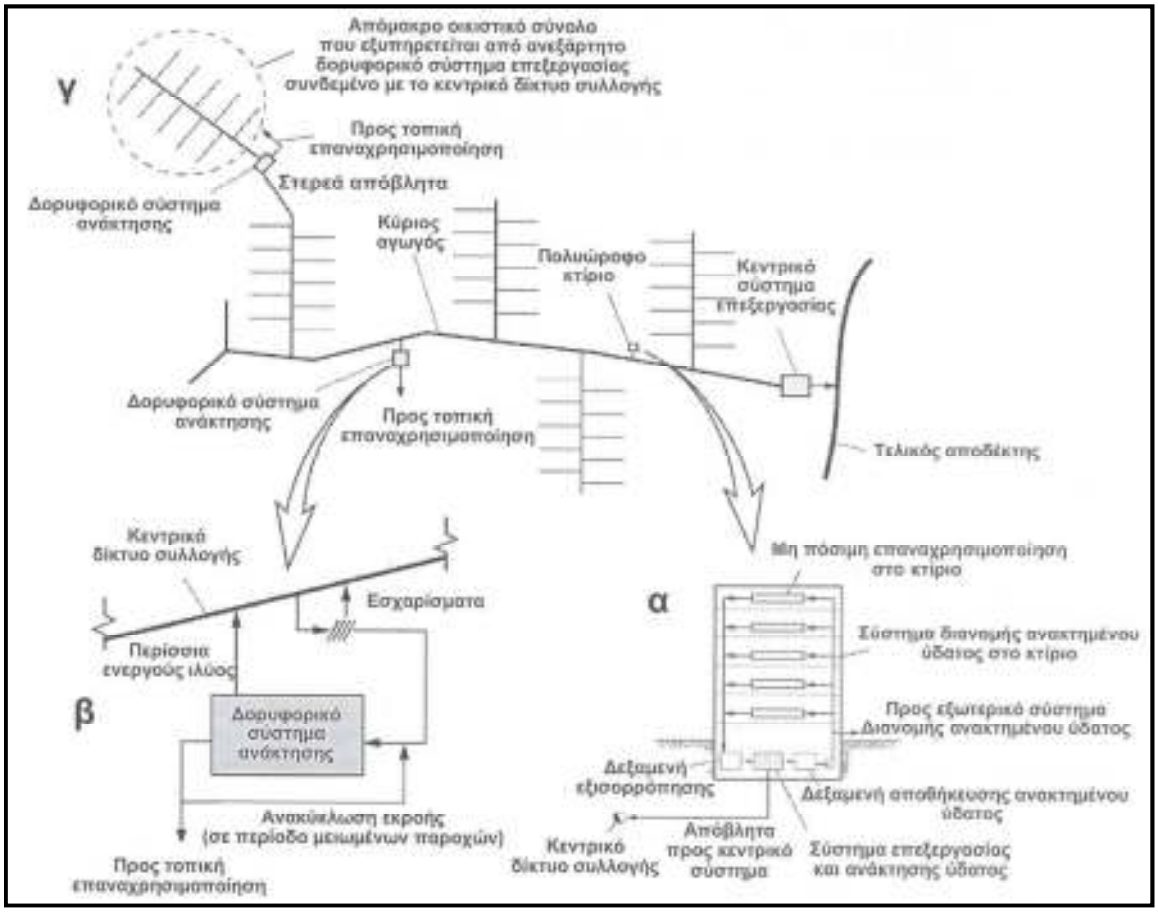
(με χρήση (α) κεντρικού και (β) αποκεντρωμένων ή δορυφορικών συστημάτων)

Είδη δορυφορικών και αποκεντρωμένων συστημάτων και απαιτούμενες υποδομές

Δορυφορικά Συστήματα

Τα δορυφορικά συστήματα επεξεργασίας συχνά κατασκευάζονται στις παρυφές των δικτύων συλλογής υγρών αποβλήτων, και συνήθως δεν περιλαμβάνουν διεργασίες επεξεργασίας στερεών, γιατί τα στερεά προωθούνται προς επεξεργασία στις κεντρικές μονάδες μέσω του δικτύου αποχέτευσης. Επομένως, αυτά τα συστήματα συμβάλλουν στην αποσυμφόρηση των κεντρικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας (**Σχήμα 3.6**), αλλά και του δικτύου συλλογής υγρών αποβλήτων, λόγω της μείωσης των εισροών υγρών αποβλήτων (Gikas and Tchobanoglous, 2009).

Για λόγους μεθοδολογίας, τα δορυφορικά συστήματα επεξεργασίας μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες οι οποίες περιγράφονται στο **Σχήμα 3.6** και αναλύονται πιο κάτω.



Σχήμα 3.6 Δορυφορικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (α) σύστημα εκτροπής, (β) σύστημα απομάστευσης και (γ) περιφερειακό σύστημα)

Συστήματα Εκτροπής

Στα συστήματα εκτροπής (**Σχήμα 3.6α**) τα απόβλητα αναχαιτίζονται πριν εισέλθουν στο σύστημα συλλογής και προωθούνται προς επεξεργασία στο

δορυφορικό σύστημα. Τα επεξεργασμένα απόβλητα στη συνέχεια χρησιμοποιούνται σε καθαρά τοπική χρήση όπως για τον καθαρισμό τουαλετών (κυρίως σε κτίρια επαγγελματικής χρήσης), για άρδευση τοπικού πρασίνου και τη δημιουργία υδατικών χώρων αναψυχής και ως νερό ψύξης σε πολυώροφα κτίρια και εμπορικά συγκροτήματα.

Συστήματα Απομάστευσης

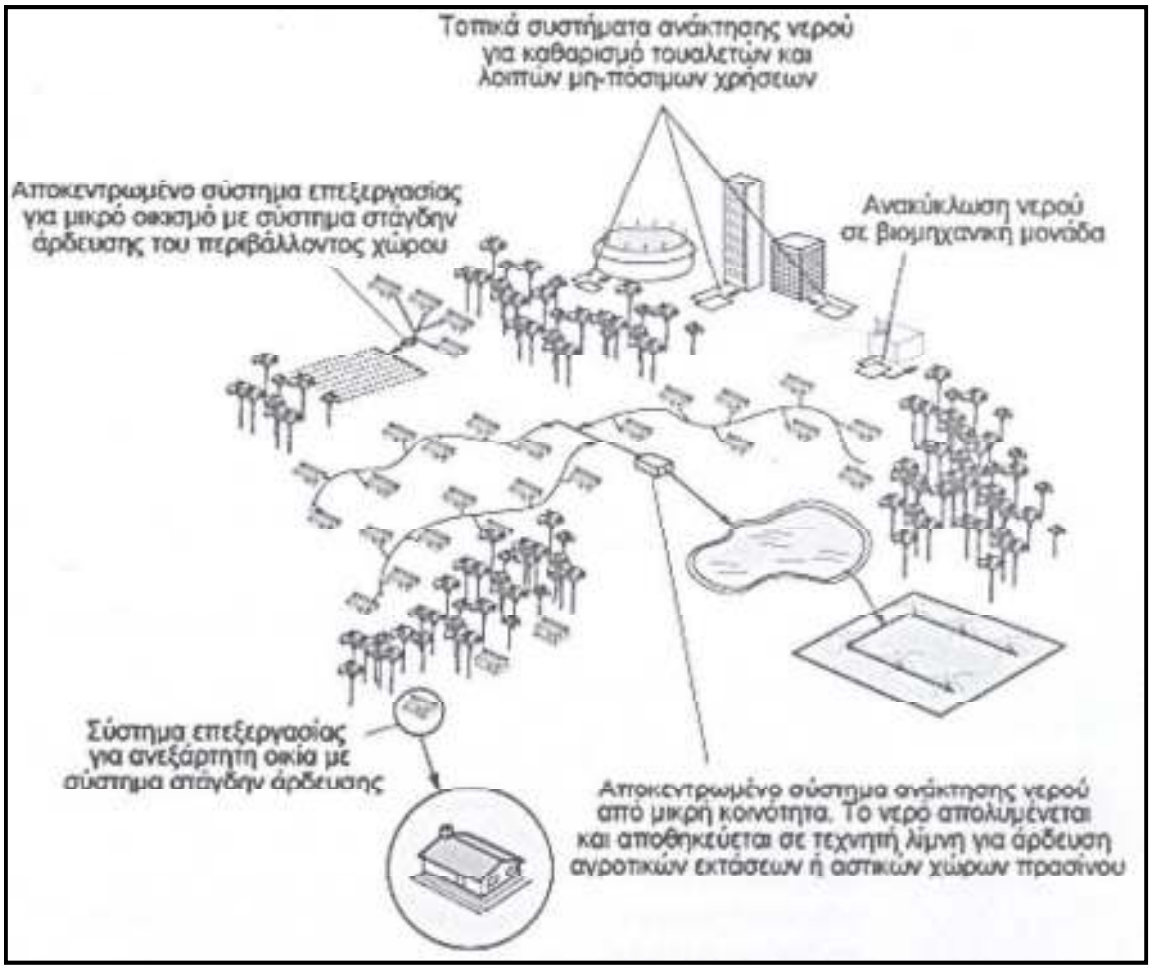
Στα συστήματα απομάστευσης (**Σχήμα 3.6β**) τα υγρά απόβλητα αντλούνται από το δίκτυο συλλογής σε κάποιο σημείο της διαδρομής τους προς το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας. Αυτό το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το νερό σε ανάγκες που παρουσιάζονται κατά τη διαδρομή του νερού όπως διάφορα πάρκα αναψυχής, ζώνες πρασίνου και διαχωριστικές νησίδες στους δρόμους. Επίσης μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για διάφορες χρήσεις σε πολυώροφα και εμπορικά κτίρια..

Περιφερειακά Συστήματα

Τα περιφερειακά συστήματα (**Σχήμα 3.6γ**) κατά κανόνα χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων που παράγονται στις παρυφές του συστήματος συλλογής υγρών αποβλήτων, περιοχές στις οποίες υπάρχουν κατ' εξοχήν αυξημένες ανάγκες χρήσης ανακτημένων αποβλήτων. Τα περιφερικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα ή των επιφανειακών υδάτων, μετά από ανάμειξη με φυσικά νερά. Τέλος σημειώνεται ότι αυτού του τύπου τα συστήματα μπορούν να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην αποσυμφόρηση των κεντρικών μονάδων επεξεργασίας.

Αποκεντρωμένα Συστήματα

Τα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων που παράγονται από μία μεμονωμένη οικία μέχρι ένα σχετικά απομονωμένο οικισμό (**Σχήμα 3.7**). Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει πανεπιστημιουπόλεις, απομονωμένες εμπορικές, βιομηχανικές ή αγροτικές επιχειρήσεις οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό δίκτυο αποχέτευσης ή με κεντρικές μονάδες επεξεργασίας. Ως εκ τούτου τα παραγόμενα στερεά είτε επεξεργάζονται επί τόπου είτε προωθούνται περιοδικά προς επεξεργασία σε κεντρικές μονάδες.



Σχήμα 3.7 Αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Απαιτούμενες Υποδομές

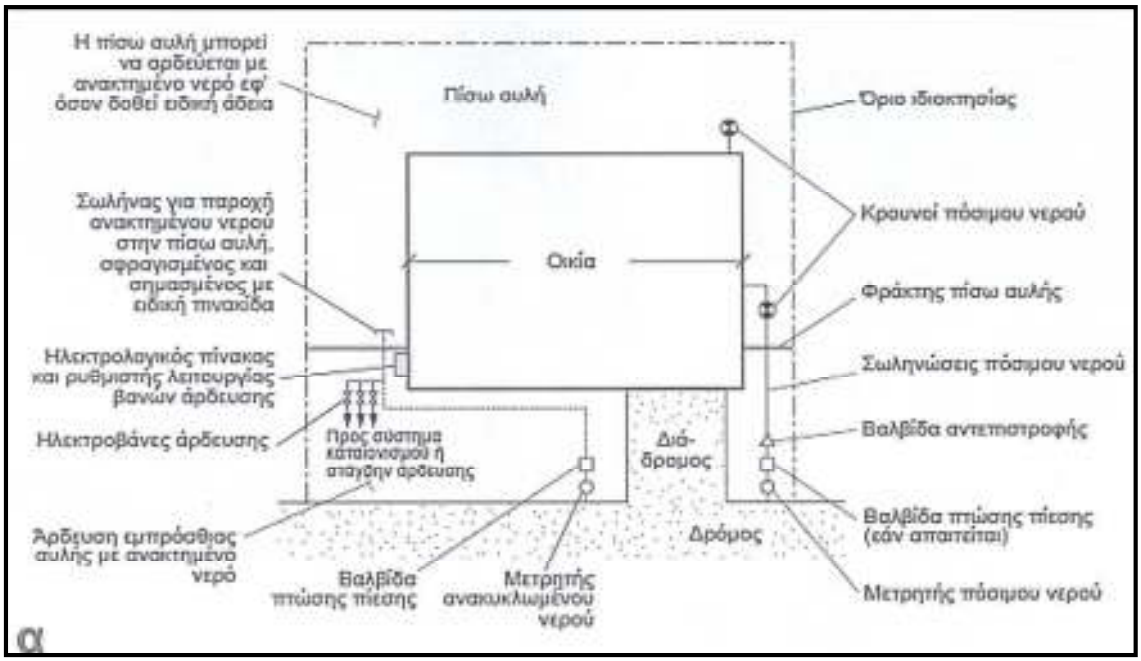
Ανεξάρτητα από τη χρήση του ανακτημένου νερού, οι υποδομές που συνοδεύουν τα δορυφορικά και αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας συνήθως περιλαμβάνουν σύστημα συλλογής και εκτροπής των υγρών αποβλήτων, υποδομές για την εξισορρόπηση της εισροής και εκροής, σύστημα διανομής του ανακτημένου ύδατος και πολύ συχνά διατάξεις αποθήκευσης της εκροής.

Οι απαιτούμενες υποδομές στη λεπτομέρεια τους εξαρτώνται από τις εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης. Στον **Πίνακα 3.5** περιγράφονται οι απαιτούμενες υποδομές για εποχιακές εφαρμογές και για εφαρμογές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους Για παράδειγμα, εποχιακές εφαρμογές, όπως η άρδευση γηπέδων γκολφ, απαιτούν συνήθως τη χρήση διατάξεων αποθήκευσης ανακτημένου ύδατος ώστε να εξασφαλίζεται απρόσκοπτη άρδευση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτείται η κατασκευή διατάξεων αποθήκευσης έτσι ώστε να εξομοιώνονται οι παροχές παραγωγής και ζήτησης ανακτημένου ύδατος σε ημερήσια βάση. Ίσως ο πιο οικονομικός τρόπος είναι η αποθήκευση στον υδροφόρο ορίζοντα, από όπου με άντληση το νερό θα χρησιμοποιείται κατά την εποχή της ζήτησης.

Εποχιακές εφαρμογές	
Γεωργική άρδευση	Αντλιοστάσιο, σωληνώσεις μεταφοράς στο πεδίο εφαρμογής, δίκτυο διανομής, αποθήκευση κατά τους χειμέρινους μήνες
Άρδευση χώρων πρασίνου	Αντλιοστάσιο, διπλό δίκτυο σωληνώσεων (για την παροχή πόσιμου και ανακτημένου νερού)
Άρδευση γηπέδων γκολφ	Αντλιοστάσιο, διπλό δίκτυο σωληνώσεων (για την παροχή πόσιμου και ανακτημένου νερού), τοπική αποθήκευση νερού
Οικιακή επαναχρησιμοποίηση για άρδευση προαυλίων χώρων	Αντλιοστάσιο, διπλό δίκτυο σωληνώσεων (για την παροχή πόσιμου και ανακτημένου νερού), τοπική αποθήκευση νερού
Εμπλουτισμός λιμνών και εφαρμογές αναψυχής	Αντλιοστάσιο, διπλό δίκτυο σωληνώσεων (για την παροχή πόσιμου και ανακτημένου νερού), τοπική αποθήκευση νερού
Εφαρμογές καθ' όλη την διάρκεια του έτους	
Βιομηχανική ψύξη	Αντλιοστάσιο, διάταξη διαχείρισης ύδατος ψύξης
Φόρτιση υδροφόρου ορίζοντα	Αντλιοστάσιο, λίμνες ή φρέατα φόρτισης
Ανάμειξη με επιφανειακά ύδατα (έμμεση πόσιμη επαναχρησιμοποίηση)	Αντλιοστάσιο, σωληνώσεις μεταφοράς στο σημείο εφαρμογής, σύστημα διάχυσης στον αποδέκτη
Καθαρισμός τουαλετών σε επαγγελματικά συγκροτήματα	Διπλό δίκτυο σωληνώσεων, δεξαμενή αποθήκευσης, διάταξη απολύμανσης

Πίνακας 3.5 Απαιτούμενες υποδομές επαναχρησιμοποίησης νερού

Μία σοφή κίνηση που θα έλυνε πολλά προβλήματα στις μεγαλουπόλεις θα ήταν ο σχεδιασμός και η κατασκευή διπλού δικτύου σωληνώσεων στις υπό ανέγερση οικοδομές. Σχετικό παράδειγμα υπάρχει ήδη σε κάποιους οικισμούς στην California των ΗΠΑ, όπου με ανακτημένο νερό αρδεύεται η εμπρόσθια αυλή, ενώ υπάρχει δυνατότητα άρδευσης και της οπίσθιας αυλής μετά από σχετική άδεια. Στο **Σχήμα 3.8** φαίνεται: (α) διάγραμμα σωληνώσεων σε μια ανεξάρτητη οικία, (β) τοποθέτηση διπλού δικτύου σωληνώσεων για παροχή πόσιμου και ανακτημένου νερού και (γ) άποψη συνόλου κατοικιών του οικισμού Serrano Hills.



Σχήμα 3.8 Επαναχρησιμοποίηση νερού στον οικισμό Serrano Hills, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

3.5.2 Τεχνολογίες ανάκτησης νερού από εκροές επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων

Έχουν αναπτυχθεί διάφορές μέθοδοι καθαρισμού των αστικών αποβλήτων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων έτσι ώστε αυτά να αποβάλλονται καθαρά στους φυσικούς αποδέκτες. Παράλληλα θεσπίστηκαν νόμοι σχετικοί με την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανση των νερών και των εδαφών. Αργότερα η αύξηση του πληθυσμού στον πλανήτη μας είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία οικισμών και την εγκατάσταση βιομηχανιών σε περιοχές, όπου η προσφορά νερού ήταν περιορισμένη. Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση του νερού, δηλαδή την ανακύκλωσή του. Οι ανάγκες αυτές προκάλεσαν και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για καλύτερο καθαρισμό τόσο των αστικών λυμάτων όσο και των βιομηχανικών αποβλήτων. Η κάθε μέθοδος ή το

κάθε σύστημα καθαρισμού αποβλήτων περιλαμβάνει διάφορα στάδια (βαθμίδες) κατεργασίας, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3.9**.

Στο στάδιο προκατεργασίας εφαρμόζεται μία ή περισσότερες από τις παρακάτω τεχνικές :

- Μηχανικά φίλτρα
- Αμμοσυλλέκτες
- Λιποσυλλέκτες
- Δεξαμενή ομογενοποίησης και παροχής

Στο στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας αποβλήτων παρατηρούνται οι εξής μέθοδοι:

- Απλή καθίζηση
- Κροκίδωση- συσσωμάτωση
- Εξουδετέρωση
- Επίπλευση

Το δεύτερο στάδιο κατεργασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους και τεχνικές βιολογικού καθαρισμού. Τα υγρά απόβλητα που έχουν καθαριστεί στο πρώτο στάδιο, κατευθύνονται στις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού όπου γίνεται η βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Η βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης γίνεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών που είναι κυρίως βακτήρια, σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες.

Αερόβιος βιολογικός καθαρισμός. Για το σκοπό αυτό παλαιότερα χρησιμοποιούνταν τα βιολογικά διυλιστήρια (βιολογικά φίλτρα), ενώ σήμερα οι δεξαμενές ενεργού ιλύος. Στη μέθοδος της ενεργούς ιλύος οι αερόβιοι μικροοργανισμοί αιωρούνται στο νερό της δεξαμενής. Το οξυγόνο, που απαιτείται για την διάσπαση της οργανικής ύλης, εισάγεται με τουρμπίνες ανάδευσης ή με πεπιεσμένο αέρα. Μετά την βιοαποικοδόμηση τα υγρά απόβλητα οδηγούνται στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου διαχωρίζονται τα υπερκείμενα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα από την κροκιδωμένη μικροβιακή μάζα (ιλύς). Το υπερκείμενο υγρό αποτελεί τα δευτεροβάθμια καθαρισμένα απόβλητα, τα οποία διοχετεύονται στους φυσικούς αποδέκτες.

Αναερόβιος βιολογικός καθαρισμός. Κατά την αναερόβια επεξεργασία της λάσπης κυρίως και σε μερικές περιπτώσεις και του υπερκείμενου υγρού ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίδια) διασπώνται σε διαλύτες ουσίες μικρότερου μοριακού βάρους όπως αμινοξέα και σάκχαρα (φάση υγροποίησης). Στη συνέχεια οι οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε χαμηλά λιπαρά οξέα, σε μια φάση που καλείται όξινη ζύμωση και όπου παρατηρείται σε μεθάνιο 65-70% διοξείδιο του άνθρακα 30-35% και μια μικρή ποσότητα άλλων αερίων, όπως υδρόθειου, μοριακού αζώτου κ.α.

Για τον πλήρη καθαρισμό των υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του νερού, χρησιμοποιούνται ειδικές μέθοδοι και τεχνικές που αποτελούν την τριτοβάθμια κατεργασία και όταν πρόκειται για χρήση αρδευτικού νερού την τεταρτοβάθμια κατεργασία. Οι

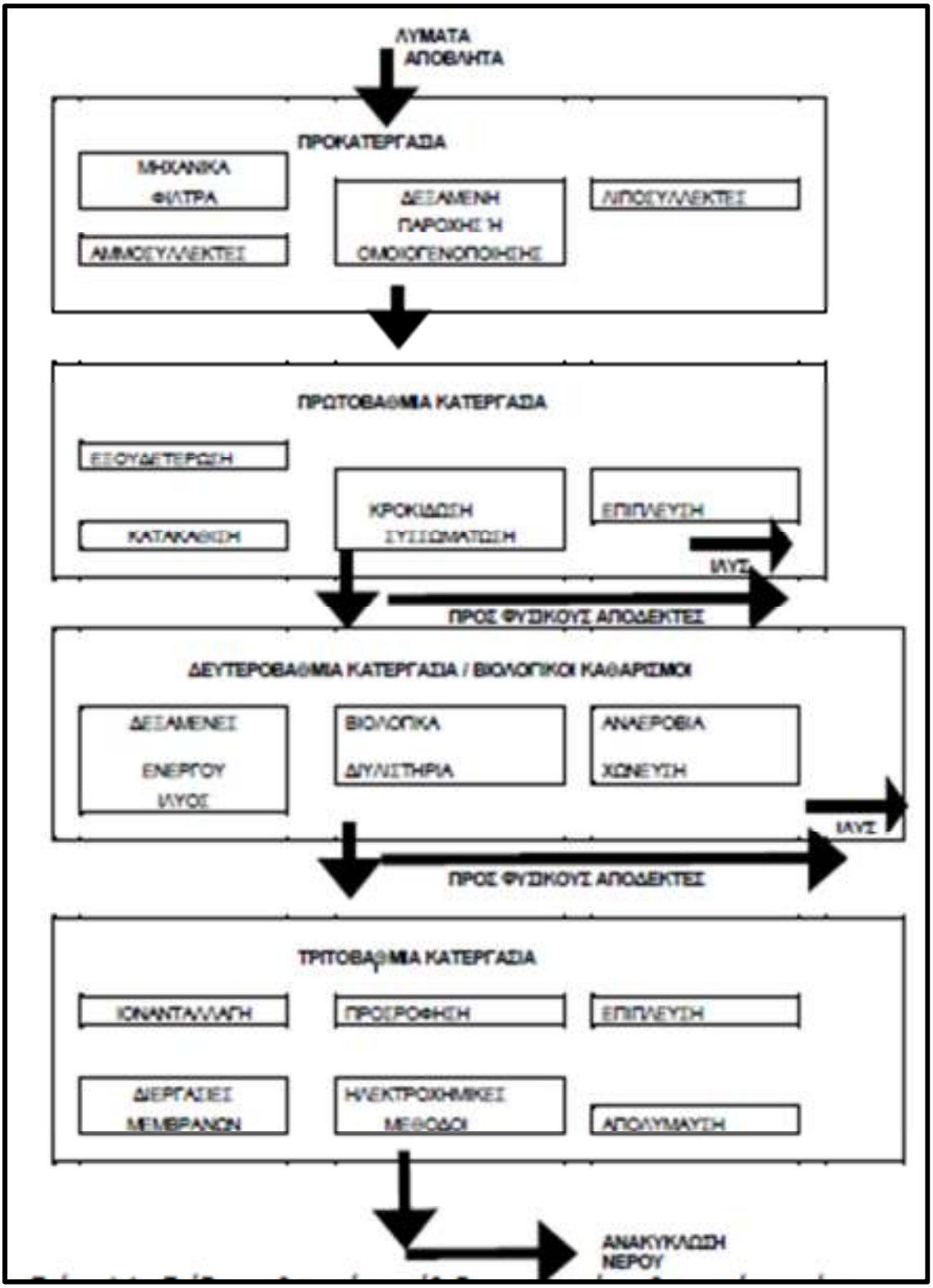
κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην τριτοβάθμια κατεργασία είναι:

- Απομάκρυνση του αζώτου
- Απομάκρυνση του φωσφόρου
- Προσρόφηση
- Ιονανταλλαγή
- Αντίστροφη όσμωση
- Ηλεκτροδιάλυση
- Απολύμανση

Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα περιέχουν μικροοργανισούς και για αυτό το λόγο απολυμαίνονται πριν διατεθούν στον φυσικό αποδέκτη. Βασικός στόχος της απολύμανσης είναι η θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Μέσα απολύμανσης. Τα κυριότερα μέσα που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση είναι:

- Χλώριο και ορισμένες ενώσεις του
- Βρώμιο
- Όζον
- Υπεριώδες ακτινοβολία
- Υπερμαγγανικό κάλιο
- Θέρμανση



Σχήμα 3.9 Στάδια επεξεργασίας, μέθοδοι και τεχνικές καθαρισμού αστικών αποβλήτων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων

3.5.3 Τεχνολογίες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού

Για την παραγωγή πόσιμου αλλά και βιομηχανικού νερού, από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης. Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: στις μεθόδους εξάτμισης και στις μεθόδους μεμβρανών. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι της εξάτμισης είναι οι εξής: πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation - MED), πολυβάθμια εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF), εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression - VC [TC ή MVC]). Αντίστοιχα, οι μέθοδοι μεμβρανών είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis - RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis - ED ή Electrodialysis Reversal - EDR). Μέθοδοι όπως η αντίστροφη ώσμωση (RO) και η πολυβάθμια εκτόνωση (MSF) μέχρι σήμερα έχουν σημειώσει σημαντικό αριθμό εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο [Ευτυχία Τζέν, Τεχνολογίες Αφαλάτωσης, Τμήμα Αιολικής Ενέργειας του ΚΑΠΕ].

Η επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης βασίζεται σε παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, η απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού, το μέγεθος της μονάδας, η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η διαθεσιμότητα του περιβάλλοντος χώρου, ο προϋπολογισμός της επένδυσης και ο απαιτούμενος χρόνος παράδοσης της μονάδας.

Μερικοί από τους λόγους που η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης έχει επικρατήσει για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού είναι η αξιοπιστία της σε όλο το εύρος μεγεθών (από μερικά λίτρα έως χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα), η σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η συμπαγής και “modular” κατασκευή της και ο σχετικά μικρός χρόνος κατασκευής της σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Στον οικισμό Νάουσας του Δήμου Πάρου υπάρχει σε λειτουργία μια μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση. Η μονάδα επεξεργάζεται υφάλμυρο νερό από πηγή στην Νάουσα και έχει καθαρή παροχή 1200 m3/day τους θερινούς μήνες. Τους χειμερινούς μήνες λειτουργεί μόνο μία γραμμή με παροχή καθαρού 300 m3/day. Η αντίστροφη όσμωση καλύπτει το 100% της ύδρευσης του οικισμού της Νάουσας.

Η λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης, λόγω της φύσης τους (μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης) δεν είναι δυνατό να διακοπεί, ακόμα και τις ημέρες κατά τις οποίες η ζήτηση νερού μπορεί να καλυφθεί από άλλες πηγές (π.χ. από γεωτρήσεις). Για λόγους συντήρησης, οι μονάδες αυτές λειτουργούν όλο τον χρόνο, με μειωμένη όμως παροχή κατά τους χειμερινούς μήνες. Ένας μέσος όρος λειτουργίας που συνήθως απαιτείται για την συντήρηση των μεμβρανών τους χειμερινούς μήνες είναι 5 ώρες την ημέρα.

4 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

4.1 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

Η επαναχρησιμοποίηση των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων προϋποθέτει την θέσπιση ποιοτικών κριτηρίων για το ανακτημένο νερό. Για τη θέσπιση αυτών των κριτηρίων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

- **Προστασία δημόσιας υγείας**. Το ανακτημένο νερό θα πρέπει να είναι ασφαλές και η χρήση του να μην εγκυμονεί κινδύνους για το κοινό. Συνήθως τα κριτήρια που εφαρμόζονται είναι μικροβιολογικά και στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση ή εξάλειψη των κινδύνων από παθογόνους μικροοργανισμούς που περιέχονται στα υγρά αστικά απόβλητα. Κατά περίπτωση τίθενται και χημικά κριτήρια για τον έλεγχο της συγκέντρωσης τοξικών ουσιών.
- **Προστασία του περιβάλλοντος**. Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η αποφυγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων καθώς και η προστασία της φυσικής πανίδας και χλωρίδας από τις χρήσεις του ανακτημένου νερού.
- **Προστασία των καλλιεργειών (για χρήσεις άρδευσης)**. Θα πρέπει να εξετάζονται ενδεχόμενες δυσμενείς επιπτώσεις στις καλλιέργειες και στο έδαφος από την παρουσία χημικών ενώσεων και στοιχείων στα υγρά αστικά απόβλητα (π.χ. βαρέα μέταλλα, νάτριο κλπ). Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην συγκέντρωση ανόργανων αλάτων που μπορεί να υποβαθμίσουν την ποιότητα των καλλιεργήσιμων εδαφών.
- **Αποδοχή από τους χρήστες και το κοινό**. Το ανακτημένο νερό θα πρέπει να θεωρείται ασφαλές και η χρήση του να γίνεται αποδεκτή από το ευρύτερο κοινό. Για την επίτευξη του στόχου αυτού δεν είναι ασύνηθες σε ορισμένες περιπτώσεις να υιοθετούνται ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια.
- **Πολιτικές και κοινωνικές συνιστώσες**. Τα υιοθετούμενα κριτήρια θα πρέπει κατ' ανάγκη να λαμβάνουν υπόψη το γενικότερο κλίμα, τις ενδεχόμενες προκαταλήψεις και απόψεις του ευρέως κοινού ή ομάδων καθώς και τα διάφορα οικονομικά συμφέροντα.

Τέλος, θα πρέπει να συνεκτιμώνται και άλλοι πρόσθετοι παράγοντες, που εξαρτώνται από το είδος της κάθε κατηγορίας επαναχρησιμοποίησης, όπως η αισθητική του ανακτημένου νερού (π.χ. ομοιότητα στην εμφάνιση με το καθαρό νερό στις περιπτώσεις αστικής επαναχρησιμοποίησης σε τουαλέτες, πλύσιμο δρόμων κλπ), το χρώμα και η οσμή τους ή η έλλειψη θρεπτικών σε περιπτώσεις δημιουργίας τεχνητών λιμνών για την αποφυγή του ευτροφισμού ή η απομάκρυνση συγκεκριμένων χημικών ενώσεων και στοιχείων σε περιπτώσεις βιομηχανικής επαναχρησιμοποίησης.

Σημαντικό θέμα είναι η ύπαρξη οδηγιών στον τομέα της χρήσης του ανακτημένου νερού για την άρδευση καλλιεργειών, ώστε να

προστατεύονται τόσο οι εργαζόμενοι στις καλλιέργειες όσο και οι καταναλωτές των προϊόντων από τις αρδευόμενες καλλιέργειες.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν είναι δυνατή η ύπαρξη κοινών Οδηγιών για τις διάφορες χώρες, επειδή ποικίλουν:

- οι κλιματολογικές, γεωλογικές και γεωγραφικές συνθήκες,
- οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι,
- ο τύπος των καλλιεργειών και τα εδάφη,
- οι οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες.

4.1.1 Διεθνείς Κανονισμοί

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο πρώτος κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών αποβλήτων στη γεωργία εκδόθηκε το 1918 από την πολιτεία της Καλιφόρνιας, Η.Π.Α. Ο κανονισμός αυτός αναθεωρήθηκε αρκετές φορές μέχρι το 1978 και σήμερα αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης και σε άλλες πολιτείες των Η.Π.Α. αλλά και σε πολλές χώρες του κόσμου. Οδηγίες για τη χρήση του ανακτημένου νερού είναι διαθέσιμες και από Διεθνείς Οργανισμούς:

- Τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO) με τον τίτλο: "Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water" (http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuww/en/index.html),
- Τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO/UN) με τον τίτλο "Water quality for agriculture" (http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.HTM).

4.1.2 Ευρωπαϊκές Οδηγίες

Οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα υγρά αστικά απόβλητα κατά την έξοδό τους από τα Κέντρα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων έχει απασχολήσει την Ευρωπαϊκή Κοινότητα εδώ και πολλά χρόνια. Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία στερείται νομοθετικών ρυθμίσεων σχετικά με την απαιτούμενη ποιότητα των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Μία γενική αναφορά στο θέμα γίνεται στην Οδηγία 91/271 της ΕΕ (άρθρο 12, §1), όπου αναφέρεται ότι:

«Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο…».

Η οδηγία 91/271/ΕΟΚ αφορά τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διάθεση αστικών λυμάτων αλλά και την επεξεργασία και τη διάθεση βιομηχανικών λυμάτων από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς. Σκοπός της οδηγίας αυτής είναι η προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιπτώσεις της διάθεσης αυτών των λυμάτων.

Πολλές από τις αιτίες για τη δυσκολία θέσπισης ενός ενιαίου νομοθετικού πλαισίου έχουν ήδη αναφερθεί κατά την παρουσίαση και συναξιολόγηση της Οδηγίας ΠΟΥ και του Κανονισμού της Καλιφόρνιας. Ειδικότερα, για

το χώρο της Ευρώπης σημαντική παράμετρος για την έλλειψη ενιαίας θεώρησης είναι η ανισοκατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Στο πλαίσιο αυτό η επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού εμφανίζεται ως ελκυστική λύση στη Νότια Ευρώπη αλλά και στη Γαλλία και τη Μεγάλη Βρετανία. Η επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού για άρδευση εφαρμόζεται σε αρκετά εκτεταμένη κλίμακα στην Ισπανία, τη Γαλλία και την Κύπρο, ενώ αυξανόμενο ενδιαφέρον παρατηρείται στην Ελλάδα, την Ιταλία και την Πορτογαλία.

Χώρες που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα προωθούν τη θέσπιση κριτηρίων, συνήθως με τη μορφή οδηγιών, όπως η Γαλλία, η Ιταλία, η Κύπρος, η Ισπανία και η Ελλάδα (σύμφωνα με το "EUREAU", Water Recycling and Reuse Working Group). Οι χώρες με Κανονισμούς / Οδηγίες υπό θεώρηση είναι το Βέλγιο, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Μάλτα και η Πορτογαλία.

Σημείωση: EUREAU είναι η Ένωση των Εθνικών Συνδέσμων των Εταιρειών Ύδρευσης και Αποχέτευσης των χωρών της EU, και της EFTA.

4.1.3 Νομοθεσία στον Ευρωπαϊκό χώρο

Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν θεσπίσει τα δικά τους κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού. Στους **Πίνακες 4.1**, **4.2** φαίνονται ενδεικτικά τα κριτήρια κάποιων χωρών.

Περιγραφή	Κριτήρια Ποιότητας	
	Μικροβιακή ποιότητα	**Άλλες παράμετροι**
Εθνικά κριτήρια • Καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές (Απεριόριστη άρδευση) • Βοσκότοποι (Περιορισμένη άρδευση)	2 TC/100ml 20 TC/100ml	
Puglie • Απεριόριστη άρδευση • Περιορισμένη άρδευση	2 TC/100ml 20 TC/100ml	15mg/l BOD5, 40mg/l COD, 10mg/l TSS, 0,2 mg/l υπολειμματικό χλώριο, 6,5-8,5 pH
Emilia Romagna • Απεριόριστη άρδευση • Περιορισμένη άρδευση	2 TC/100ml 20 TC/100ml	
Sicelia • Περιορισμένη άρδευση • Απαγορεύεται η άρδευση καλλιεργειών που έρχονται σε απευθείας επαφή με τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα	3000 TC/100ml 1000 FC/100ml 1 αυγό νηματοειδών ανά λίτρο Μη ανιχνεύσιμη σαλμονέλα	40mg/l BOD5, 160mg/l COD, 30mg/l TSS, 6,5-8,5 pH

Πίνακας 4.1 Εθνικά και τοπικά κριτήρια της Ιταλίας

(Barbagalo et al. 2000), (Bonomo et al. 1999)

Στην **Ιταλία** η νομοθεσία που υπάρχει σε εθνικό επίπεδο καλύπτει την επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού για άρδευση και παρέχει ένα αυστηρό, από βακτηριολογικής απόψεως, νομοθετικό πλαίσιο. Για απεριόριστη άρδευση καθορίζεται δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση και ολικά κολοβακτηρίδια 2/100 ml, ενώ για άρδευση βοσκοτόπων (περιορισμένη άρδευση) ολικά κολοβακτηρίδια 20/100 ml.

Η **Κύπρος** έχει επίσης θεσπίσει αυστηρά όρια με επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων μεταξύ 5-15 /100 ml για την απεριόριστη άρδευση.

Άρδευση	BOD_5 mg/l	SS mg/l	FC/ 100ml	Εντερικοί σκώληκες/l	Απαιτούμενη επεξεργασία
Απεριόριστη άρδευση (α)	(A) 10*	10*	5* 15**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια και απολύμανση
Χώροι αναψυχής ελεύθερης πρόσβασης- Άρδευση καλλιεργειών που τρώγονται μαγειρεμένες ή μετά από επεξεργασία (β)	(A) 10* 15**	10* 15**	50* 100**	Μηδέν	
Περιορισμένη άρδευση- χώροι αναψυχής περιορισμένης πρόσβασης	(A) 20* 30**	30* 45**	200* 1.000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες και απολύμανση, ή τριτοβάθμια και απολύμανση
	(B) -	-	200* 1.000**	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 ημέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 ημέρες
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	(A) 20* 30**	30* 45**	1.000* 5.000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες, ή τριτοβάθμια και απολύμανση
	(B) -	-	5.000*	Μηδέν	Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 ημέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 ημέρες
Βιομηχανικές καλλιέργειες	(A) 50* 70**	-	3.000* 10.000**	-	Δευτεροβάθμια και απολύμανση
	(B) -		3.000* 10.000**		Λίμνες σταθεροποίησης-ωρίμανσης, συνολικός χρόνος παραμονής πάνω από 30 ημέρες, ή δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 30 ημέρες

Πίνακας 4.2 Κριτήρια της Κύπρου (Dodou 2000)

Σε ότι αφορά τη **Γαλλική** νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού για άρδευση, αυτή έχει ως βάση τα κριτήρια του ΠΟΥ, τα οποία όμως συμπληρώνονται από μία σειρά αυστηρών κανόνων, που αφορούν στην προστασία υπόγειων και επιφανειακών νερών, σε περιορισμούς κατά την επαναχρησιμοποίηση ανάλογα με την ποιότητα του ανακτημένου νερού, στο δίκτυο αγωγών, στα χημικά χαρακτηριστικά της εκροής κλπ.

Η περίπτωση της **Ισπανίας** είναι όμοια με αυτή της Ιταλίας. Η πρόταση σε εθνικό επίπεδο ως προς τα μικροβιολογικά κριτήρια αναφέρεται σε ολικά κολοβακτηρίδια 2-20/100ml. Ωστόσο, σε μερικές περιοχές με ορισμένο βαθμό θεσμικής αυτονομίας, όπως η Καταλονία και η Ανδαλουσία, ισχύουν λιγότερο αυστηροί κανονισμοί, που σε γενικές γραμμές βρίσκονται στο πνεύμα της Οδηγίας ΠΟΥ.

Όσον αφορά λοιπόν τα μικροβιολογικά κριτήρια της απεριόριστης άρδευσης, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τείνουν σε αυστηρότερα κριτήρια από αυτά που καθορίζει ο ΠΟΥ.

4.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελληνική Νομοθεσία στα σημεία της επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού ήταν ελλιπής και όταν απαιτήθηκε στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν κανονισμοί ή συστάσεις διεθνώς αναγνωρισμένων φορέων διαχείρισης νερού. Το 2008 εκδόθηκε η ΚΥΑ 133551 «Τροποποίηση της περίπτωσης (γ) της παρ.1 του άρθρου 8 της υπ' αριθμ. Ε1β/221/65 Υγειονομικής Διάταξης», για την επαναχρησιμοποίηση νερού για αστικές εφαρμογές. Η πιο πάνω ΚΥΑ αντικαταστάθηκε το 2011 από την 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", η οποία επιφέρει σημαντικές τροποποιήσεις στη διαχείριση αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, σε ότι αφορά τα ποιοτικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης. Διευκρινίσεις για την εφαρμογή της ΚΥΑ παρέχονται στις υπ' αριθμόν 145447/23.6.2011 και 1589/03.11.2011 εγκυκλίους του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ).

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 όπως φαίνονται στον **Πίνακα 4.3**.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Αστική χρήση *Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκόλφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια* *Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.* ***Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων*** *που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις* ***Περιαστικό πράσινο*** *συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών* [λ]	*≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95 % των δειγμάτων*	*≤ 10 για το 80% των δειγμάτων*	*≤ 2 για το 80% των δειγμάτων*	*≤ 2 διάμεση τιμή*	*Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία* [θ] *ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία* [ι] *και Απολύμανση* [κ]	*BOD_5, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)* *Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις* *TC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρείς ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις* *Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δύο ανά εβδομάδα* *Υπολειμματικό Cl_2 συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)*

Πίνακας 4.3 Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις

Σημειώσεις Πίνακα 4.3:

θ) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD5/SS σε συμφωνία με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 45 mg/l, με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε ταμιευτήρες, γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορρύπανση ζωνών ή γίνεται εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα. Πρέπει να επιτυγχάνεται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης–απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα.

ι) Κατάλληλο σύστημα μεμβρανών (συνιστάται τουλάχιστον υπερδιήθηση) ή ισοδύναμο σύστημα επεξεργασίας που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 4.3 όρια για το BOD_5, τα SS και τη θολότητα. Στην περίπτωση χρήσης βιολογικών αντιδραστήρων μεμβράνης (membrane bioreactors) είναι δυνατή η συγχώνευση της δευτεροβάθμιας και προχωρημένης επεξεργασίας.

κ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου $\geq$ 2 mg/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 60 mWsec/cm2 στο τέλος

της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

λ) Στις περιπτώσεις δασών είναι δυνατή η κατά περίπτωση, μετά από τεκμηρίωση, εφαρμογή των απαιτήσεων άλλων Πινάκων της νομοθεσίας.

Μέταλλο	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)
Al (αργίλιο)	5
As (αρσενικό)	0.1
Be (βηρύλλιο)	0.1
Cd (κάδμιο)	0.01
Co (κοβάλτιο)	0.05
Cr (χρώμιο)	0.1
Cu (χαλκός)	0.2
F (φθόριο)	1.0
Fe (σίδηρος)	3.0
Li (λίθιο)	2.5
Mn (μαγγάνιο)	0.2
Mo (μολυβδαίνιο)	0.01
Ni (νικέλιο)	0.2
Pb (μόλυβδος)	0.1
Se (σελήνιο)	0.02
V (βανάδιο)	0.1
Zn (ψευδάργυρος)	2.0
Hg (υδράργυρος)	0.002
B (Βόριο)	2

Πίνακας 4.4 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων

Σημειώσεις Πίνακα 4.4:

Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις παραμέτρους του Πίνακα 4.4 καθορίζεται σε:

- 12 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 200,000 κατοίκους και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που δεν εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)
- 4 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 50,000−200,000 κατοίκων
- 2 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 10,000−50,000 κατοίκων και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97).

- 1 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 2,000−10,000 κατοίκων
- Για εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μικρότερο των 2,000 και οικιακά ιδιωτικά συστήματα επεξεργασίας δεν απαιτείται έλεγχος για τη διαπίστωση τήρησης των ορίων του Πίνακα 4.4.

Πιθανό πρόβλημα κατά την άρδευση	**Μονάδες**	**Βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή**		
		Μηδαμινός	**Μικρός-Μέτριος**	**Μεγάλος**
Αλατότητα (Επηρεάζει την διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος)				
ECw [1]	dS/m	< 0.7	0.7 -3.0	> 3.0
Ή				
TDS (ολικά διαλυμένα	mg/l	< 450	450 -2000	> 2000
Διαπερατότητα				
SAR[2] = 0 - 3 και ECw =		> 0.7	0.7 -0.2	< 0.2
3 - 6		> 1.2	1.2 -0.3	< 0.3
6 -12		> 1.9	1.9 -0.5	< 0.5
12-20		> 2.9	2.9 -1.3	< 1.3
20-40		> 5.0	5.0 -2.9	< 2.9
Ειδική τοξικότητα ιόντων				
Νάτριο (Na)				
Επιφανειακή άρδευση (προσρόφηση δια των ριζών)	SAR	< 3	3 -9	> 9
Καταιονισμός (προσρόφηση δια των φύλλων)	mg/l	≤70	> 70	
Χλωριόντα (Cl)				
Επιφανειακή άρδευση (προσρόφηση δια των ριζών)	mg/l	< 140	140 -350	> 350
Καταιονισμός (προσρόφηση δια των φύλλων)	mg/l	≤ 100	> 100	
Άλλες επιπτώσεις				
Άζωτο (NO_3-N) [3]	mg/l	< 5	5 -30	> 30
HCO_3 (μόνο για άρδευση για καταιονισμό)	mg/l	< 90	90-500	> 500
Ph	Τυπικό διάστημα 6.5-8.5			

Πίνακας 4.5 Επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση επαναχρησιμοποιούμενων επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

Σημειώσεις Πίνακα 4.5:

(1) ECw ηλεκτρική αγωγιμότητα σε deciSiemens ανα μέτρο στους 25°C

(2) SAR βαθμός απορρόφησης νατρίου

(3) NO3−N νιτρικό άζωτο σε όρους αζώτου

Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις παραμέτρους του Πίνακα 4.5 καθορίζεται σε 2 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 10,000 κατοίκους και σε 1 ανά έτος για τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

Επισημαίνεται ότι τα όρια του Πίνακα 4.5 είναι ενδεικτικά και επιθυμητά χωρίς να είναι επιτακτικά και η ισχύς τους θα καθορίζεται κατά περίπτωση σε συνάρτηση με την ενδεχόμενη ανάμιξη των ανακτημένων υγρών αποβλήτων με καθαρά νερά, το είδος της καλλιέργειας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, τον εξοπλισμό άρδευσης και άλλα στοιχεία της μελέτης άρδευσης.

Παράμετρος	CAS	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/l)
Alachlor	15972-60-8	0.7
Ανθρακένιο	120-12-7	1
Ατραζίνη	1912-24-9	2
Βενζόλιο	71-43-2	5
Βρωμιούχος διφαινυλαιθέρας	32534-81-9	0.025
Ανθρακο-τετραχλωρίδιο	56-23-5	MA
C10-13 Χλωροαλκάνια	85535-84-8	1.4
Chlorfenvinphos	470-90-6	0.3
Chlorpyrifos (Chlorpyrifos-ethyl)	2921-88-2	0.1
Aldrin	309-00-2	MA
Dieldrin	60-57-1	MA
Endrin[	72-20-8	MA
Isodrin	465-73-6	0.01
DDT ολικό	Δεν	MA
para-para-DDT	50-29-3	MA
1,2 Διχλωροαιθάνιο	107-06-2	20
Διχλωρομεθάνιο	75-09-2	50
Φθαλικό δι(2-αιθυλεξίλιο) – (ΦΔΕΕ-DEHP)	117-81-7	10
Diuron	330-54-1	1.0
Ενδοσουλφάνιο	115-29-7	0.01
Φλουορανθένιο	206-44-0	1
Εξαχλωροβενζόλιο	118-74-1	MA
Εξαχλωροβουταδιένιο	87-68-3	0.6
Εξαχλωροκυκλοεξάνιο	608-73-1	MA
Isoproturon	34123-59-6	1
Ναφθαλένιο	91-20-3	2.4
Εννεϋλοφαινόλη [4-εννεϋλοφαινόλη]	104-40-5	2

Παράμετρος	CAS	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/l)
Οκτυλοφαινόλη [(4-(1,1΄, 3,3΄-τετραμεθυλβουτυλική)-φαινόλη)]	140-66-9	1
Πενταχλωροβενζόλιο	608-93-5	0,1
Πενταχλωροφαινόλη	87-86-5	1
Βενζο(α)πυρένιο	50-32-8	0,1
Βενζο(β)φλουορανθένιο Βενζο(κ)φλουορανθένιο	205-99-2 207-08-9	Αθροιστικά=0,03
Βενζο(ζ,η,θ)-περιλένιο Ινδενο(1,2,3-γδ)πυρένιο	191-24-2 193-39-5	Αθροιστικά=0,02
Σιμαζίνη	122-34-9	1
Τετραχλωροαιθυλένιο	127-18-4	10
Τριχλωροαιθυλένιο	79-01-6	10
Ενώσεις τριβουτυλτίνης (κατιόν	36643-28-4	0,003
Τριχλωροβενζόλια (όλα ισομερή)	12002-48-1	0,4
Τριχλωρομεθάνιο	67-66-3	2,5
Τριφθοραλίνη	1582-09-8	0,03
Οξεία τοξικότητα στον οργανισμό δείκτη *Daphnia Magna* (πρίν από την απολύμανση)		1 Μονάδα Τοξικότητας (TU 50 ≤1

ΜΑ= Μη ανιχνεύσιμο

Πίνακας 4.6 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα

Σημειώσεις Πίνακα 4.6:

Τα όρια του Πίνακα 4.6 ισχύουν μόνο για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 100,000 κατοίκους και για όλες τις περιπτώσεις υγρών βιομηχανικών αποβλήτων από βιομηχανίες που δεν περιλαμβάνονται στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους βιομηχανικής δραστηριότητας) που αναφέρονται στην ΚΥΑ 5673/400/5.3.97.

Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις παραμέτρους του Πίνακα 4.6 καθορίζεται σε 2 ανά έτος.

Η ΚΥΑ 145116/2011 εφαρμόζεται για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων:

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

Στην ΚΥΑ 145116/2011 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 4.7**.

Πηγή/ Τύπος υγρών αποβλήτων	Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης
Οικιακά ή αστικά λύματα ή βιομηχανικά λύματα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης	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	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

Πίνακας 4.7 Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων

Σημειώνεται ότι η ΚΥΑ 145116/2011 δεν βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση **διάθεσης σε υδατικούς αποδέκτες**.

4.2.1 Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

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

1. **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.
2. **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.

4.2.2 Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων

Διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων:

1. **Άμεσος εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων** υπό πίεση ή με βαρύτητα.
2. **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.

4.2.3 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.

4.2.4 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.

Σε όλους τους χώρους όπου γίνεται χρήση ανακτημένου νερού πρέπει να υπάρχει κατάλληλη σήμανση που να απεικονίζει κρουνό βρύσης διαγραμμένο με το σύμβολο «Χ» και ευανάγνωστα η φράση «ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ- ΜΗ ΠΟΣΙΜΟ» στα Ελληνικά και στα Αγγλικά. Οι σωληνώσεις (συμπεριλαμβανομένων των εξαρτημάτων σύνδεσης και των κρουνών) που θα εξυπηρετούν το δίκτυο του ανακτημένου νερού θα έχουν χρώμα ιώδες, ώστε να ξεχωρίζουν από το δίκτυο ύδρευσης.

Επίσης, υπάρχει μία σειρά νομοθετημάτων ή υπουργικών αποφάσεων που ισχύουν και αφορούν την ποιότητα του νερού που προορίζεται για διάφορες

χρήσεις. Το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης έχει εκδώσει προδιαγραφές για τα χαρακτηριστικά του αρδευτικού νερού.

Παράλληλα η Ελλάδα, ως κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, έχει την υποχρέωση να προβαίνει στην ανάληψη των αναγκαίων νομοθετικών ρυθμίσεων ώστε να είναι σε συμφωνία και να θέτει σε ισχύ τα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για την προστασία του περιβάλλοντος, στα οποία υπάγονται και οι οδηγίες για την ποιότητα του νερού. Οι οδηγίες αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάθε φορά που τίθεται θέμα διάθεσης επεξεργασμένων ή ανεπεξέργαστων αποβλήτων. Έτσι, αναφέρεται η νομοθεσία που έχει εναρμονιστεί με τις σχετικές οδηγίες:

- **ΚΥΑ 5673/400/97**. «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων». Ειδικές διατάξεις για την επεξεργασία αστικών λυμάτων. Επίσης αφορά ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν κυρίως οργανικό φορτίο και τα οποία μπορούν να διοχετευτούν σε αποχετευτικά δίκτυα και σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων, αφού προηγουμένως έχουν υποβληθεί σε προκαταρκτική επεξεργασία.
- **ΚΥΑ 26857/553/88**. «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία των υπόγειων νερών από απόρριψη επικίνδυνων ουσιών». Αφορά όλες τις απορρίψεις επικίνδυνων ουσιών και των ενώσεών τους. Εξαιρούνται οι εγκαταστάσεις των οποίων έχει εγκριθεί η μελέτη περιβαλλοντικών όρων.
- **ΥΑ 46399/1352/86** (ΦΕΚ 438/Β/3-7-86). Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για: «πόσιμα», «κολύμβηση», «διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά» και «καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών», μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659ΕΟΚ, 79/293ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.
- **Π.Δ. 51** (ΦΕΚ 54/Β/8-3-07). Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000.
- **Νόμος 3199** (ΦΕΚ 280/Β/9-12-2003). Προστασία και διαχείριση των υδάτων – Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000.
- **ΚΥΑ Υ2/2600/2001** (ΦΕΚ 892/Β/11-7-01) (διορθ. σφαλμ. στο ΦΕΚ 1082 Β΄/14-8-01): «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.
- **ΚΥΑ 43504** (ΦΕΚ 1784/Β/20-12-2005): Κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργων αξιοποίησής τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών.

- **ΚΥΑ 145116**. Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις, η οποία αναφέρθηκε αναλυτικά ανωτέρω.

Σύμφωνα με την Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή (ΟΚΕ) στη Γνώμη πρωτοβουλίας με τίτλο «**Υδατικοί Πόροι**» (2009), η υιοθέτηση των αρχών της αειφορίας οδηγεί στον αναπροσανατολισμό της ανάπτυξης, προκειμένου αυτή να γίνει συμβατή με τις πραγματικές φυσικές δυνατότητες της χώρας. Απαιτείται σχεδιασμός και εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης υδατικής πολιτικής, ενταγμένης σε μια ευρύτερη στρατηγική για την πράσινη ανάπτυξη και το περιβάλλον, για να λυθεί το πρόβλημα του νερού στη νέα εποχή της κλιματικής απορρύθμισης.

Αναφέρει μεταξύ άλλων, ότι σε εθνικό επίπεδο, τα υδατικά ισοζύγια στις υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας έχουν από καιρό διαταραχθεί, με αποτέλεσμα, εκτός των ανανεώσιμων, να καταναλώνεται κάθε χρόνο κι ένα μεγάλο μέρος των μόνιμων υδατικών αποθεμάτων, το οποίο δεν αναπληρώνεται ποτέ. Κύρια αιτία η αυξημένη ζήτηση του νερού πρώτα στις αγροτικές και μετά και στις υπόλοιπες αστικές, βιομηχανικές, τουριστικές και ενεργειακές αναπτυξιακές δραστηριότητες, οι οποίες δεν σχεδιάστηκαν ποτέ σύμφωνα με τις φυσικές δυνατότητες των υδατικών της συστημάτων.

Όπως αναφέρει η έκθεση, το σοβαρό υδατικό πρόβλημα της χώρας είναι το ποσοτικό, χωρίς να αγνοείται η σημασία και η ιδιαιτερότητα των προβλημάτων ποιότητας, ενώ λειψυδρία δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι δεν υπάρχει νερό, αλλά κάτι περισσότερο και συνήθως και πιο σύνθετο, ότι δηλαδή τα διαθέσιμα αποθέματα δεν αρκούν για την κάλυψη των αναγκών. Για να επιτευχθεί λοιπόν ο στόχος της επάρκειας των υδατικών αποθεμάτων, δεν απαιτείται η μονόπλευρη, όσο και αδιέξοδη περιβαλλοντικά εξασφάλιση ολοένα και περισσότερων υδατικών αποθεμάτων, αλλά, αντιθέτως, η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης του νερού. Η κατάσταση που επικρατεί σήμερα στον τομέα της διαχείρισης του νερού απέχει πολύ απ' το να έχει τα χαρακτηριστικά της βιωσιμότητας, κατά την άποψη της ΟΚΕ, η οποία θεωρεί ότι, για να είναι βιώσιμη μια πολιτική νερού, θα πρέπει να διασφαλίζει διαχρονικά την **οικονομική ανάπτυξη**, την **περιβαλλοντική προστασία** και την **κοινωνική ευημερία**.

5 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η επαναχρησιμοποίηση νερού μπορεί να διακριθεί σε δύο κύριες κατηγορίες: την επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς και την επαναχρησιμοποίηση για εμπλουτισμό του δικτύου ύδρευσης πόλεως. Ποιοτικά κριτήρια καθορίζουν την ποιότητα του ανακτημένου νερού, και πολλές φορές την απαιτούμενη επεξεργασία Η κάθε περίπτωση επαναχρησιμοποίησης νερού μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους υποπεριπτώσεις όπως:

Επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς:

- Αγροτική
- Αστική
- Βιομηχανική
- Φόρτιση υπογείων υδροφορέων (εκτός ύδρευσης)
- Δημιουργία χώρων αναψυχής

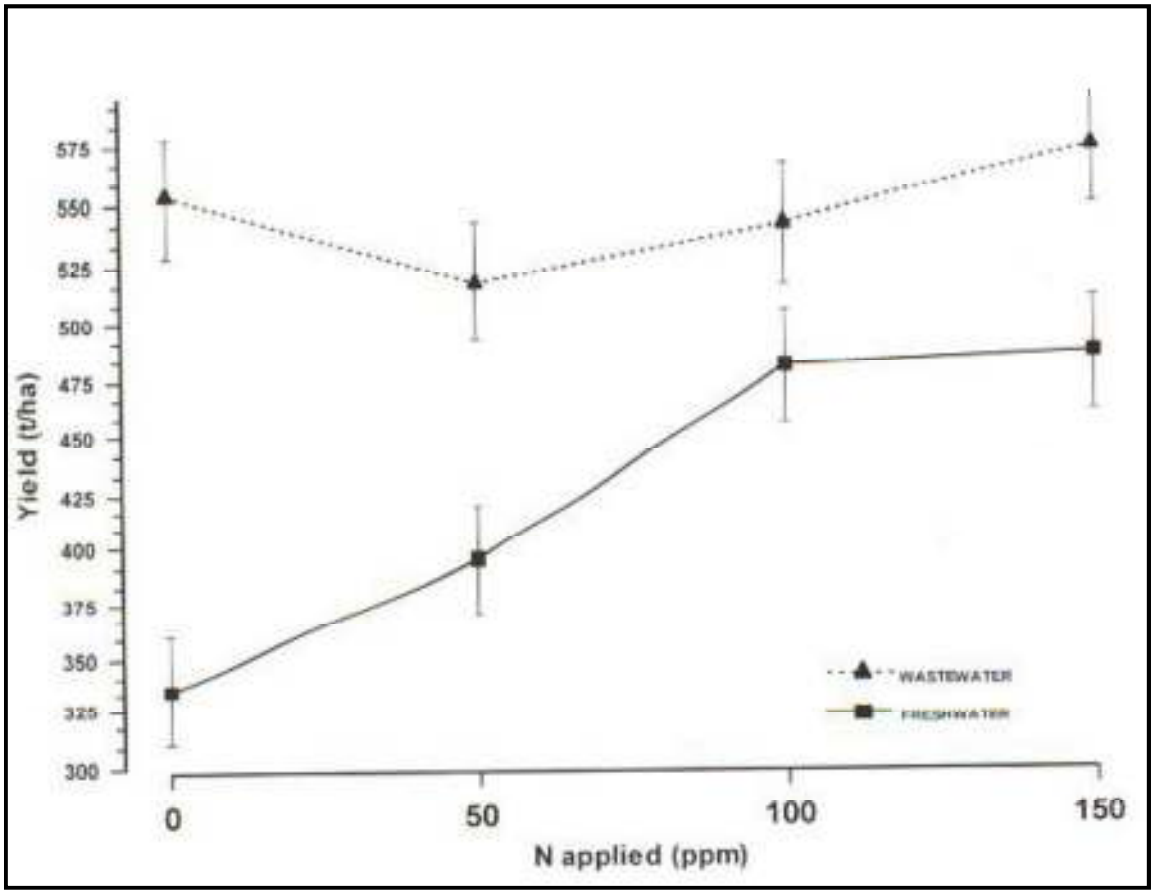
Επαναχρησιμοποίηση για εμπλουτισμό του δικτύου ύδρευσης:

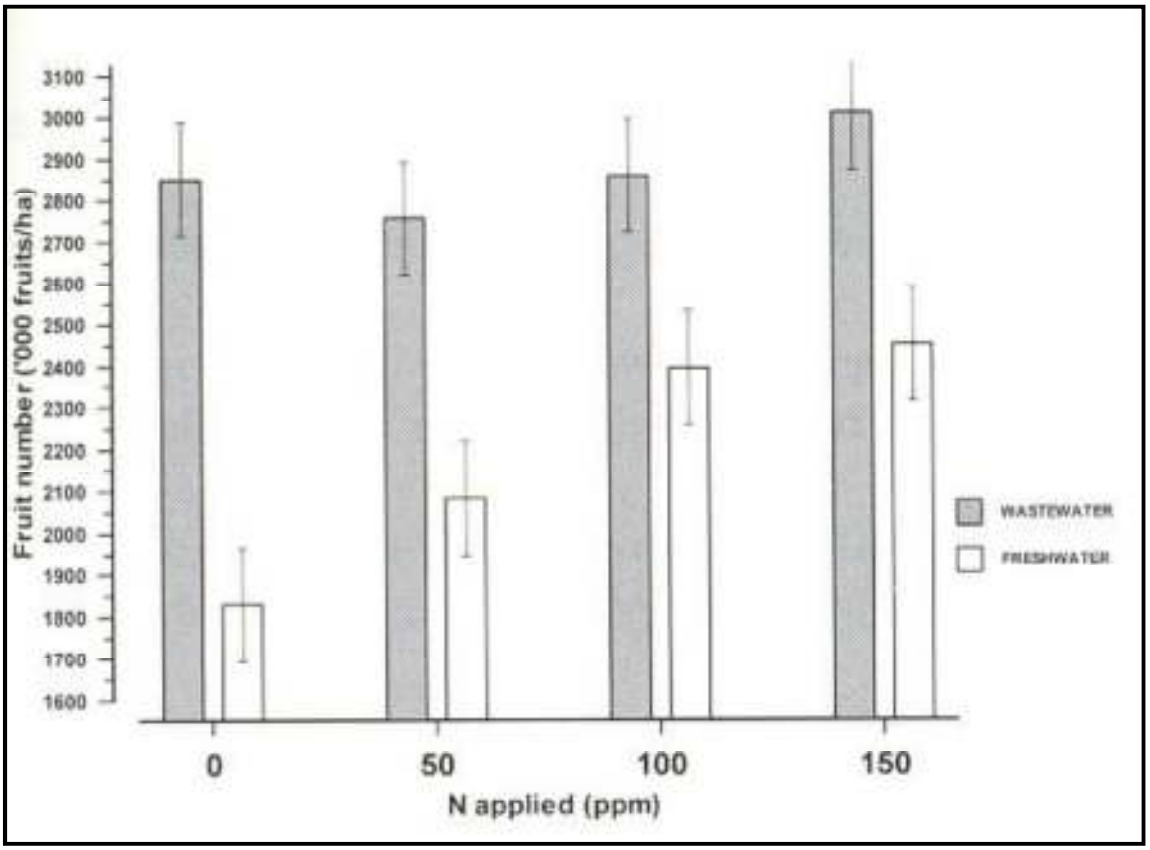
- Έμμεση πόση (μέσω εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων)
- Άμεση πόση

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των κυριότερων χαρακτηριστικών των παραπάνω εφαρμογών:

5.1 ΆΡΔΕΥΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικές εφαρμογές υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Στην Ελλάδα το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 87% επομένως είναι προφανής η ανάγκη επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού. Η χρήση ανακτημένου νερού για άρδευση εξοικονομεί, όπως αναφέρθηκε, υδατικούς πόρους αλλά σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να συνεισφέρει και στην αγροτική παραγωγή αφού η περιεκτικότητά του σε άζωτο και φωσφόρο μπορεί να παρέχει στις αγροτικές καλλιέργειες απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Στο **Σχήμα 5.1** παρουσιάζεται η αύξηση της παραγωγικότητας λόγω της χρήσης ανακτημένου νερού, σε σχέση με φυτά που αρδεύτηκαν με νερό εμπλουτισμένο με την ίδια ποσότητα αζώτου (Papadopoulos and Savvides 2002). Ωστόσο, προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιπτώσεις που το ανακτημένο νερό, κατά την εφαρμογή του στο έδαφος, κατεισδύει στον υδροφόρο ορίζοντα.





Σχήμα 5.1 Παραγωγή μελιτζάνας σε συνάρτηση με την προσθήκη αζώτου.

Σε πολλές περιοχές του κόσμου χρησιμοποιείται ανακτημένο νερό για αγροτικές εφαρμογές:

- Στο **Μεξικό** χρησιμοποιείται μετά από σχετική επεξεργασία για την άρδευση 90.000 ha, στην παρακείμενη κοιλάδα Mezquidal, (Jimenez et al. 1998)
- Στο **Tel Aviv** διατίθενται μετά από επεξεργασία για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα και στη συνέχεια αντλούνται για την άρδευση των αγροτικών εκτάσεων στην έρημο Negev (Icecton Tal et al. 2001).
- Στην **Adelaide**, μία ποσότητα αποβλήτων της τάξης των 30Mm3/ yr προωθείται στα βόρεια της πόλης για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων που παράγουν κηπουρικά (Marks 1998).

5.2 ΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Η ποσότητα ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται σήμερα για αστική χρήση παγκοσμίως είναι πολύ περιορισμένη, αλλά συνεχώς επεκτείνονται οι εφαρμογές.

Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι το πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφείων και κήπων που περιβάλουν δημόσια κτίρια και εγκαταστάσεις, κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης, εμπορικές χρήσεις όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων, το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα, πυροπροστασία κλπ. Κατά το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων έχει μεγάλη σημασία η **αξιοπιστία εξυπηρέτησης** και η **προστασία της δημόσιας υγείας**.

Παραδείγματα χρήσεων ανακτημένου νερού για αστικές εφαρμογές στο εξωτερικό περιλαμβάνουν:

- Στο **St. Petersburg της Florida, Η.Π.Α.,** όπου διανέμονται περίπου 80.000 κμ/ημέρα ανακτημένου νερού σε περισσότερους από 10.000 καταναλωτές για πότισμα των κήπων, αλλά και για βιομηχανική χρήση (RWCC 1993).
- Στο **Irvine ranch, στην Καλιφόρνια, Η.Π.Α.,** το οποίο μέχρι πριν από λίγα χρόνια αποτελούσε μια υποβαθμισμένη ελώδη περιοχή, είναι σήμερα μια σύγχρονη πόλη της οποίας τα 2.000ha κήπων στις αυλές των σπιτιών και τα 700ha αγροτικών καλλιεργειών αρδεύονται με ανακτημένο νερό. Στο **Sydney της Αυστραλίας**, περίπου 7.000 κμ/ημέρα ανακτημένου νερού χρησιμοποιείται στις αθλητικές εγκαταστάσεις για την έκπλυση των τουαλετών και για άρδευση του πρασίνου. (Cooney 2001).
- Στο **Tokyo**, Ιαπωνία, με νομοθετική ρύθμιση από το 1984, κατέστη υποχρεωτική η επιτόπου επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων σε μεγάλα αστικά και εμπορικά κτίρια του Tokyo (με επιφάνεια μεγαλύτερη των 3000m2), με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση του στα καζανάκια των τουαλετών και σε άρδευση παρακείμενων χώρων πρασίνου. Το κόστος των εγκαταστάσεων για την επεξεργασία και

διανομή του ανακτημένου νερού επιδοτείται κατά 50% (Maeda, M. et al. 1996).

5.3 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των αστικών υγρών αποβλήτων είναι βεβαίως αυτές που δεν απαιτούν ποιότητα πόσιμου νερού όπως: το νερό ψύξης, το νερό τροφοδοσίας λεβήτων και το βιομηχανικό νερό. Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ζήτηση είναι το νερό ψύξης. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές εφαρμογές:

- Στη χαλυβουργία **Bethlehem Steel, Baltimore, ΗΠΑ**.
- Στην πόλη **Phoenix, New Mexico των Η.Π.Α**., που χρησιμοποιεί το σύνολο των υγρών αστικών αποβλήτων της ως νερό ψύξης από τον πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του Palo Verde, που βρίσκεται 55χλμ δυτικά της πόλης.
- Στη **Σιγκαπούρη** έχει κατασκευαστεί μονάδα επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων δυναμικότητας 72.000 κμ/ημέρα για την παραγωγή ύδατος υψηλής ποιότητας το οποίο χρησιμοποιείται από βιομηχανίες παραγωγής ημιαγωγών και άλλων προϊόντων υψηλής τεχνολογίας.
- Στο **Κέντρο Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Ψυττάλειας**, όπου βρίσκεται εγκατεστημένη η μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του λεκανοπεδίου Αθηνών, ανακυκλώνονται περίπου 30.000 κμ/ημέρα αποβλήτων, αφού επεξεργαστούν σε αυτόματους ηθμούς. Τα 2/3 του ανακτημένου ύδατος χρησιμοποιείται ως ύδωρ ψύξης των συμπιεστών αέρα και ως ύδωρ παρασκευής διαλυμάτων πολυηλεκτρολυτών, ενώ το υπολειπόμενο 1/3 απολυμαίνεται με εφαρμογή ακτινοβολίας UV και χρησιμοποιείται για άρδευση του πρασίνου και ως ύδωρ πλύσης διαφόρων εξαρτημάτων.

5.4 ΦΟΡΤΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

Ο τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με ανακτημένο νερό μπορεί να έχει ως στόχο:

- τη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων,
- την αποθήκευση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης π.χ. για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή,
- την ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα που έχει υποβαθμιστεί λόγω της υπερεκμετάλλευσης,,
- τον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους,
- καθώς και την περαιτέρω επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική χρησιμοποίησή τους.

Τα κυριότερα **πλεονεκτήματα** της αποθήκευσης του ανακτημένου νερού σε υπόγειους υδροφορείς είναι το μικρότερο κόστος από το αντίστοιχο κόστος επιφανειακών ταμιευτήρων, ενώ αποφεύγονται διάφορες δυσάρεστες συνέπειες των επιφανειακών εγκαταστάσεων όπως η εξάτμιση,

η ρύπανση, ο ευτροφισμός οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού με τη δημιουργία δυσάρεστων οσμών και την παραγωγή τοξικών ουσιών.

Μειονεκτήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σχετίζονται με το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας των απαιτούμενων γεωτρήσεων και της προχωρημένης επεξεργασίας που συχνά μπορεί να είναι απαγορευτικό, την πιθανή αύξηση του κινδύνου ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα, η μετέπειτα εξυγίανση του οποίου είναι μια δύσκολη, δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία, η συχνή δυσκολία διασφάλισης της μη χρήσης του υδροφορέα για σκοπούς ύδρευσης (Ανδρεαδάκης, 2007). Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν στο **Orange County** της Καλιφόρνιας και στο **El Paso** στις Η.Π.Α.

5.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΩΝ ΑΝΑΨΥΧΗΣ

Το ανακτημένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή τη διατήρηση φυσικών, τη δημιουργία χώρων αναψυχής, την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων και διάφορες άλλες χρήσεις. Σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή στο φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία.

5.6 ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΆΜΕΣΗ ΠΟΣΗ

Είναι γεγονός ότι σήμερα είναι διαθέσιμη η τεχνολογία για τον καθαρισμό υγρών αποβλήτων σε ποιότητα πόσιμου ύδατος. Η αιχμή της τεχνολογίας χρησιμοποιείται στους διαστημικούς σταθμούς, όπου πρακτικά το σύνολο των αποβλήτων ανακυκλώνεται..

Αν και η τεχνολογία παραγωγής πόσιμου ύδατος από υγρά αστικά απόβλητα είναι δεδομένη, η χρήση του ανακτημένου νερού από τους καταναλωτές για άμεση πόση δεν έχει ιδιαίτερη απήχηση. Αυτό γιατί εκτός από το παθογόνο μικροβιακό φορτίο που βρίσκεται στα υγρά αστικά απόβλητα, παρόν είναι και ένα πλήθος οργανικών χημικών ενώσεων που δύναται να διαφύγουν της επεξεργασίας. Εκτιμάται ότι μόνο το 10% κατά βάρος των οργανικών ενώσεων του πόσιμου ύδατος έχει ταυτοποιηθεί ενώ η έρευνα για τις επιδράσεις τους στην υγεία είναι ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο (National Research Council, 1980).

Παρόλα αυτά, σε περιοχές όπου το πόσιμο ύδωρ είναι δυσεύρετο χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα για άμεση πόση, σε ανάμειξη με άλλες πηγές. Αυτό ισχύει στην πρωτεύουσα της Ναμίμπια όπου ήδη από το 1968 κατασκευάστηκε η πρώτη μονάδα παραγωγής πόσιμου ύδατος από υγρά απόβλητα δυναμικότητας 4.800 κμ/ημέρα, η οποία στη συνέχεια επεκτάθηκε στα 21.000 κμ/ημέρα, με εφαρμογή τεχνολογίας μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Το παραγόμενο ανακτημένο ύδωρ αναμειγνύεται με πόσιμο νερό από διάφορες άλλες πηγές, σε ποσοστό που δεν υπερβαίνει το 25% για οποιοδήποτε τομέα ύδρευσης της πόλης και για οποιαδήποτε εποχή, και χρησιμοποιείται για πόση από τους καταναλωτές (van der Merwe and Menge 1996).

Η Σιγκαπούρη, ένα νησιωτικό κράτος με έκταση 699 χλμ^2, και πληθυσμιακή πυκνότητα 6.200 κατοίκων/χλμ^2, χρησιμοποιεί εντατικά όλες τις πηγές νερού και σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από την εισαγωγή νερού από τη γειτονική Μαλαισία. Από το 2000 ξεκίνησε η παραγωγή ανακτημένου νερού μέσω πιλοτικού προγράμματος με σκοπό αφενός τη χρήση του στη βιομηχανία παραγωγής ημιαγωγών, και αφετέρου για την ανάμειξή του με πόσιμο νερό και την τροφοδοσία της πόλης. Έτσι, ένα μέρος από τα απόβλητα της γειτονικής εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων οδηγούταν στην πιλοτική μονάδα η οποία περιελάμβανε μικροδιήθηση, αντίστροφη όσμωση και μονάδες απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία. Το πρόγραμμα πήρε την ονομασία NEWater, ενώ διενεργήθηκε και εκστρατεία ενημέρωσης του κοινού. Η λειτουργία της μονάδας και η ποιότητα του ανακτημένου νερού παρακολουθούνταν σε τακτική βάση για περίπου δύο χρόνια, αποδεικνύοντας έτσι την αξιοπιστία της διαδικασίας και την υψηλή ποιότητα του παραγόμενου νερού, η οποία ήταν σε καλύτερο επίπεδο από τις προδιαγραφές της EPA 1998 και του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (WHO 1993) για το πόσιμο νερό.

Με την ολοκλήρωση του σχεδίου, 1000 κμ/ημέρα παροχετεύονταν στον ταμιευτήρα πόσιμου ύδατος της πόλης. Η ποιότητα του ανακτημένου νερού ελέγχονταν καθημερινά, ενώ έγιναν τοξικολογικές μελέτες σε ψάρια και ποντίκια (Ong, S.L. et al. 2004;SingaporePublicUtilitiesBoard 2002). Μετά την επιτυχία του εγχειρήματος κατασκευάστηκαν δύο μονάδες ανάκτησης νερού συνολικής δυναμικότητας 72.000 κμ/ημέρα, με δυνατότητα επέκτασης στα 168.000 κμ/ημέρα. Σήμερα το νερό ύδρευσης της πόλης της Σιγκαπούρης περιέχει 1% NEWater ανακτημένο νερό, με προοπτική το ποσοστό να ανέλθει στο 2.5% μέχρι το 2011. Στόχος της χώρας είναι η χρήση ανακτημένου νερού σε ποσοστό 25% μέχρι το 2012, όπου το 15% να προέρχεται από την πιλοτική μονάδα NEWater, το 5% από αφαλάτωση και το υπόλοιπο 5% από βιομηχανικό νερό.

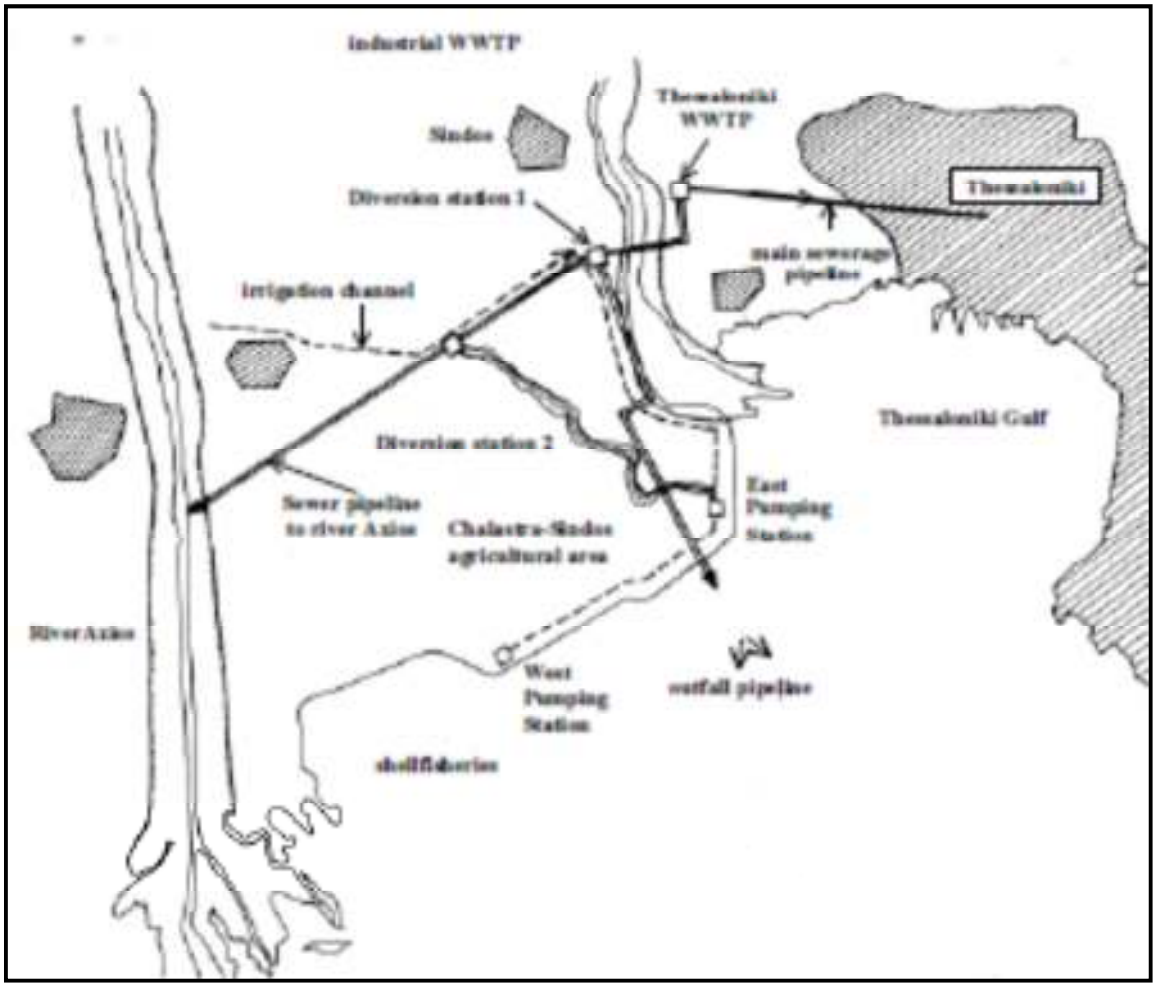
6 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

6.1 ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελλάδα κατέχει ιδιαίτερα χαμηλή θέση στην παγκόσμια κατάταξη, σχετικά με εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού, παρά τη γεωγραφική της θέση (Νότια Ευρώπη) και την ύπαρξη πλήθους νησιών με ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο. Ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται κυρίως για την άρδευση δασικών εκτάσεων κοντά σε κάποιες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Ενδεικτικά αναφέρεται η περίπτωση του **Δήμου Χαλκίδας**, ο οποίος αξιοποίησε τις κατάλληλα επεξεργασμένες εκροές της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων της πόλης κατ' αρχήν για άρδευση της νήσου Πασάς (όπου βρίσκεται η μονάδα) και στη συνέχεια για άρδευση χώρων πρασίνου σε γειτονική περιοχή της Εύβοιας μέσω υποθαλάσσιου αγωγού μεταφοράς (Kanaris, S. et al.,2004).

Σχετικά μικρές ποσότητες επεξεργασμένων αποβλήτων χρησιμοποιούνται στη **Λειβαδιά** και στην **Άμφισσα** για την άρδευση καλλιεργειών βαμβακιού και ελαιώνων, ενώ σε κάποιες περιφερειακές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Κεντάρχου Σερίφου, Αγίου Κωνσταντίνου Σάμου, Καρύστου, Ιερισσού) η εκροή χρησιμοποιείται για την άρδευση παρακείμενων δασικών εκτάσεων (Tsagarakis, K.P. 2001).

Άξιες μνείας είναι επίσης οι ενέργειες της Εταιρίας Υδρεύσεως Αποχετεύσεως **Θεσσαλονίκης** (ΕΥΑΘ) στην κατεύθυνση ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των εκροών της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στη Σίνδο για την άρδευση καλλιεργειών στην πεδιάδα του Αξιού (Εικόνα 6.1). Από το 2006, 175,000 κμ/ημέρα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αναμιγνύονται σε ποσοστό 1:5 με νερό από τον Αξιό ποταμό και χρησιμοποιούνται για την άρδευση 2,500 εκταρίων στην περιοχή Χαλάστρα- Καλοχώρι. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που διοχετεύονται στην εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού περιλαμβάνει προ-επεξεργασία για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων της άμμου και των λοιπών, βιολογική επεξεργασία και απομάκρυνση του αζώτου, καθώς και απομάκρυνση με χλώριο. Η επεξεργασία της λάσπης γίνεται με αναερόβια χώνευση, αφυδάτωση σε φιλτρόπρεσες. Επίσης είναι σε εξέλιξη το πρόγραμμα «Εμπλουτισμός υδροφόρου ορίζοντα ΒΙ.ΠΕ.Θ. με ανακτημένο απόβλητο από την ΕΕΛΘ με χρήση μεμβρανών»



Εικόνα 6.1 Άρδευση καλλιεργειών στην πεδιάδα του Αξιού με ανακτημένο νερό

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ PURE «From Treated Wastewater to Alternative Water Resources in Semi-Arid Regions» συνεχίζονται οι δράσεις για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων στην ευρύτερη περιοχή **Χερσονήσου Κρήτης**. Η Χερσόνησος είναι ένας από τους πιο δημοφιλής προορισμούς στην Κρήτη με περισσότερους από 700,000 επισκέπτες ετησίως ενώ είναι μια από τις ξηρότερες στο νησί με σημαντικές απαιτήσεις σε πόσιμο νερό - ένα μεγάλο ποσοστό του οποίου μεταφέρεται από δεκάδες χιλιόμετρα μακριά. Τα τριτοβάθμια επεξεργασμένα και χλωριωμένα λύματα κατανέμονται μέσα από δίκτυο δεξαμενών, αγωγών, συνδέσεων και δευτεροβάθμιων αρδευτικών δικτύων στα χωράφια. Συνολικά εκτιμάται ότι περισσότερα από 1,000,000 m^3 επεξεργασμένων νερών χρησιμοποιούνται ετησίως για άρδευση κυρίως ελαιώνων. Η μονάδα αυτή είναι η μόνη πανελλαδικά που έχει άδεια για 100 % επαναχρησιμοποίηση της απορροής, κάτι που σημαίνει ότι αυτή είναι η μόνη νόμιμη επιλογή για την τελική διάθεση της επεξεργασμένης απορροής. Αυτή η πρακτική προς το παρόν επιτρέπεται μόνο για περιφραγμένα ελαιόδεντρα. Μετά από μια περίοδο αμφιβολιών από τους αγρότες μεταξύ 1999 και 2004, στη συνέχεια τα επεξεργασμένα νερά είναι πλέον ευρέως αποδεκτά από το ντόπιο πληθυσμό σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε το 2008 η διαθέσιμη ποσότητα επεξεργασμένων νερών να μην μπορεί

να καλύψει τη ζήτηση. Παράλληλα γίνεται μια προσεκτικά σχεδιασμένη μελέτη που προσδιορίζει την πραγματική σχέση μεταξύ χρήσης επεξεργασμένων υγρών απόβλητων στη γεωργία και γαστρεντερικών λοιμώξεων (Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα LIFE+ PURE, http://www.pure-hersonissos.gr).

Έργα επαναχρησιμοποίησης νερού στην Ελλάδα αφορούν συνολικά 320,000 κμ/ημέρα. Το 2011, η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων (ΥΠΕΚΑ) προκήρυξε ένα νέο έργο για την υποστήριξη με Ευρωπαϊκά κονδύλια, έργων επεξεργασίας νερού σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Με την ολοκλήρωση των σχετικών έργων το 2015, αναμένεται σημαντική αύξηση της παραγωγής και χρήσης ανακτημένου νερού.

6.2 ΚΥΠΡΟΣ

Η Κύπρος αντιμετωπίζει εντονότατο πρόβλημα λειψυδρίας για αυτό το λόγο και η σωστή εκμετάλλευση κάθε υδατικού πόρου του τόπου αποτελεί πάγια πολιτική της Κυβέρνησης. Μία βασική πηγή νερού είναι και το ανακτημένο νερό. Σήμερα λειτουργούν 8 μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και βρίσκονται δύο υπό κατασκευή. Επίσης, υπάρχουν 9 μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων κοινοτήτων 2- 10.000 ισοδύναμου πληθυσμού και 13 άλλοι μικροί σταθμοί (προσφυγικοί συνοικισμοί νοσοκομεία, στρατός). Παράγονται 15,4 εκ. m^3 τριτοβάθμια επεξεργασμένο νερό ετησίως και καλύπτει το 8 % της ζήτησης νερού για τη γεωργία. Τα αντίστοιχα νούμερα θα αυξηθούν μέχρι το 2025 σε 85 εκ. m^3 τριτοβάθμια επεξεργασμένο νερό ετησίως.

Ο Σταθμός Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Λάρνακας επεξεργάζεται τα υγρά αστικά απόβλητα με στόχο:

- Να αφαιρέσει το βιολογικό τους φορτίο και άλλες ουσίες ώστε να μη ρυπαίνουν το περιβάλλον και
- Να τα επεξεργαστεί σε τέτοιο βαθμό ώστε το ανακτημένο νερό να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για σκοπούς άρδευσης ή εμπλουτισμού των υπόγειων υδάτων (Πάφος). Κατά τους χειμερινούς μήνες στη Λάρνακα και στη Λεμεσό όταν δεν υπάρχει ζήτηση και επάρκεια χώρου αποθήκευσης τότε μερικές ποσότητες απορρίπτονται στη θάλασσα.

Ο Σταθμός Επεξεργασίας Υγρών αποβλήτων ανακτά νερό κατόπιν τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Έχει σχεδιαστεί για να επεξεργάζεται 8.500 m^3 ημερησίως. Το ανακτημένο νερό διατίθεται για άρδευση κτηνοτροφικών φυτών (τριφύλλι και καλαμπόκι) κατά 75%, για γήπεδα ποδοσφαίρου κατά 8% και για χώρους πρασίνου σε ξενοδοχεία και δημοτικούς κήπους κατά 17%.

Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος είναι η Αρμόδια Αρχή για τον έλεγχο της ποιότητας του ανακυκλωμένου νερού σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ. Σύμφωνα με τους περί Ελέγχου της Ρύπανσης των Νερών Νόμους του 2002 μέχρι 2007, ο Υπουργός Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος παραχωρεί Άδεια Απόρριψης Αποβλήτων στα:

- Συμβούλια Αποχετεύσεων και

- Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων

Μεταξύ άλλων στην Άδεια Απόρριψης καθορίζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και ο τρόπος διάθεσης του ανακυκλωμένου νερού.

Στις Άδειες Απόρριψης ο αριθμός και το είδος των αναλύσεων καθορίζονται για τα Συμβούλια Αποχετεύσεων και για το Τμήμα Υδάτων. Το Τμήμα Υδάτων είναι υπεύθυνο για τη διάθεση του ανακυκλωμένου νερού στα μεγάλα αστικά κέντρα. Για αυτό τον λόγο το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης της Τριτοβάθμιας Επεξεργασίας το αναλαμβάνει η κυβέρνηση. Ταυτόχρονα η Υπηρεσία Περιβάλλοντος παρακολουθεί κατά πόσο ο κάθε σταθμός ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της Άδειας Απόρριψης παίρνοντας δικά της δείγματα για αναλύσεις.

Επίσης ο σταθμός παρακολουθείται από το Τμήμα Υδάτων και τα Συμβούλια Αποχετεύσεων. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου νερού που περιλαμβάνονται στις Άδειες Απόρριψης για τους σταθμούς επεξεργασίας άνω των 2000 ι.π. καθώς και η συχνότητα των αναλύσεων φαίνονται στον **Πίνακα 6.1** που ακολουθεί.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	Μέγιστα Επιτρεπτά Όρια	Συχνότητα Αναλύσεων
BOD5 (mg/l)	10	1/15 μέρες
COD (mg/l)	70	1/15 μέρες
Αιωρούμενα Στερεά (mg/l)	10	1/15 μέρες
Αγωγιμότητα (μS/cm)	2200	1/15 μέρες
Ολικό Αζωτο (mg/l)	15 *	1/15 μέρες
Ολικός Φωσφόρος (mg/l)	10**	1/15 μέρες
Χλωριούχα (mg/l)	300	1/15 μέρες
Λίπη και Ελαία (mg/l)	5	1/15 μέρες
Ψευδάργυρος(mg/l)	1***	3/χρόνο
Χαλκός (mg/l)	0,1	3/χρόνο
Μόλυβδος (mg/l)	0,15	3/χρόνο
Κάδμιο (mg/l)	0,01	3/χρόνο
Υδράργυρος (mg/l)	0,05	3/χρόνο
Χρώμιο (mg/l)	0,1	3/χρόνο
Νικέλιο (mg/l)	0,2	3/χρόνο
Βόριο (mg/l)	0,75	3/χρόνο
Εντερικά Κολοβακτηρίδια	50 / 100ml	1/15 μέρες
Αυγά Εντερικών Παρασίτων	τίποτε/l	4/χρόνο
Υπολειπόμενο Χλώριο (mg/l)	1****	1/15 μέρες
pH	6,5 – 8,5	3/βδομάδα

* για απόρριψη σε ευαίσθητες περιοχές και στη θάλασσα μέγιστο όριο 10 mg/l
** για απόρριψη σε ευαίσθητες περιοχές και στη θάλασσα μέγιστο όριο 2 mg/l
*** για απόρριψη στη θάλασσα μέγιστο όριο 0,1 mg/l
**** για ευαίσθητες περιοχές και θάλασσα 0,5 mg/l

Πίνακας 6.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανακυκλωμένου νερού που περιλαμβάνονται στις Άδειες Απόρριψης για τους σταθμούς επεξεργασίας άνω των 2000 ι.π.

Επίσης, οι προδιαγραφές ποιότητας ανακτημένου νερού από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων σε οικισμούς κάτω των 2000 ισοδύναμου πληθυσμού φαίνονται στον **Πίνακα 6.2**.

8.ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΟΙΚΙΣΜΟΥΣ ΚΑΤΩ ΤΩΝ 2000Ι.Π.

	Επιτρέπεται να αρδεύονται	BOD_5 mg/l	Αιωρούμενα Στερεά mg/l	Εντερικά Κολοβακτηρίδια /100ml	Αυγά Εντερικών Παρασίτων***
1	Όλες οι καλλιέργειες και χώροι πρασίνου με ελεύθερη χρήση (α)	10*	10*	5* 15*	Τίποτε
2	Λαχανικά μαγειρεμένα (β)	10* 15**	10* 15**	50* 100**	Τίποτε
3	Προϊόντα για ανθρώπινη βρώση , χώροι πρασίνου με περιορισμένη χρήση από το κοινό	20* 30**	30* 45**	200* 1000**	Τίποτε
4	Κτηνοτροφικά φυτά	20* 30*	30* 45**	1000* 5000**	Τίποτε
5	Βιομηχανικά Φυτά	50* 70**	--	3000* 10000**	--

* 80% από τα δείγματα, 24 δείγματα / χρόνο
** Μέγιστη αποδεκτή τιμή
*** Συχνότητα δειγματοληψίας μια φορά το χρόνο /καλοκαιρινούς μήνες
(a) Φυλλώδη λαχανικά, βολβοί και κάνδυλοι που τρώγονται ωμοί
(b) Πατάτες, Κολοκάσι, Κοκκινογούλια

Πίνακας 6.2 Προδιαγραφές ποιότητας ανακτημένου νερού από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων σε οικισμούς κάτω των 2000 ισοδύναμου πληθυσμού

Η ποιότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και της παραγόμενης λάσπης, συνάδουν πλήρως με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ελέγχονται τακτικά τόσο από το εργαστήριο του Συμβουλίου Αποχετεύσεων Λάρνακας (ΣΑΛ) όσο και από το Χημείο του Κράτους

(Χρήση ανακυκλωμένου νερού στην Κύπρο, Υπηρεσία Αποχετεύσεων και Ανακύκλωσης, Ιούνιος 2009).

Εικόνα 6.2 Χρήση ανακτημένου νερού στη γεωργία

6.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΕ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα EU-MED προωθεί και παρουσιάζει κατά καιρούς διάφορα παραδείγματα επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού σε ευρωπαϊκές χώρες. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποια από αυτά.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1- Costa Brava, Catalonia

Εικόνα 6.3 Χρήσεις ανακτημένου νερού στη Catalonia

Consorci de la Costa Brava - Ομάδα 27 Δήμων και Κοινοτήτων

Castell Platja d'Aro: Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για την άρδευση δύο γηπέδων γκολφ και δύο αγροτικών περιοχών.

Aiguamolls de l'Emporda (AENP): Διατήρηση των υδάτων μιας λίμνης (υγρότοπος) που έχει κηρυχθεί προστατευόμενη.

Tossa de Mar, Lloret de Mar: Εγκατάσταση δικτύου σωλήνων και χρησιμοποίηση του νερού για πάρκα. Η προοπτική σε επόμενο στάδιο είναι να χρησιμοποιηθεί και σε κήπους κατοίκων.

Εικόνες 6.4 Χρήσεις ανακτημένου νερού στη Catalonia

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2- Baix Llobregat Wastewater Plant in Barcelona

Προβλέπεται η χρήση 50 εκατ. m^3/yr για άρδευση καλλιεργειών, προστασία λιμνών και παρεμπόδιση της υφαλμύρωσης νερών.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3- Vitoria-Gasteiz Integral Recycling Plan

Χρήση για άρδευση καλλιεργειών, παροχή νερού σε παρακείμενο ποταμό και χρήση σε αστικό περιβάλλον (στο μέλλον). Βελτίωση του επιπέδου ζωής των αγροτών - από παραδοσιακές αγροκαλλιέργειες σε σύγχρονες.

Σήμερα αξιοποιούνται 6 εκατ. m^3/yr (στο μέλλον 24 εκατ. m^3/yr). Έχει ήδη κατασκευαστεί ταμιευτήρας 7 εκατ. m^3 για την αποθήκευση μόνο του ανακτημένου νερού που παράγεται κατά τους χειμερινούς μήνες.

Εικόνα 6.5 Χρήσεις ανακτημένου νερού στη Vitoria και ταμιευτήρας αποθήκευσης

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 4- Gran Canaria

Χρήση για άρδευση καλλιεργειών και παρεμπόδιση της υφαλμύρωσης νερών. Προβλέπεται η χρήση 25 εκατ. m^3/yr.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 5- Costa del Sol, Málaga, Spain

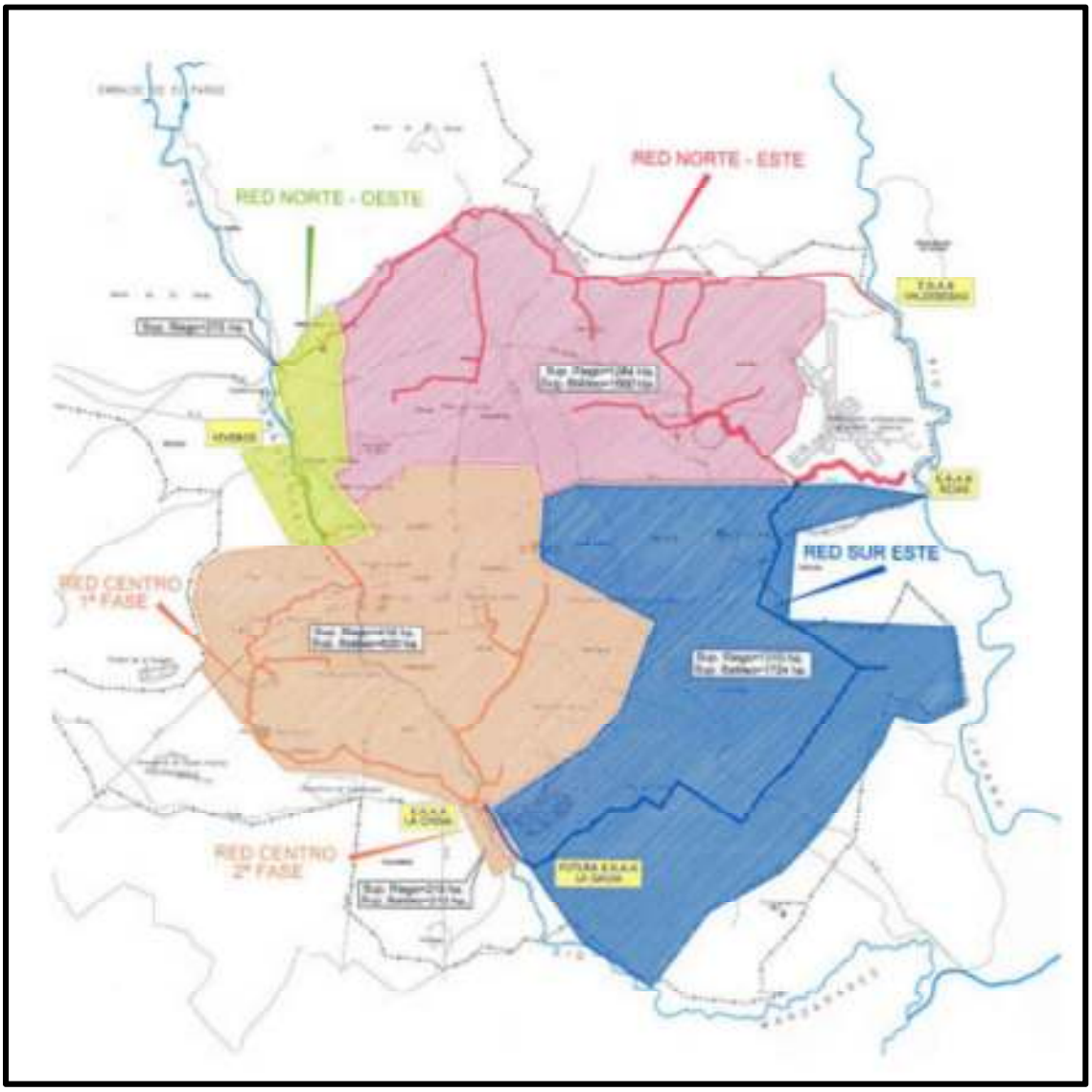
6 σταθμοί επεξεργασίας ανακτημένου νερού σε λειτουργία. Μέγιστη παραγωγή 66,000 m^3/d απολυμασμένα υγρά αστικά απόβλητα που παροχετεύονται σε 34 γήπεδα γκολφ (7 εκατ. m^3/yr).

Εικόνα 6.7 Προβλεπόμενες χρήσεις ανακτημένου νερού στη Malaga

Στο μέλλον προβλέπεται 21 υπάρχοντα γήπεδα γκολφ να δέχονται επεξεργασμένα νερά, με αναμενόμενη ανάγκη σε νερά στα 24 εκατ. m^3/yr.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 6- Madrid, Spain

Χρήση για άρδευση 17 αστικών πάρκων (έκταση: 3700 εκτάρια) μέσω 108 χλμ αγωγών. Το κόστος του κεφαλαίου ήταν 145 εκατ. €. Μείωση κατανάλωσης πόσιμου νερού: 22.7 εκατομ. m^3/yr. Σε μερική λειτουργία: 4.26 εκατομ. m^3/yr παροχετεύτηκαν μέσω του κεντρικού δικτύου (Red Centro που απεικονίζεται ως ροζ περιοχή ενώ οι υπόλοιπες περιοχές με τα υπόλοιπα χρώματα) για την άρδευση 637 εκταρίων πρασίνου, η έκταση του οποίου φαίνεται στην **Εικόνα 6.8**.



Εικόνα 6.8 Χρήσεις ανακτημένου νερού στη Madrid

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 7- Noirmoutier, Γαλλία

Τριτοβάθμια επεξεργασία μέσω lagooning για 6,100 m^3/d. Άρδευση 500 εκταρίων καλλιεργημένα με πατάτες και προστασία περιοχών με όστρακα.

Απαίτηση από τους γεωργούς να χρησιμοποιούν όλη την ποσότητα του ανακτημένου νερού.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 8- Clermont-Ferrand, Γαλλία

Τριτοβάθμια επεξεργασία μέσω lagooning για 10,000 m^3/d. Άρδευση 700 εκταρίων καλλιεργημένα με καλαμπόκι. Πρώτη ευρωπαϊκή επιδημιολογική μελέτη: μη ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην υγεία.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 9- San Rocco, Milano, Ιταλία

Σταθμός επεξεργασίας ανακτημένου νερού (φίλτρανση και UV απολύμανση) με δυνατότητα επεξεργασίας 1 εκατομμυρίου πληθυσμιακού ισοδύναμου (4 m^3/s). Κριτήρια ποιότητας: <10 E. coli / 100 mL. Άρδευση 22,000 εκταρίων με καλλιεργημένα υψηλής ποιότητας σπόρους, εκ των οποίων μερικά τρώγονται ωμά.

Εικόνα 6.9 Χρήσεις ανακτημένου νερού στο Milano

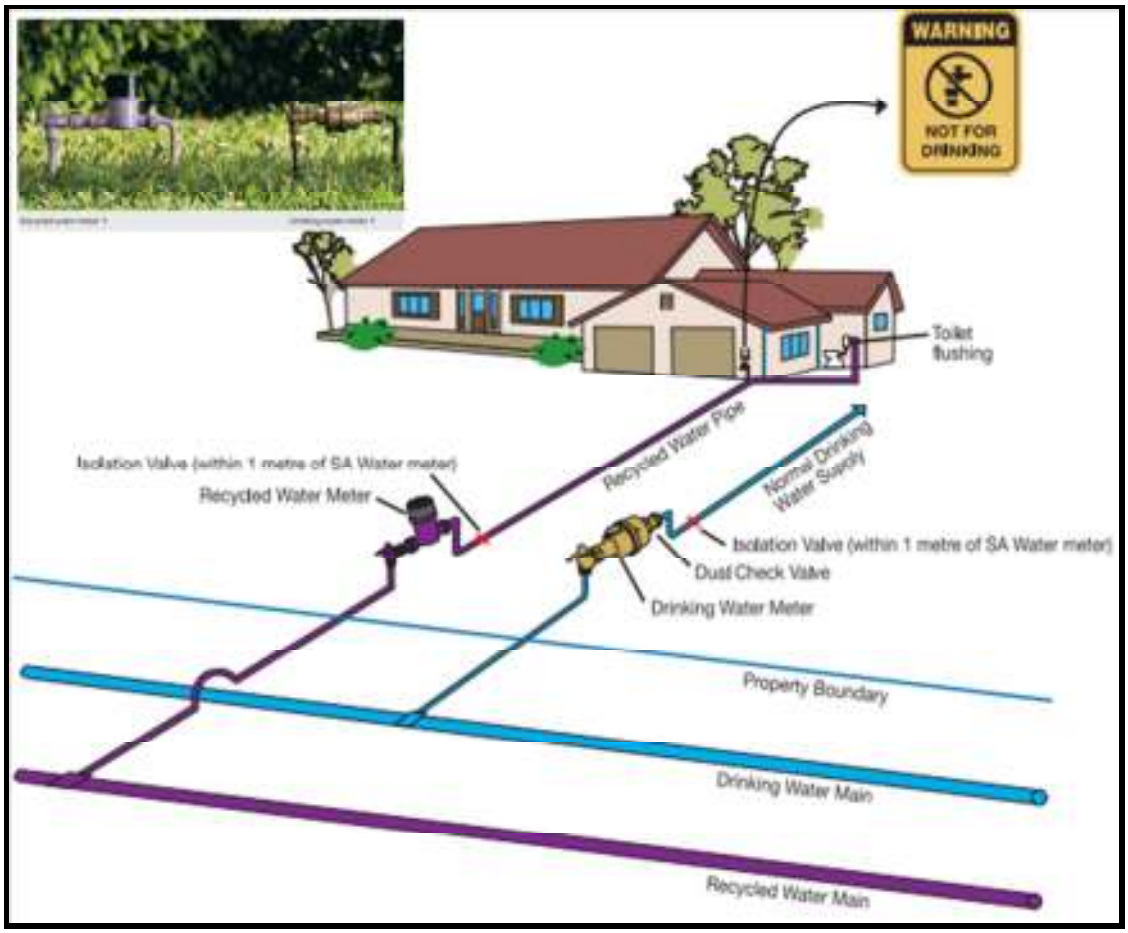
6.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο επιλεγμένες περιπτώσεις εφαρμογών δορυφορικών και αποκεντρωμένων συστημάτων επεξεργασίας, ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού.

6.4.1 Mawson Lakes Recycled Water System

Οι Mawson Lakes είναι ένα προάστιο 11 χιλιομέτρων στην Αυστραλία βόρεια της Αδελαϊδα και ένα σημαντικό τμήμα της ανάπτυξής του είναι το καινοτόμο σύστημα ανάκτησης νερού αξίας 16 εκατομμυρίων δολαρίων το οποίο συμπληρώνει το δίκτυο νερού. Ανακτημένο νερό παραδίδεται σε περίπου 4000 οικίες στην περιοχή και ουσιαστικά εξοικονομούνται 800 μεγαλίτρα πόσιμου νερού ετησίως από τον ποταμό Murray. Το σύστημα διανέμει μείγμα ανακτημένου νερού υψηλής ποιότητας από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Αποβλήτων του SA Water's Bolivar και βρόχινο νερό από το Salisbury που έχει υποστεί επεξεργασία μέσω υγροτόπων. Οι κάτοικοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ανακτημένο νερό στα καζανάκια της τουαλέτας, για το πότισμα του κήπου και το πλύσιμο του αυτοκινήτου. Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται επίσης για την

άρδευση δημόσιων πάρκων. Το ανακτημένο νερό βεβαίως μεταφέρεται μέσω ξεχωριστού δικτύου διανομής, όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 6.10**.



Εικόνα 6.10 Ξεχωριστά δίκτυα διανομής πόσιμου και ανακτημένου νερού

Το έργο αποτελείται από έναν υπόγειο σταθμό άντλησης στο Bolivar, ένα σταθμό χλωρίωσης, περίπου 12 χιλιόμετρα αγωγών άντλησης, μια δεξαμενή αποθήκευσης 2.6 μεγαλίτρων και ένα αντλιοστάσιο στο Greenfields για να μεταφέρει το ανακτημένο νερό στο δίκτυο των Mawson Lakes (Residential Recycled Water Household Guide, Government of South Australia and SA Water).

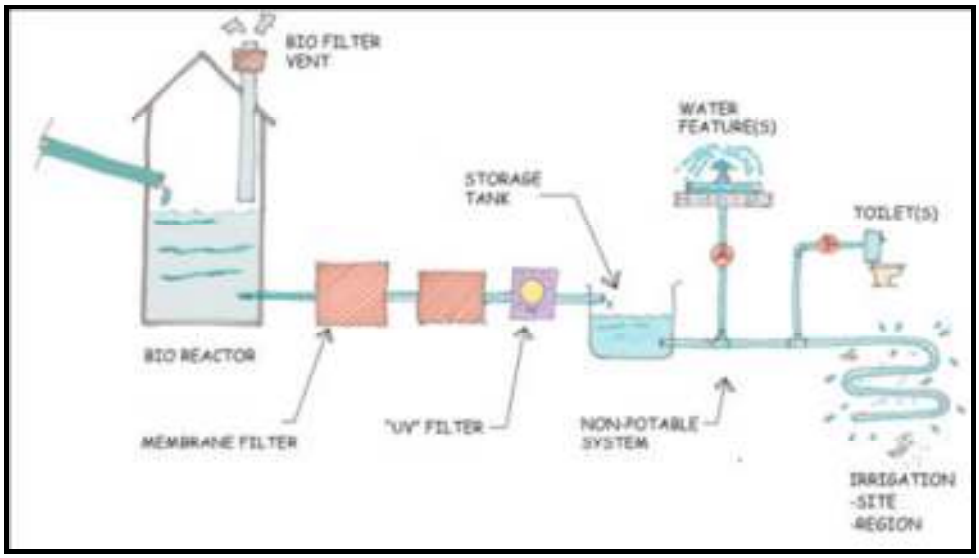
6.4.2 Dockside Green

Το Dockside Green είναι ένα πρόγραμμα ανάπλασης υποβαθμισμένης περιοχής στην πόλη της Victoria. Μία πρώην βιομηχανική τοποθεσία 6.1 εκταρίων έχει μεταμορφωθεί σταδιακά σε μια 120,774 m^2 μικτής χρήσης ανάπτυξη (**Εικόνα 6.11**). Οι αρχές αυτού του σχεδίου ήταν να χρησιμοποιεί μόνο λίγο πόσιμο νερό, στο μέτρο του δυνατού, και όσο το δυνατόν να γίνει ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του, τόσο εντός όσο και εκτός των κτιρίων, αλλά και να ελαχιστοποιήσει τις στεγανές επιφάνειες και να εξαλείψει την απορροή όμβριων νερών. Τέλος, να χρησιμοποιήσει το νερό με βιώσιμο τρόπο ώστε να αποκατασταθεί η οικολογική λειτουργία του. Ένας συνδυασμός από πράσινες στέγες, πορώδη οδοστρώματα και δίκτυα συλλογής οποιουδήποτε επιφανειακού νερού οδηγούν το νερό προς το κατασκευασμένο ποταμάκι. Όλα τα υγρά απόβλητα διαχειρίζονται

επιτόπου σε σταθμό τριτοβάθμιας επεξεργασίας που βρίσκεται κάτω από το ποταμάκι (**Εικόνα 6.12**).

Εικόνα 6.11 Dockside Green, πιστοποίηση LEED ™ Platinum για κτίρια

Το ανακτημένο νερό απολυμαίνεται με UV και στη συνέχεια είτε χλωριώνεται και προωθείται στα κτίρια για χρήση στις τουαλέτες, είτε στέλνεται απευθείας στα εξωτερικά συστήματα άρδευσης ενώ χρησιμοποιείται και για να γεμίζει το ποταμάκι το οποίο λειτουργεί με σύστημα ανακύκλωσης. Το ποταμάκι έχει περίσσεια θρεπτικών συστατικών και αποτελεί κατάλληλο περιβάλλον για καραβίδες, πάπιες και ερωδιούς και τακτικά το επισκέπτονται βίδρες και ελάφια.



Εικόνα 6.12 Διάγραμμα ροής του συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ανακύκλωσης νερού

Το κόστος της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων αντισταθμίστηκε από την προστιθέμενη αξία που έλαβε από τις πωλήσεις των οικισμών που έχουν θέα το ποταμάκι (VanBelleghem). Οι κάτοικοι δεν επιβαρύνονται με έξοδα αποχέτευσης αφού δε χρησιμοποιούν το δίκτυο της πόλης. Επίσης, έχουν μικρούς λογαριασμούς ύδρευσης αφού το πόσιμο νερό που χρειάζονται για κατανάλωση είναι λίγο. Η χρήση του πόσιμου νερού είναι κατά 66,5% κάτω από τα προβλεπόμενα όρια του προτύπου LEED™. Στο Dockside Green λειτουργεί σταθμός που χρησιμοποιεί υπολείμματα ξυλείας και παράγει αέριο και θερμό νερό ο οποίος καλύπτει όλη την ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση των κτιρίων και την παροχή ζεστού νερού. Τέλος, το Clinton Climate Initiative πρόσφατα ανακοίνωσε το Dockside Green μέσα στα 16 διεθνή έργα στον κόσμο που λειτουργούν «Θετικά για το Κλίμα».

Εικόνα 6.13 Dockside Green

7 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ, ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

7.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι τεχνικές βελτιστοποίησης είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (Shah, 2005, Παπαγεωργίου, 2009). Στη συνέχεια θα αναπτυχθούν οι διάφορες προσπάθειες που έχουν γίνει ήδη από το 2001 και έχουν δρομολογήσει την εξέλιξη των διαφόρων εργαλείων μέχρι σήμερα.

- Οι Reca et al. (2001) πρότειναν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης για τη βέλτιστη κατανομή νερού στο σχεδιασμό των πολύπλοκων ελλειμματικών υδατικών πόρων της γεωργίας και τη μεγιστοποίηση του συνολικού οικονομικού οφέλους.
- Οι Γεωργοπούλου et al. (2001) θεώρησαν την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση ως μια εναλλακτική στρατηγική ύδρευσης, και ανέπτυξαν ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων για τη διερεύνηση της σκοπιμότητας και της εφαρμογής της εναλλακτικής στρατηγικής.
- Οι Wang και Jamieson (2002) παρουσίασαν μια αντικειμενική προσέγγιση για το σχεδιασμό και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που βασίζεται στη συνδυασμένη χρήση των γενετικών αλγορίθμων (GA) και τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN), για να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.
- Οι Voivontas et al. (2003) πρότειναν ένα μαθηματικό μοντέλο για να προσδιορίσουν την οικονομικά βέλτιστη παροχή ύδρευσης στην υπάρχουσα υποδομή της Πάρου στην Ελλάδα.
- Οι Draper et al. (2003) παρουσίασαν ένα οικονομικοτεχνικό μοντέλο βελτιστοποίησης του μείζονος συστήματος ύδρευσης της Καλιφόρνια. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να προτείνει ενέργειες διευκόλυνσης για το νερό και κατανομές, έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουν την οικονομική αξία της γεωργικής και αστικής χρήσης νερού στο κύριο σύστημα ύδρευσης της Καλιφόρνια.
- Αργότερα, οι Medellín-Azuara et al. (2007) εφάρμοσαν το ίδιο οικονομικό μοντέλο για να διερευνήσουν εναλλακτικές λύσεις και να ενσωματώσουν τη διαχείριση των υδάτων, όπως είναι οι αγορές υδάτων, η επαναχρησιμοποίηση και η αφαλάτωση θαλασσινού νερού, στο Ensenada, Μεξικό.
- Οι Leitão et al. (2005) ανέπτυξαν ένα μοντέλο υποστήριξης αποφάσεων για την ανίχνευση και τον εντοπισμό των περιφερειακών συστημάτων υγρών αποβλήτων, όσον αφορά τον αριθμό των ικανοτήτων, και τις θέσεις των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και το μήκος των

κύριων αποχετευτικών αγωγών, με βάση τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και τα μοντέλα θέσης.

- Οι Zechman και Ranjithan (2007) εφάρμοσαν ένα εκτεταμένο εξελικτικό αλγόριθμο για να παράγει εναλλακτικές λύσεις (EAGA) σε ένα περιφερειακό δίκτυο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.
- Οι Joksimovic et al. (2008) ανέπτυξαν το λογισμικό υποστήριξης αποφάσεων (DSS) για την επεξεργασία νερού για επαναχρησιμοποίηση με δίκτυο διανομής, στην οποία η προσέγγιση της GA χρησιμοποιείται για την καλύτερη επιλογή των πελατών.
- Οι Han et al. (2008) παρουσίασαν ένα πολυσύνθετο γραμμικό μοντέλο προγραμματισμού για την κατανομή των διαφόρων υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων υδάτων, των επιφανειακών υδάτων, ανακτημένο νερό, βρόχινο νερό, θαλασσινό νερό, κλπ., μεταξύ των δαιφόρων χρηστών και το εφάρμοσαν για την ύδρευση και τη ζήτηση στο Dalian, Κίνα.
- Οι Cunha et al. (2009) παρουσίασαν ένα μικτό ακέραιο μη γραμμικό προγραμματισμό (MINLP) για τον περιφερειακό σχεδιασμό των συστημάτων αποχέτευσης, καθώς και ένα μοντέλο προσομοίωσης ανόπτησης (SA) που αναπτύχθηκε για την επίλυση του μοντέλου για τη βελτιστοποίηση της διάταξης των δικτύων αποχέτευσης, την τοποθεσία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, κλπ., για το σύστημα αποχέτευσης της περιοχής.
- Οι Ray et al. (2010) πρότειναν ένα στατικό και ντετερμινιστικό γραμμικό προγραμματισμό (LP) για τη βελτιστοποίηση του ελάχιστου κόστους των μελλοντικών παροχών ύδρευσης, διάθεσης υγρών αποβλήτων, την επαναχρησιμοποίηση και επιλογές για μια παράκτια πόλη. Το ολοκληρωμένο μοντέλο βελτιστοποίησης εφαρμόστηκε με επιτυχία στη Βηρυτό του Λιβάνου.
- Οι Κονδύλη et al. (2010) προτείνουν μια συστηματική προσέγγιση για το βέλτιστο σχεδιασμό των υδατικών συστημάτων με πολλαπλές πηγές προμήθειας και πολλούς χρήστες. Το όφελος από τους χρήστες και το κόστος νερού από πηγές νερού θεωρούνται στην αντικειμενική συνάρτηση, αλλά το κόστος για τη διανομή του νερού δεν περιλαμβάνεται.

Σύμφωνα με την έρευνα που έχουμε κάνει μέχρι στιγμής, καμία εργασία δεν έχει θεωρήσει τη διαχείριση της παραγωγής, διανομής και αποθήκευσης του αφαλατωμένου νερού και του ανακτημένου νερού, καθώς και τη συλλογή και επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, ταυτόχρονα, με την ολοκλήρωση μεταξύ πόσιμου και μη πόσιμου υδατικού συστήματος.

Στην παρούσα εργασία, προτείνουμε μια προσέγγιση βελτιστοποίησης με χρήση τεχνικών μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP) για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων της αφαλάτωσης, υγρών αποβλήτων και ανακτημένου νερού. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, οι θέσεις και οι δυναμικότητες της αφαλάτωσης, των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και των συστημάτων ανάκτησης νερού, τα κύρια δίκτυα αγωγών, ο αριθμός και τα είδη των αντλιών και δεξαμενών αποθήκευσης για όλες τις παροχές νερού θα βελτιστοποιηθούν.

7.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο πρόβλημα της βελτιστοποίησης της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων, τα ακόλουθα είναι δεδομένα:

- Περιοχές, κόμβοι (αστικά κέντρα και πιθανές θέσεις εγκαταστάσεων), ζεύγη αποστάσεων, αποστάσεις και υψόμετρα αντλήσεως μεταξύ των κόμβων
- Ανάγκες πόσιμου και μη πόσιμου νερού, παραγωγή υγρών αποβλήτων και διαθεσιμότητα υπόγειων υδάτων κατά τη διάρκεια κάθε χρονικής περιόδου
- Επενδύσεις κεφαλαίου, κόστος κεφαλαίου αφαλάτωσης, επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ανάκτησης νερού σε πολλαπλά επίπεδα δυναμικότητας
- Κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα αφαλατωμένου νερού, επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και παραγωγή ανακτημένου νερού (πρόσθετη επεξεργασία μετά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων), σε πολλαπλά επίπεδα παραγωγής.
- Μονάδα κόστους των σωληνώσεων, εξαρτημένο από τη διάμετρο των σωληνώσεων
- Κόστος κεφαλαίου των δεξαμενών αποθήκευσης, εξαρτημένο από το μέγεθος της δεξαμενής
- Τύπος, κόστος και απόδοση των αντλιών
- Μονάδα κόστους ηλεκτρισμού

Ενώ πρέπει να καθοριστούν τα παρακάτω:

- Τοποθεσίες και δυναμικότητα των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ανάκτησης νερού
- Κεντρικά δίκτυα μεταφοράς που θα εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ανάκτησης νερού περιλαμβανομένου διαμέτρου των αγωγών μεταφοράς.
- Ημερήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού, υγρών αποβλήτων και ανακτημένου νερού σε κάθε εποχή
- Κύριες παροχές αφαλατωμένου νερού, υγρών αποβλήτων και ανακτημένου νερού σε κάθε εποχή
- Αριθμός, τύπος και ρυθμούς λειτουργίας των απαραίτητων αντλιών για κάθε διασύνδεση
- Τοποθεσία και χωρητικότητα δεξαμενών αποθήκευσης πόσιμου και ανακτημένου νερού

Με σκοπό να μειωθεί το συνολικό ετήσιο κόστος, το οποίο περιλαμβάνει τα κόστη κεφαλαίου και λειτουργίας.

7.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για την επίλυση του προβλήματος, έγιναν κάποιες βασικές παραδοχές που αναλύονται παρακάτω. Στην παρούσα μελέτη:

- Υποθέσαμε ότι μόνο το 60% της συνολικής κατανάλωσης αστικού νερού απαιτεί ποιότητα πόσιμου νερού, ενώ το 30% που αφορά

άρδευση κήπων και το υπόλοιπο 10% που καταναλώνεται στα καζανάκια της τουαλέτας μπορεί να χρησιμοποιήσει ανακτημένο νερό.

- Εφαρμόστηκε το πράσινο σενάριο: να μειωθούν οι απολήψεις νερού από τις γεωτρήσεις κατά 20%, σε σχέση με τους σημερινούς ρυθμούς απόληψης, ώστε να αποφευχθεί η υπερεκμετάλλευση και υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα
- Εξετάζεται μόνο η αστική χρήση του νερού, σε ποσότητες που αντιστοιχούν στην θεωρητική κατά κεφαλή κατανάλωση ύδατος από τον μόνιμο πληθυσμό, τους παραθεριστές και τους τουρίστες.
- Για να εκτιμηθεί η θεωρητική αστική ζήτηση πόσιμου νερού, θεωρούμε ότι οι μόνιμοι κάτοικοι που μένουν στο νησί 30 μέρες το μήνα καταναλώνουν **0,30 m^3/(capd·day)** κατά μέσο όρο τη θερινή περίοδο και **0,20 m^3/(capd·day)** κατά μέσο όρο τη χειμερινή περίοδο.
- Θεωρούμε ότι οι απώλειες του δικτύου διανομής πόσιμου νερού ανέρχονται σε 25%.
- Το 70% του νερού που καταναλώνεται για αστικές εφαρμογές οδηγείται στην αποχέτευση ενώ το 30% χρησιμοποιείται για άρδευση (π.χ. σε κήπους), για πλύση αυτοκινήτων και γενικά για εφαρμογές που δεν το κατευθύνουν στην αποχέτευση. Από τα υγρά απόβλητα που παράχθηκαν, εκτιμάται ότι το 90% μπορεί να ανακτηθεί για περαιτέρω χρήση.

7.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Στη συνέχεια, αναπτύσσεται αναλυτικά η προσέγγιση υπολογισμού του συνολικού ετήσιου κόστους. Το συνολικό ετήσιο κόστος για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών μιας περιοχής περιλαμβάνει τα πιο κάτω κόστη ανηγμένα σε ετήσια βάση:

- Επεξεργασία του νερού (απόσβεση υποδομών και λειτουργικό κόστος)
- Μεταφορά, αποθήκευση και διανομή του νερού (απόσβεση υποδομών και λειτουργικό κόστος)

Συγκεκριμένα, το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει το κόστος επένδυσης για τις εγκαταστάσεις, των σωληνώσεων μεταφοράς, τις αντλίες και τις δεξαμενές αποθήκευσης. Το κόστος λειτουργίας περιλαμβάνει το λειτουργικό κόστος παραγωγής και άντλησης και το κόστος συντήρησης. Για να υπολογιστεί το ετήσιο κόστος κεφαλαίου, το κόστος κεφαλαίου πολλαπλασιάζεται με τον Συντελεστή Ανάκτησης Κεφαλαίου (CRF), (r • (1 + r) n / (1 + r) n -1), όπου το r είναι το επιτόκιο και n η διάρκεια ζωής του έργου. Η διάρκεια ζωής του έργου έχει οριστεί στα 20 χρόνια και οι υπολογισμοί έχουν γίνει με επιτόκιο 5%.

Το κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση είναι συνάρτηση της δυναμικότητας κάθε εγκατάστασης. Οι τιμές κόστους που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη φαίνονται στον **Πίνακα 7.1**. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας έχει θεωρηθεί ως 0.15 US($)/kWh.

Δυναμικότητα (m^3/day)	Εγκατάσταση αφαλάτωσης	Εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Εγκατάσταση ανάκτησης νερού
100	100	190	80
1000	650	1300	320
2500	1500	2400	800
5000	2300	5100	1200
10000	3200	10000	1600

Πίνακας 7.1 Κόστη επενδύσεων για τις διάφορες εγκαταστάσεις (1000 US$)

Το κόστος για τις σωληνώσεις μεταφοράς είναι συνάρτηση της διαμέτρου των σωληνώσεων ενώ η μέγιστη ταχύτητα ροής εντός των σωληνώσεων έχει ληφθεί ως 0.8m/s και 1.0m/s αντίστοιχα για το νερό και τα υγρά απόβλητα. Ο συντελεστής μετατροπής α ως 24 x 36500 x 0.2542 ≈ 55.74. Ομοίως, το κόστος των αντλιών έχει ληφθεί ως συνάρτηση της δυναμικότητας των αντλιών. Στην Εξίσωση Hazen- Williams, η σταθερά τραχύτητας C που χρησιμοποιήθηκε για πλαστικές σωληνώσεις έχει ληφθεί ίση με 150 και ο συντελεστής μετατροπής b ίσως με 167.5/242 ≈ 0.452. Δύο μέρες αποθήκευσης έχει θεωρηθεί κατά τον υπολογισμό της χωρητικότητας των αποθηκευτικών δεξαμενών που έχουν κατασκευαστεί από σκυρόδεμα.

Η υποδομή για τη διανομή του νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα δεν έχει ληφθεί υπόψη καθώς υπάρχει ήδη δίκτυο διανομής. Τα υπόγεια νερά θεωρούνται ως μηδενικού κόστους, επομένως έχει ληφθεί υπόψη μόνο το κόστος άντλησης, το οποίο είναι συνάρτηση του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα και της παροχής άντλησης. Από το MASTER PLAN Ύδρευσης-Αποχέτευσης (2001) ελήφθησαν τα βάθη του υδροφόρου ορίζοντα και έχει ληφθεί ως κόστος άντλησης 0.15$/$m^3$ για βάθος υδροφόρου ορίζοντα 200m. Αναλογικά λοιπόν, τα κόστη γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν εμφανίζονται στον **Πίνακα 7.2**.

Δήμος Πάρου	Μ.Ο. βάθους γεωτρήσεων	Κόστος γεωτρήσεων (US$/m3)
Δ.Δ.Ναούσης	93	0.070
Δ.Δ.Πάρου	123	0.092
Δ.Δ.Κώστου	72	0.054
Δ.Δ.Αρχιλόχου	120	0.090
Δ.Δ.Μαρπήσσης	60	0.045
Δ.Δ.Αγκαιριάς	195	0.146
Δ.Δ.Λευκών	163	0.122
Δήμος Αντιπάρου	93	0.070

Πίνακας 7.2 Κόστη γεωτρήσεων για τις διάφορες περιοχές

Το νερό από τις γεωτρήσεις θεωρείται ότι χρησιμοποιείται τοπικά, επομένως δεν επιτρέπεται μεταφορά νερού από τη μία περιοχή στην άλλη.

8 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ

Στην Ελλάδα γίνεται κατ' ουσία ελάχιστη ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση νερού και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μόλις πρόσφατα θεσπίστηκαν ποιοτικά κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση νερού.

Πολλά μέρη της Ελλάδας έχουν ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο, φαινόμενο που επιδεινώνεται σε συνδυασμό με την αυξανόμενη τουριστική ανάπτυξη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους, πολλά από τα οποία βασίζονται σε αφαλάτωση θαλασσινού νερού ή/και σε εισαγωγή νερού από την ενδοχώρα για να καλύψουν τις ανάγκες τους, ιδίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Πρόσφατες τεχνοοικονομικές αναλύσεις έχουν καταδείξει ότι επαναχρησιμοποίηση νερού σε νησιωτικές περιοχές της Μεσογείου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση στις συνολικές δαπάνες που γίνονται για την προμήθεια γλυκού νερού (Gikas and Tchobanoglous, 2008). Σε περιοχές λοιπόν που υπάρχει ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο πρέπει να ενθαρρυνθεί ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση νερού.

Σύμφωνα με την Έκθεση του Επιχειρησιακού Προγράμματος για το Περιβάλλον και την Αειφόρο Ανάπτυξη για την περίοδο 2007-2013, η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από άνιση, χωρικά και χρονικά, κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο, καθώς το 24% της συνολικής έκτασης της χώρας δέχεται το 36% των συνολικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ενώ στη Νότια Ελλάδα το 80% των ετήσιων βροχοπτώσεων συγκεντρώνεται κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ το θερινό ύψος της βροχής αυξάνει προς βορρά. Η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χρόνο είναι αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς. Η γεωργική δραστηριότητα αποτελεί το μεγαλύτερο καταναλωτή του χρησιμοποιούμενου νερού (ποσοστό 87%) με κατανάλωση ιδίως κατά τη ξηρή περίοδο. Την ίδια περίοδο και ειδικότερα τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο η κατανάλωση νερού ύδρευσης υπερδιπλασιάζεται λόγω του τουρισμού, κυρίως στις νησιωτικές περιοχές. Επιπλέον, σε πολλές περιοχές της χώρας παρατηρείται υφαλμύρωση των υπόγειων υδροφορέων λόγω του συνδυασμού κλιματικών συνθηκών και υπεράντλησης για την κάλυψη αρδευτικών και υδρευτικών σκοπών.

Σύμφωνα με τις εθνικές προτεραιότητες για την Ελλάδα (εργαλείο χρηματοδότησης Γενικής Διεύθυνσης Περιβάλλοντος LIFE+- Πρόσκληση για υποβολή προτάσεων 2011, http://ec.europa.eu/environment/life/funding/lifeplus2011/call/documents/nap_greece2011.pdf), τα προβλήματα που εντοπίζονται σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης των νερών είναι τα εξής:

- Έλλειψη αξιόπιστης καταγραφής των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων των επιφανειακών και υπόγειων νερών.
- Ελλιπής καταγραφή χρήσεων και χρηστών νερού και δυσχέρεια συντονισμού μεταξύ των αρμόδιων φορέων.

- Ευκαιριακές εκμεταλλεύσεις μεμονωμένων υδατικών συστημάτων και υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών, καθώς και απουσία μέριμνας για την εξοικονόμηση νερού, ιδιαίτερα στο γεωργικό τομέα.
- Έλλειψη κοστολόγησης και πολιτικής τιμολόγησης των νερών.

Ως μακροπρόθεσμη ανάγκη για την άρση των προαναφερόμενων προβλημάτων θεωρείται η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, η οποία εστιάζει στην επίτευξη και διατήρηση της καλής κατάστασης σε όλα τα υδατικά συστήματα. Στο πλαίσιο αυτό η επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων, που αναφέρονται στην Οδηγία Πλαίσιο 2000/60 ΕΚ για τα νερά αποτελεί την κυριότερη ανάγκη. Οι ανάγκες αυτές επιτείνονται από τη συνεχιζόμενη λειψυδρία των τελευταίων ετών και από τις αναμενόμενες επιπτώσεις στα νερά λόγω της κλιματικής αλλαγής.

8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ

Το νησί της Πάρου βρίσκεται στο κέντρο του νησιώτικου συγκροτήματος των 24 κατοικημένων νησιών των Κυκλάδων. Έχει έκταση 195 km^2 και σχήμα ελλειψοειδές με μέγιστο άξονα ΒΒΑ -ΝΝΔ, που συμπίπτει με το άξονα της βασικής οριογραμμής του. Το μέγιστο υψόμετρο του νησιού φτάνει τα 771 μέτρα στον Πρ. Ηλία - Αγ. Πάντες. Σημαντικό μέρος των ακτών του νησιού, μήκους 120 km, είναι απότομες και βραχώδεις, αλλά διακόπτονται από αρκετούς κολπίσκους με μικρές αμμώδεις παραλίες. Οι δύο μεγάλοι φυσικοί όρμοι της Παροικίας και της Νάουσας έχουν ωραίες παραλίες στο εσωτερικό τους, ενώ μεγάλες αμμουδιές υπάρχουν και στην ανατολική πλευρά του νησιού προς τη Νάξο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εδαφών της Πάρου είναι ημιορεινά. Τα εδάφη γενικά θεωρούνται φτωχά ή μέτρια, πετρώδη, με εξαίρεση τις αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις που βρίσκονται κυρίως ανατολικά, στις κοινότητες Μάρπησσας και Αρχίλοχου.

Σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ), ο μόνιμος πληθυσμός (απογραφή 2001) της Πάρου είναι 12.514 ενώ οι εξοχικές κατοικίες πλησιάζουν τον αριθμό των κύριων νοικοκυριών. Εκτός των παραθεριστών όμως, οι τουρίστες τους θερινούς μήνες κατακλύζουν το νησί αφού η Πάρος είναι ένα από τα πιο τουριστικά νησιά του Αιγαίου αλλά και από τα πιο εύφορα των Κυκλάδων. Η ραγδαία οικιστική ανάπτυξη μεταβάλλει τη δομή της οικονομίας του νησιού μεταβάλλοντας και τον προσανατολισμό του τομέα παροχής υπηρεσιών, καθώς οι επισκέπτες δεν είναι πλέον στην πλειονότητά τους παροδικοί, αλλά μπορούν να χαρακτηριστούν ως εποχιακοί κάτοικοι. Αυτό δημιουργεί νέες τάσεις, αλλά και αρκετά προβλήματα στις απαιτούμενες υποδομές και την φέρουσα ικανότητα του νησιού.

Το κλίμα της είναι εύκρατο και οι χειμώνες συνήθως ήπιοι με λίγες βροχές. Τους καλοκαιρινούς μήνες και κυρίως τον Αύγουστο στο νησί πνέουν άνεμοι, τα γνωστά «μελτέμια». Η αμπελουργία είναι πολύ ανεπτυγμένη, στο νησί υπάρχουν σήμερα σύγχρονα οινοποιεία με πολύ μεγάλη παραγωγή κρασιού, τα παριανά κρασιά είναι φημισμένα σε όλο τον κόσμο. Εκτός από το κρασί, η Πάρος παράγει λάδι, δημητριακά και φρούτα. Οι κάτοικοι ασχολούνται με την αλιεία και την κτηνοτροφία. Στο νησί γίνεται μεγάλη παραγωγή ντόπιων τυριών. Κύριο χαρακτηριστικό του νησιού είναι οι γρανίτες με ασβεστολιθικές «νησίδες» που υπάρχουν στο υπέδαφος της.

Το μάρμαρο της Πάρου, ο περίφημος «λυχνίτης», ήταν περιζήτητο υλικό κατά την αρχαιότητα εξ αιτίας της ικανότητάς του να αιχμαλωτίζει το φως μέσα στο λευκό του χρώμα.

Σχήμα 8.1 Τοποθεσία της Πάρου

8.1.1 Υδρολογική Κατάσταση της Πάρου

Το νησί της Πάρου από υδρολογικής σκοπιάς παρουσιάζει μεγάλη υδροφορία σε σύγκριση με άλλα νησιά των Κυκλάδων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η συνεχής ροή των δύο μικρών ποταμών που εκβάλλουν στη Νάουσα διασχίζοντας όλη τη βορειοανατολική Πάρο. Παρατηρείται ακόμα ότι μέσα στο βυθό της θαλάσσιας περιοχής, αναβλύζει γλυκό νερό. Τα ίδια φαινόμενα παρατηρούνται και στη περιοχή του Δρυού. Παλαιότερα μάλιστα στο νησί υπήρχαν έντονες και συνεχείς ποτάμιες ροές όπως του ποταμού Έλητα ή του ποταμού Συρίγου. Οι ποταμοί αυτοί διατηρούσαν τη ροή τους ακόμα και μετά το καλοκαίρι. Πηγές ανάβλυζαν στο Ιστέρνιο, στις Καμάρες, στον Αγ. Αντώνιο και αλλού. Τέλος υπάρχουν αρκετά πηγάδια με ικανές ποσότητες νερού καλής ποιότητας στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού.

Τα τελευταία χρόνια λόγω του μεγάλου βαθμού υδρομάστευσης εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης για την κάλυψη των αναγκών κατά τους θερινούς μήνες, παρατηρούνται φαινόμενα ξήρανσης των ποταμών και των πηγαδιών σε όλο το νησί. Οι περισσότερο ευνοημένες περιοχές από υδρολογική άποψη είναι οι περιοχές της Νάουσας και του Δρυού, χωρίς

όμως να υστερούν οι οικισμοί των Μαρμάρων, Προδρόμου και Μάρπησσας. Πρόβλημα μεγάλης υδρολογικής υποβάθμισης αντιμετωπίζει κυρίως η δυτική πλευρά του νησιού, με την Παροικία, την Αγκαιριά και την Αλυκή. Στη διαχειριστική ενότητα της Πάρου, σύμφωνα με το κείμενο διαβούλευσης επί των προσχεδίων διαχείρισης των υδατικών πόρων των νησιών του Αιγαίου, μεγαλώνουν σημαντικά τα υδρευτικά ελλείμματα λόγω της αναμενόμενης αυξητικής τάσης της ζήτησης, πράγμα που θα επιφέρει ταυτόχρονα ανάλογη αύξηση των αρδευτικών ελλειμμάτων (προτεραιότητα κάλυψης των υδρευτικών αναγκών).

8.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

Το νησί Σαντορίνη ή Θήρα ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων, στο νότιο Αιγαίο πέλαγος. Απέχει από τον Πειραιά 128 ναυτικά μίλια με έκταση που φτάνει τα 81,5 km^2. Είναι γνωστή για τα ηφαίστειά της, που είναι τα νεότερα ηφαίστεια της Ελλάδας και από τα πιο ενεργά της Ευρώπης. Η Σαντορίνη ανήκει στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου και χαρακτηρίζεται σαν ενεργό ηφαίστειο.

Η Μινωική έκρηξη που έγινε στο νησί αυτό το 1613 π.Χ. είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία της καλντέρας της Σαντορίνης και την καταστροφή του προϊστορικού πολιτισμού του νησιού και έδωσε στο αρχικά στρογγυλό νησί την ημικυκλική και πεταλοειδή μορφή του. Η όψη της από τη πλευρά του ηφαιστείου παρουσιάζεται βραχώδης και απόκρημνη σε αντίθεση με την ομαλότητα του εδάφους της στο υπόλοιπό της. Το κλίμα είναι υγρό αλλά υγιεινό ενώ το έδαφος είναι κατά το πλείστον ελαφρόπετρα ιδανική για καλλιέργεια.

Το κυριότερο εξαγωγικό προϊόν της Σαντορίνης είναι το κρασί, καθώς τα αμπέλια του νησιού ευνοούνται από το ηφαιστειογενές έδαφος σε συνδυασμό με τις λιγοστές βροχές, αλλά και τους ανέμους που επικρατούν στο νησί. Τα κυριότερα είδη είναι το νυχτέρι και το φημισμένο Βινσάντο (Vino Santo) που χρησιμοποιείται από την καθολική εκκλησία ως Θεία Κοινωνία. Στα προϊόντα τοπικής παραγωγής ανήκουν επίσης τα ντοματάκια (ντομάτες σε μέγεθος κερασιού), η φάβα και τα κατσούνια (είδος αγγουριού). Τοπικά εδέσματα είναι τα μελιτίνια σαντορίνης και οι ντοματοκεφτέδες.

Σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ), ο μόνιμος πληθυσμός (απογραφή 2001) της Σαντορίνης είναι 13.725 ενώ οι εξοχικές κατοικίες πλησιάζουν τον αριθμό των κύριων νοικοκυριών. Εκτός των παραθεριστών, οι τουρίστες τους θερινούς μήνες κατακλύζουν το νησί αφού η Σαντορίνη είναι ένα από τα πιο τουριστικά νησιά του Αιγαίου.

Σχήμα 8.2 Τοποθεσία της Σαντορίνης

8.2.1 Υδρολογική Κατάσταση της Σαντορίνης

Η διαχειριστική ενότητα της Σαντορίνης είναι έντονα ελλειμματική σε ότι αφορά τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων. Οι υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες της νήσου, καλύπτονται κυρίως από τους υπόγειους υδροφορείς καθώς στο νησί δεν υπάρχουν αξιόλογα έργα ταμίευσης ύδατος. Το κόστος των φυσικών πόρων κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα και συγκεκριμένα σε 75% για τη χρήση ύδρευσης και σε 85% για τη χρήση άρδευσης.

Παραδοσιακά, οι κάτοικοι του νησιού συλλέγουν τα όμβρια ύδατα σε ιδιωτικές ή δημόσιες στέρνες. Μέσω των πολλών γεωτρήσεων στο νησί, έχουν μειωθεί αρκετά τα υπόγεια ύδατα, τα οποία είναι και κακής ποιότητας.

8.3 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΎΔΡΕΥΣΗΣ

Οι ανάγκες για πόσιμο και μη- πόσιμο νερό σήμερα καλύπτονται από τη χρήση υπόγειων νερών και αφαλατωμένου νερού ενώ δεν υπάρχει υποδομή διπλού δικτύου σωληνώσεων για την μεταφορά ανακτημένου νερού.

8.3.1 Πάρος- Αντίπαρος

Ο **Πίνακας 8.1** παρουσιάζει τη συνολική κατανάλωση νερού ύδρευσης στην Πάρο το 2009 ανά Δημοτικό Διαμέρισμα, με βάση καταγεγραμμένα στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Π. Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών το κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα πήρε αύξων αριθμό σύμφωνα με τον **Πίνακα 8.1** και αποτελεί πλέον διαφορετική περιοχή.

	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΕΤΡΑΜΗΝΑ (σε m^3 νερού)			ΣΥΝΟΛΟ
		1st	2nd	3rd	
Δ.Δ. Ναούσης	1	72.374	188.163	108.869	369.406
Δ.Δ. Πάρου	2	114.839	245.171	146.899	506.909
Δ.Δ. Κώστου	3	11.460	36.739	18.006	66.205
Δ.Δ. Αρχιλόχου	4	18.528	35.733	24.992	79.253
Δ.Δ. Μαρπήσσης	5	28.909	103.608	42.179	174.696
Δ.Δ. Αγκαιριάς	6	26.462	67.993	44.226	138.681
Δ.Δ. Λευκών	7	11.688	29.530	20.436	61.654
					1.027.398

Πίνακας 8.1 Συνολική κατανάλωση νερού ανά Δημοτικό Διαμέρισμα (Δ.Ε.Υ.Α.Π, 2009)

Σε όλα τα σημεία της μελέτης, γίνεται η βασική παραδοχή ότι η θερινή περίοδος στην Πάρο και στην Αντίπαρο είναι τους 4 μήνες από Μάϊο έως και Αύγουστο οπόταν παρατηρείται και η μεγαλύτερη τουριστική κίνηση. Είναι εμφανής και στον **Πίνακα 8.1** η αύξηση της κατανάλωσης κατά τους μήνες αυτούς. Επομένως, για τους υπολογισμούς της κατανάλωσης νερού ύδρευσης ανά θερινή/ χειμερινή περίοδο, θεωρούμε ότι το δεύτερο τετράμηνο αφορά τη θερινή περίοδο. Επομένως, η μέση κατανάλωση ανά μήνα μπορεί να προσεγγιστεί ως ακολούθως:

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	47.041	61.293	9.185	8.933	25.902	16.998	7.383	60.000
Χειμερινή περίοδος	22.655	32.717	3.683	5.440	8.886	8.836	4.016	30.000

Πίνακας 8.2 Συνολική μηνιαία κατανάλωση νερού ανά Δημοτικό Διαμέρισμα, όπως καταγράφεται από τους μετρητές της Δ.Ε.Υ.Α.Π. (m^3/month)

8.3.2 Σαντορίνη- Θηρασιά

Η παροχή νερού είναι ευθύνη της ΔΕΥΑ Θήρας, η δημοτική αρχή για την αποχέτευση των υγρών αποβλήτων στη Σαντορίνη. Το νερό αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα και αποθηκεύεται σε δεξαμενές νερού σε πολλά

σημεία. Μέσω του δικτύου πόσιμου νερού, το νερό μεταφέρεται στα Δημοτικά Διαμερίσματα και διανέμεται ανάλογα. Οι δεξαμενές νερού δεν προμηθεύουν πάντα μία περιοχή, αλλά μπορεί να προμηθεύουν δύο ή τρεις περιοχές ανάλογα με το υψόμετρο και τη γειτνίαση των δεξαμενών νερού στα χωριά. Το αρδευτικό διαθέσιμο νερό δεν είναι εύκολο να αναγνωριστεί καθώς υπάρχουν πολλές παράνομες γεωτρήσεις που καθιστούν αδύνατο να υπολογιστεί το ποσό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικούς σκοπούς.

Ο **Πίνακας 8.3** παρουσιάζει τη συνολική κατανάλωση νερού ύδρευσης στη Σαντορίνη το 2009 ανά Δημοτικό Διαμέρισμα, με βάση καταγεγραμμένα στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Θ.

	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΕΤΡΑΜΗΝΑ (σε m^3 νερού)			
		1st	2nd	3rd	ΣΥΝΟΛΟ
Δ.Δ. Θήρας	**1**	1946	4076	5414	11436
Δ.Δ. Ακρωτηρίου	**2**	8173	10415	13626	32214
Δ.Δ. Βόθωνος	**3**	5548	11406	10054	27008
Δ.Δ. Βουρβούλου	**4**	4277	8870	6402	19549
Δ.Δ. Εμπορείου	**5**	11037	15759	13872	40668
Δ.Δ. Έξω Γωνιάς	**6**	0	0	0	0
Δ.Δ. Επισκοπής Γωνιάς	**7**	55547	159375	82571	297493
Δ.Δ. Ημεροβιγλίου	**8**	16459	31992	32604	81055
Δ.Δ. Καρτεράδου	**9**	1640	4048	3937	9625
Δ.Δ. Μεγαλοχωρίου	**10**	16150	26235	20331	62716
Δ.Δ. Μεσαριάς	**11**	0	0	0	0
Δ.Δ. Πύργου Καλλίστης	**12**	28905	90843	61812	181560
Κ.Δ. Οίας	**13**	92000	74000	38500	204500
Κ.Δ. Θηρασίας	**14**	0	0	0	0

Πίνακας 8.3 Συνολική κατανάλωση νερού ανά Δημοτικό Διαμέρισμα (Δ.Ε.Υ.Α.Θ, 2008- 2009)

Αντίστοιχα με την Πάρο, δημιουργείται ο **Πίνακας 8.4** για τη Σαντορίνη.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	1.224	192	335	128	1.012	200	1.424
Χειμερινή περίοδος	388	67	110	70	386	61	277
	R8	**R9**	**R10**	**R11**	**R12**	**R13**	**R14**
Θερινή περίοδος	266	427	195	595	242	528	97
Χειμερινή περίοδος	82	174	72	231	112	161	42

Πίνακας 8.4 Συνολική μηνιαία κατανάλωση νερού ανά Δημοτικό Διαμέρισμα, όπως καταγράφεται από τους μετρητές της Δ.Ε.Υ.Α.Θ. (m^3/month)

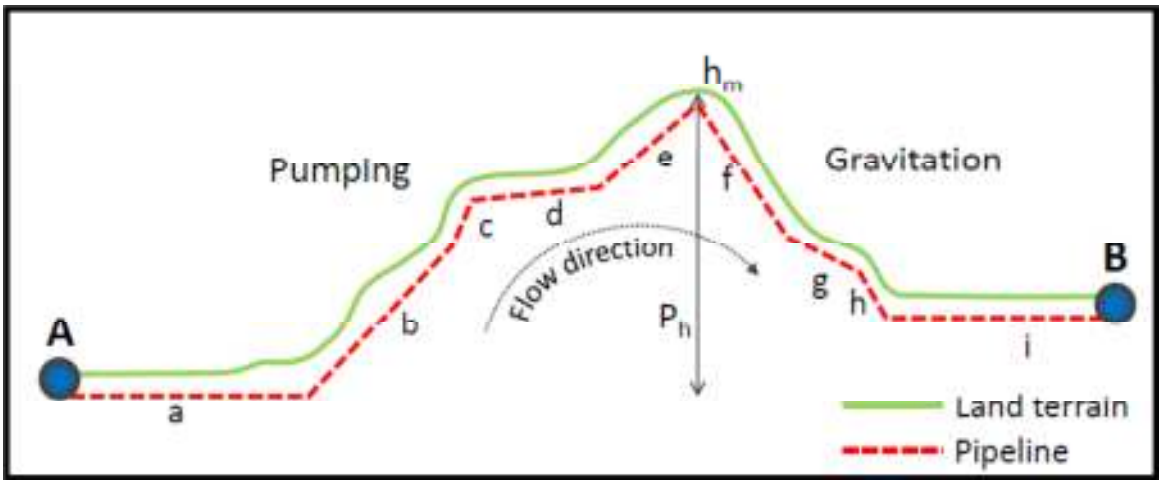
9 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε ήδη, το κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα αποτελεί διαφορετική περιοχή για τις ανάγκες επίλυσης του προβλήματος. Τα υγρά απόβλητα συλλέγονται σε όλες τις περιοχές και υποβάλλονται σε πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, σύμφωνα με συγκεκριμένες ποιοτικές απαιτήσεις. Στη συνέχεια, μέρος των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ίσως χρειαστούν περαιτέρω επεξεργασία, με μια πρόσθετη επιβάρυνση, για ανάκτηση του νερού, ενώ τα υπόλοιπα διατίθενται στη θάλασσα. Το ανακτημένο νερό μπορεί να διανεμηθεί και στην ίδια ή σε άλλες περιοχές ώστε να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για μη πόσιμες εφαρμογές. Στο δίκτυο πόσιμου ύδατος, μπορεί να τροφοδοτηθεί το αφαλατωμένο νερό από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης για πόσιμες ή μη πόσιμες εφαρμογές. Τα υπόγεια ύδατα μπορούν να χρησιμοποιούνται για πόσιμες και μη πόσιμες εφαρμογές, εφόσον είναι διαθέσιμα.

Υποτίθεται ότι οι δύο ποιότητες των υδάτων και υγρών αποβλήτων, επιτρέπεται να διανέμονται ελεύθερα κατά μήκος του μεγαλύτερου μέρους των περιοχών, προκειμένου να ικανοποιηθούν όλες οι απαιτήσεις νερού με ελάχιστο κόστος. Ως εκ τούτου, οι ανάγκες σε υποδομές για διανομή νερού και αποθήκευσης, περιλαμβανομένου του κύριου δικτύου διανομής μεταξύ κόμβων, σταθμών αντλήσεως και δεξαμενών αποθήκευσης, βελτιστοποιείται και καθορίζεται κατά την επίλυση του προβλήματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι το τοπικό δίκτυο διανομής και αποθήκευσης μέσα σε κάθε περιοχή δε λαμβάνεται υπόψη.

Στη μελέτη θεωρούμε ότι ο πληθυσμός της κάθε περιοχής βρίσκεται στο αντίστοιχο πληθυσμιακό κέντρο, με δεδομένες εποχιακές ανάγκες για πόσιμο και μη πόσιμο νερό. Ως πληθυσμιακό κέντρο ορίζεται το σημείο με την μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού σε κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα (συνήθως η θέση της πρωτεύουσας του Δημοτικού Διαμερίσματος). Επιπλέον, θεωρούμε ότι οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού, ανάκτησης νερού και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορούν να χωροθετηθούν σε συγκεκριμένα και προκαθορισμένα σημεία. Τα πληθυσμιακά κέντρα και οι πιθανές θέσεις των εγκαταστάσεων επεξεργασίας ονομάζονται "κόμβοι" στην παρούσα μελέτη.

Μεταξύ οποιωνδήποτε κόμβων που επιτρέπεται να συνδεθούν μεταξύ τους, είναι γνωστές οι "αποστάσεις", οι "αποστάσεις αντλήσεως" και τα "υψόμετρα αντλήσεως", όπως αυτά ορίζονται στο **Σχήμα 9.1**. Εδώ, οι αποστάσεις κάθε ζεύγους είναι απαραίτητες και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μήκους των σωληνώσεων και του κόστους, ενώ οι αποστάσεις και τα υψόμετρα αντλήσεως απαιτούνται για τον υπολογισμό του κόστους άντλησης και του σταθμού άντλησης.



Σχήμα 9.1 Γράφημα για τον ορισμό της: «απόστασης», «απόσταση άντλησης» και το «υψόμετρο άντλησης» μεταξύ των σημείων “A” και “B” για την κατεύθυνση A > B

Το μήκος της σωλήνωσης μεταξύ A και B ονομάζεται «απόσταση» = a+b+c+d+e+f+g+h+i. Το μήκος της σωλήνωσης υπό πίεση ονομάζεται «απόσταση άντλησης» = a+b+c+d+e ενώ το μέγιστο ύψος στο οποίο πρέπει να αντληθεί το υγρό ονομάζεται «υψόμετρο άντλησης» = Ph

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι νησιωτικές περιοχές των συγκροτημάτων (α) της Πάρου με την Αντίπαρο και (β) της Σαντορίνης με τη Θηρασιά, οι οποίες είναι ελλειμματικές σε υδατικούς πόρους. Στην παρούσα μελέτη δεν ελήφθησαν υπόψη οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης και επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ούτε το υφιστάμενο δίκτυο υδροδότησης και αποχέτευσης, παρά μόνο οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις απόληψης υπόγειων υδάτων.

Σύμφωνα με μια μελέτη για το νησί της Πάρου (Voivontas et al., 2003) οι ανάγκες νερού μπορούν να καλυφθούν μόνο από αφαλατωμένο νερό και τη χρήση υπόγειων υδάτων. Στην προαναφερόμενη μελέτη όμως δεν έχει εξεταστεί η χρήση ανακτημένου νερού. Στη παρούσα εργασία, οι αστικές ανάγκες νερού θα καλυφθούν από αφαλατωμένο νερό, ανακτημένο νερό και από περιορισμένη χρήση (σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση) των υπογείων υδάτων ενώ άλλες επιλογές συμπεριλαμβανομένων των υδάτων εισαγωγής από την στεριά και της συλλογής και χρήσης απορροών δεν εξετάζονται. Άλλες χρήσεις νερού (π.χ. αγροτικές) δεν εξετάζονται από την παρούσα εργασία.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο καθορισμός των βέλτιστων θέσεων και των δυναμικοτήτων των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και ανάκτησης νερού, καθώς και ο υπολογισμός των βέλτιστων υποδομών συλλογής αποβλήτων και διανομής πόσιμου και μη πόσιμου νερού για αστικές χρήσεις, με τελικό στόχο την εξεύρεση της βέλτιστης λύσης για ελαχιστοποίηση του ετήσιου κόστους λειτουργίας και απόσβεσης του παγίου κεφαλαίου

Για πόσιμη χρήση μπορούν να χρησιμοποιηθούν το αφαλατωμένο νερό και τα υπόγεια νερά ενώ για μη πόσιμες αστικές χρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν το ανακτημένο νερό, τα υπόγεια νερά και το αφαλατωμένο νερό.

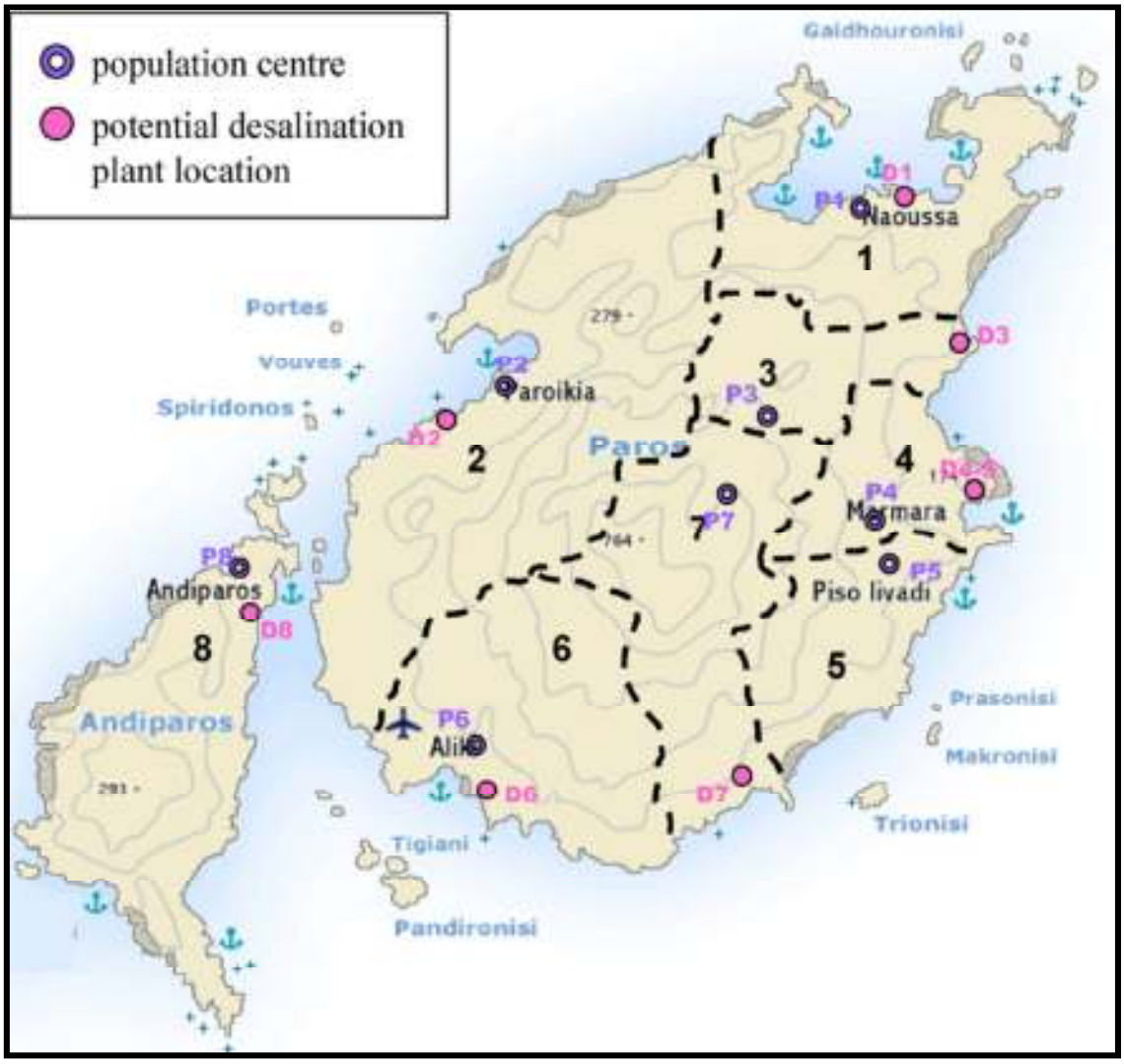
Η ακόλουθη μεθοδολογία θα χρησιμοποιηθεί για να καταλήξουμε στο βέλτιστο σενάριο:

1. Υπολογισμός της θεωρητικής αστικής ζήτησης πόσιμου νερού
2. Εφαρμογή του πράσινου σεναρίου: μείωση των απολήψεων νερού από γεωτρήσεις κατά 20% και υπολογισμός του διαθέσιμου πόσιμου νερού από τις δημοτικές γεωτρήσεις
3. Σύγκριση της θεωρητικής αστικής ζήτησης πόσιμου νερού με τη διαθέσιμη ποσότητα πόσιμου νερού
4. Εκτίμηση των αναγκών σε πόσιμο νερό σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες και την ποιότητα του νερού
5. Εκτίμηση των αναγκών σε μη πόσιμο νερό για αστικές εφαρμογές
6. Σε κάθε πληθυσμιακό κέντρο θα τοποθετηθούν οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού. Θα οριστούν κάποιες θέσεις για τις μονάδες αφαλάτωσης (κοντά στην ακτογραμμή), από τις οποίες θα επιλεγούν οι βέλτιστες (με εφαρμογή του αλγορίθμου) για τις ανάγκες του προβλήματος
7. Εκτίμηση του αποχετευτικού δικτύου, των σταθμών άντλησης, των δικτύων ύδρευσης για πόσιμο και μη πόσιμο νερό, και το μέγεθος των δεξαμενών αποθήκευσης νερού για τις ανάγκες της γεωγραφικής περιοχής που εξετάζεται
8. Βελτιστοποίηση της τοποθεσίας και της δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης με σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους που περιλαμβάνει το κόστος επένδυσης αλλά και λειτουργίας για τις μονάδες αφαλάτωσης, μονάδες επεξεργασίας και ανάκτησης νερού, των δικτύων νερού, των σταθμών άντλησης και των δεξαμενών αποθήκευσης.

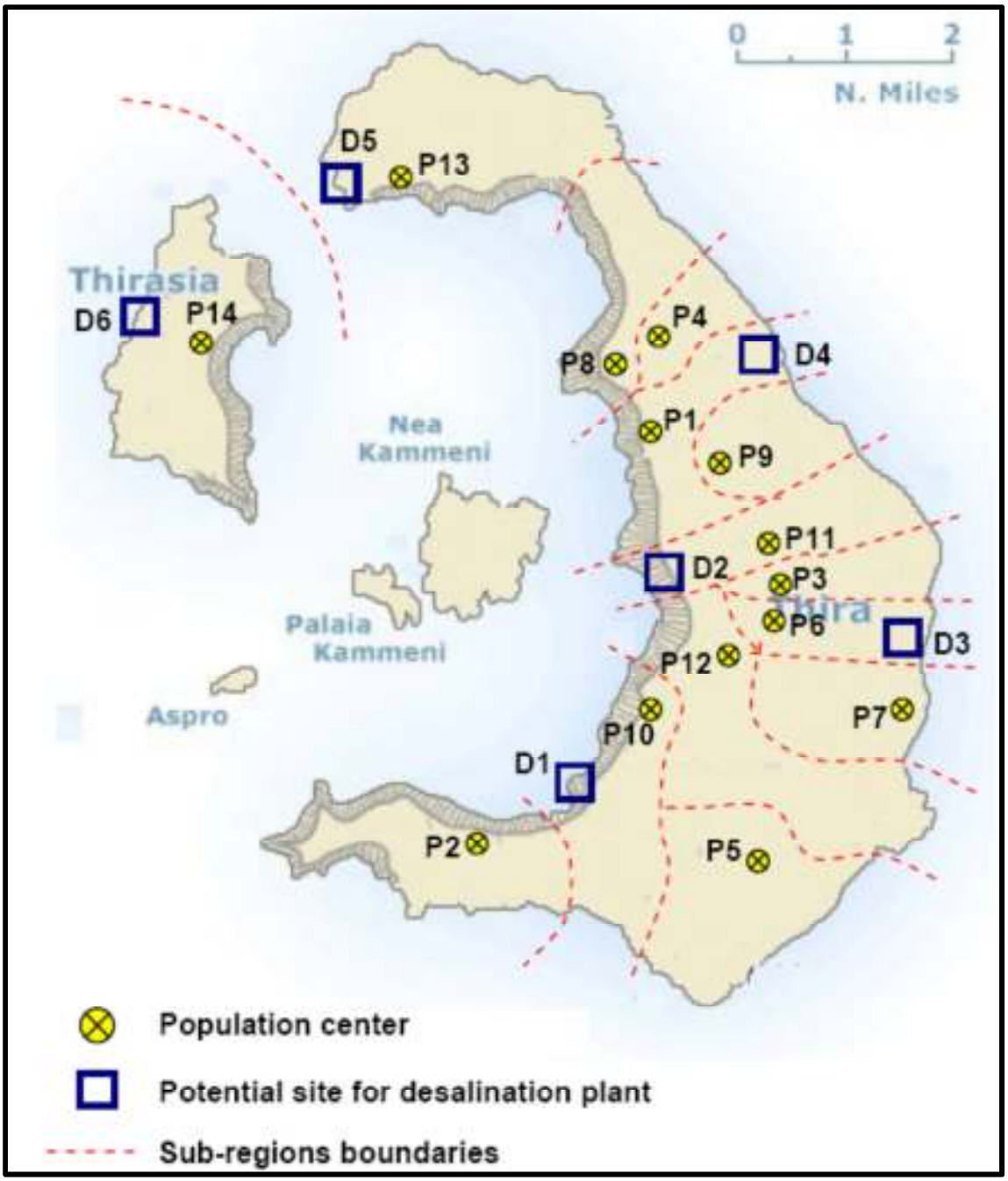
9.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

9.1.1 Καταγραφή των Χρηστών Ύδατος

Στη παρούσα εργασία εξετάζεται μόνο η αστική χρήση του νερού, σε ποσότητες που αντιστοιχούν στην θεωρητική κατά κεφαλή κατανάλωση ύδατος από τον μόνιμο πληθυσμό, τους παραθεριστές και τους τουρίστες. Η εκτίμηση αφορά τα Δημοτικά Διαμερίσματα μέσα στα οποία ορίστηκαν χωροταξικά διαφορετικά πληθυσμιακά κέντρα τα οποία αποτελούν τους πόλους συγκέντρωσης του πληθυσμού (**Σχήματα 9.2** και **9.3**).



Σχήμα 9.2 Πάρος- Πόλοι συγκέντρωσης πληθυσμού



Σχήμα 9.3 Σαντορίνη- Πόλοι συγκέντρωσης πληθυσμού

Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικά στοιχεία για τις υπό μελέτη περιοχές καθώς και εκτιμήσεις για το αναμενόμενο μέγεθος της κατανάλωσης (ώστε να ικανοποιούνται πλήρως οι θεωρητικές ανάγκες σε νερό).

9.1.2 Μόνιμος πληθυσμός

Σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥΕ), ο μόνιμος πληθυσμός (απογραφή 2001) της Πάρου είναι 12.514 και της Σαντορίνης 12.453. Στους **Πίνακες 9.1** και **9.2** δίνεται ο πληθυσμός ανά Δημοτικό Διαμέρισμα. Επίσης, στους ίδιους Πίνακες παρουσιάζονται και ο πληθυσμός της Κοινότητας Αντιπάρου και Θηρασιάς, αντίστοιχα:

ΔΗΜΟΣ ΠΑΡΟΥ	**12.514 άτομα**
Δ.Δ.Ναούσης	2.955 άτομα
Δ.Δ.Πάρου	5.682 άτομα
Δ.Δ.Κώστου	364 άτομα
Δ.Δ.Αρχιλόχου	886 άτομα
Δ.Δ.Μαρπήσσης	959 άτομα
Δ.Δ.Αγκαιριάς	944 άτομα
Δ.Δ.Λευκών	724 άτομα
ΔΗΜΟΣ ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ	**1.011 άτομα**

Πίνακας 9.1 Μόνιμος πληθυσμός Πάρου- Αντιπάρου

ΔΗΜΟΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ	**13.725 άτομα**
Δ.Δ.Θήρας	2,353 άτομα
Δ.Δ.Ακρωτηρίου	419 άτομα
Δ.Δ.Βόθωνος	676 άτομα
Δ.Δ.Βουρβούλου	464 άτομα
Δ.Δ.Εμπορείου	2.450 άτομα
Δ.Δ.Έξω Γωνιάς	370 άτομα
Δ.Δ.Επισκοπής Γωνιάς	1.459 άτομα
Δ.Δ.Ημεροβιγλίου	500 άτομα
Δ.Δ.Καρτεράδου	1.110 άτομα
Δ.Δ.Μεγαλοχωρίου	457 άτομα
Δ.Δ.Μεσαριάς	1.461 άτομα
Δ.Δ.Πύργου Καλλίστης	734 άτομα
Κ.Δ.Οίας	994 άτομα
Κ.Δ.Θηρασίας	278 άτομα

Πίνακας 9.2 Μόνιμος πληθυσμός Σαντορίνης- Θηρασιάς

Η κατανομή των χρηστών ύδατος αλλά και της παροχής ύδατος ακολούθησε την ίδια κατάταξη, δηλαδή ανά Δημοτικό Διαμέρισμα όπου για τη διευκόλυνση των παρακάτω υπολογισμών το κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα πήρε αύξων αριθμό σύμφωνα με τους **Πίνακες 9.3** και **9.4**, όπως αυτά απεικονίζονται και στα **Σχήματα 9.3** και **9.4**.

ΔΗΜΟΣ ΠΑΡΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ
Δ.Δ.Ναούσης	1
Δ.Δ.Πάρου	2
Δ.Δ.Κώστου	3
Δ.Δ.Αρχιλόχου	4
Δ.Δ.Μαρπήσσης	5
Δ.Δ.Αγκαιριάς	6
Δ.Δ.Λευκών	7
ΔΗΜΟΣ ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ	**8**

Πίνακας 9.3 Αρίθμηση των Δημοτικών Διαμερισμάτων της Πάρου- Αντιπάρου

ΔΗΜΟΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ
Δ.Δ.Θήρας	1
Δ.Δ.Ακρωτηρίου	2
Δ.Δ.Βόθωνος	3
Δ.Δ.Βουρβούλου	4
Δ.Δ.Εμπορείου	5
Δ.Δ.Έξω Γωνιάς	6
Δ.Δ.Επισκοπής Γωνιάς	7
Δ.Δ.Ημεροβιγλίου	8
Δ.Δ.Καρτεράδου	9
Δ.Δ.Μεγαλοχωρίου	10
Δ.Δ.Μεσαριάς	11
Δ.Δ.Πύργου Καλλίστης	12
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΟΙΑΣ	
Κ.Δ.Οίας	13
Κ.Δ.Θηρασίας	14

Πίνακας 9.4 Αρίθμηση των Δημοτικών Διαμερισμάτων της Σαντορίνης- Θηρασιάς

9.1.3 Παραθεριστές εξοχικών κατοικιών

Για να εκτιμηθούν οι παραθεριστές των εξοχικών κατοικιών ελήφθησαν στοιχεία από την ΕΣΥΕ σχετικά με τις «Κανονικές κατοικίες κατά φορέα ιδιοκτησίας και μη κανονικές κατοικίες», από την Απογραφή Πληθυσμού του 2001 σύμφωνα με τον **Πίνακα 9.5** και με τους συγκεκριμένους ορισμούς (ΕΣΥΕ):

Κατοικία είναι, γενικά, ένας χώρος από την κατασκευή του χωριστός και ανεξάρτητος, που χτίστηκε ή μετατράπηκε με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει στεγαστικές ανάγκες ή χρησιμοποιείται για στέγαση κατά το χρόνο της απογραφής, έστω και αν δεν προοριζόταν για το σκοπό αυτό.

Κανονική κατοικία είναι η μόνιμη και ανεξάρτητη κατασκευή που αποτελείται από ένα, τουλάχιστον, κανονικό δωμάτιο και προορίζεται για κατοικία ενός νοικοκυριού.

Κατοικούμενη κύρια κανονική κατοικία θεωρείται η κατοικία στην οποία διαμένει το νοικοκυριό το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου και βρέθηκε κατοικούμενη την ημέρα της απογραφής.

Κύρια κατοικούμενη κατοικία αλλά το νοικοκυριό απουσιάζει προσωρινά θεωρείται η κατοικία η οποία είναι γενικά κατοικούμενη, αλλά δεν κοιμήθηκαν σε αυτήν οι ένοικοι τη νύχτα της 17ης προς 18η Μαρτίου, λόγω προσωρινής απουσίας (π.χ. ταξίδι αναψυχής, επαγγελματικό ταξίδι, διανυκτέρευση σε εξοχική κατοικία κλπ.).

Εξοχική είναι η κανονική κατοικία που βρίσκεται συνήθως μακριά από την κύρια κατοικία του νοικοκυριού (σε βουνό, κοντά στη θάλασσα κλπ.) και χρησιμοποιείται για ανάπαυση και αλλαγή περιβάλλοντος, κατά το καλοκαίρι ή κατά διαστήματα όλες τις εποχές.

Δευτερεύουσα είναι η κατοικία που χρησιμοποιείται από το νοικοκυριό παράλληλα με την κύρια κατοικία χωρίς να είναι εξοχική.

Κενές κανονικές κατοικίες:

Κενή είναι η κατοικία που βρέθηκε χωρίς ενοίκους κατά την ημέρα της απογραφής, επειδή:

α) Προοριζόταν για ενοικίαση,

β) Προοριζόταν για πώληση,

γ) Χρησιμοποιούταν κατά περιόδους ως εξοχική ή δευτερεύουσα κατοικία και δε διανυκτέρευσαν άτομα τη νύχτα του Σαββάτου προς την Κυριακή, 17 προς 18 Μαρτίου 2001.

δ) Ήταν κενή για άλλο λόγο, π.χ. μετανάστευσε ή μετοίκησε ο ιδιοκτήτης, ή ήταν στο στάδιο της αποπερατώσεως, ή επισκευαζόταν.

		Κανονικές κατοικίες				
					Κενές	
	Σύνολο κατοικιών	Σύνολο	Κύριες κατοικούμενες	Κύριες κατοικούμενες αλλά το νοικοκυριό απουσιάζει	Εξοχικές ή δευτερεύουσες	Για ενοικίαση, πώληση ή άλλο λόγο
ΔΗΜΟΣ ΠΑΡΟΥ	**10.588**	**10.490**	**3.968**	**541**	**4.936**	**1.045**
1	2.470	2.426	959	103	1.090	274
2	4.162	4.119	1.646	208	1.820	445
3	75	75	125	13	202	35
4	735	731	309	59	314	49
5	1.245	1.242	351	110	654	127
6	858	854	327	30	433	64
7	743	743	251	18	423	51
ΔΗΜΟΣ ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ	**955**	**950**	**331**	**20**	**566**	**33**
8	955	950	331	20	566	33

Πίνακας 9.5 Κανονικές κατοικίες κατά φορέα ιδιοκτησίας και μη κανονικές κατοικίες σε Πάρο και Αντίπαρο

	Σύνολο κατοικιών	Κανονικές κατοικίες				
		Σύνολο	Κύριες κατοικούμενες	Κύριες κατοικούμενες αλλά το νοικοκυριό απουσιάζει	Κενές	
					Εξοχικές ή δευτερεύουσες	Για ενοικίαση, πώληση ή άλλο λόγο
ΔΗΜΟΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ	**9.282**	**9.215**	**4.007**	**549**	**3.111**	**1.548**
1	1.333	**1300**	648	98	334	220
2	355	353	137	26	166	24
3	538	535	217	31	100	187
4	366	364	167	24	124	49
5	1.994	1.987	777	99	791	320
6	316	315	124	21	102	68
7	1.147	1.141	500	83	368	190
8	438	434	160	26	198	50
9	803	799	417	32	175	175
10	409	407	154	12	183	58
11	1.002	999	462	73	332	132
12	581	581	244	24	238	75
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΟΙΑΣ	**1.654**	**1.624**	**462**	**51**	**951**	**160**
13	1.267	1.239	349	46	705	139
14	387	385	113	5	246	21

Πίνακας 9.6 Κανονικές κατοικίες κατά φορέα ιδιοκτησίας και μη κανονικές κατοικίες σε Σαντορίνη και Θηρασιά

Άρα ανά Δημοτικό Διαμέρισμα υπολογίζουμε το μέσο αριθμό ατόμων ανά κατοικία διαιρώντας τον πληθυσμό με τις κατοικίες για να εκτιμήσουμε μετά αντίστροφα τους παραθεριστές ανά εξοχική κατοικία πολλαπλασιάζοντας τον μέσο όρο που βρήκαμε με τον αριθμό των εξοχικών κατοικιών. Στους **Πίνακες 9.7** και **9.8** ως κύριες κατοικίες έχει ληφθεί το άθροισμα των κύριων κατοικούμενων κανονικών κατοικιών ενώ ως εξοχικές κατοικίες έχει ληφθεί το άθροισμα των κενών κατοικιών.

Από το σύνολο των παραθεριστών θεωρούμε ότι το 80% αυτών επισκέπτεται το εξοχικό τους στη διάρκεια του καλοκαιριού (Μάιος-Αύγουστος). Αυτοί όμως χωρίζονται μέσα στη διάρκεια της θερινής περιόδου και θεωρούμε ότι μένουν στο νησί για διάστημα ενός μήνα, οπότε εκτιμούμε κατά μέσο όρο πόσοι παραθεριστές θα είναι στο νησί ανά μήνα καλοκαιριού.

	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΚΑΤΟΙΚΩΝ/ ΚΑΤΟΙΚΙΑ	ΕΞΟΧΙΚΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΩΝ	80% ΤΩΝ ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΩΝ ΠΑΝΕ ΣΤΑ ΕΞΟΧΙΚΑ ΤΟΥΣ ΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ	ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΕΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (ΣΥΝΟΛΟ/4 ΜΗΝΕΣ)	ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ + ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΩΝ (ΑΝΑ ΜΗΝΑ)
ΔΗΜΟΣ ΠΑΡΟΥ	***12.514***		4.509	2.78	5.981	16.451	13.161	***3.290***	***15.804***
Δ.Δ.Ναούσης	***2.955***	**1**	1.062	2.78	1.364	3.795	3.036	***759***	***3.714***
Δ.Δ.Πάρου	***5.682***	**2**	1.854	3.06	2.265	6.941	5.553	***1.388***	***7.070***
Δ.Δ.Κώστου	***364***	**3**	138	2.64	237	625	500	***125***	***489***
Δ.Δ.Αρχιλόχου	***886***	**4**	368	2.41	363	873	699	***175***	***1.061***
Δ.Δ.Μαρπήσσης	***959***	**5**	461	2.08	781	1.624	1.300	***325***	***1.284***
Δ.Δ.Αγκαιριάς	***944***	**6**	357	2.64	497	1.314	1.051	***263***	***1.207***
Δ.Δ.Λευκών	***724***	**7**	269	2.69	474	1.275	1.021	***255***	***979***
ΔΗΜΟΣ ΑΝΤΙΠΑΡΟΥ	***1.011***	**8**	351	2.88	599	1.725	1.380	***345***	***1.356***

Πίνακας 9.7 Εκτίμηση πληθυσμού κατά τη θερινή περίοδο λαμβάνοντας υπόψη τις εξοχικές κατοικίες σε Πάρο- Αντίπαρο

	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ-ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΚΑΤΟΙΚΩΝ/ ΚΑΤΟΙΚΙΑ	ΕΞΟΧΙΚΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΩΝ	80% ΤΩΝ ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΩΝ ΠΑΝΕ ΣΤΑ ΕΞΟΧΙΚΑ ΤΟΥΣ ΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ	ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΕΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (ΣΥΝΟΛΟ/4 ΜΗΝΕΣ)	ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ + ΠΑΡΑΘΕΡΙΣΤΩΝ (ΑΝΑ ΜΗΝΑ)
ΔΗΜΟΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ	***12.453***		4.556	2.73	4.659	12.735	10.188	***2.547***	***15.000***
Δ.Δ.Θήρας	***2.353***	**1**	746	3.15	554	1747	1.398	***349***	***2.702***
Δ.Δ.Ακρωτηρίου	***419***	**2**	163	2.57	190	488	391	***98***	***517***
Δ.Δ.Βόθωνος	***676***	**3**	248	2.73	287	782	626	***156***	***832***
Δ.Δ.Βουρβούλου	***464***	**4**	191	2.43	173	420	336	***84***	***548***
Δ.Δ.Εμπορείου	***2.450***	**5**	876	2.80	1.111	3.107	2.486	***621***	***3.071***
Δ.Δ.Έξω Γωνιάς	***370***	**6**	145	2.55	170	434	347	***87***	***457***
Δ.Δ.Επισκοπής Γωνιάς	***1.459***	**7**	583	2.50	558	1.396	1.117	***279***	***1.738***
Δ.Δ.Ημεροβιγλίου	***500***	**8**	186	2.69	248	667	533	***133***	***633***
Δ.Δ.Καρτεράδου	***1.110***	**9**	449	2.47	350	865	692	***173***	***1.283***
Δ.Δ.Μεγαλοχωρίου	***457***	**10**	166	2.75	241	663	531	***133***	***590***
Δ.Δ.Μεσαριάς	***1.461***	**11**	535	2.73	464	1.267	1.014	***253***	***1.714***
Δ.Δ.Πύργου Καλλίστης	***734***	**12**	268	2.74	313	857	686	***171***	***905***
ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΟΙΑΣ	***1.272***		513	2.48	1.111	2.755	2.204	***551***	***1.823***
Κ.Δ.Οίας	***994***	**13**	395	2.52	844	2.124	1.699	***425***	***1.419***
Κ.Δ.Θηρασίας	***278***	**14**	118	2.36	267	629	503	***126***	***404***

Πίνακας 9.8 Εκτίμηση πληθυσμού κατά τη θερινή περίοδο λαμβάνοντας υπόψη τις εξοχικές κατοικίες σε Σαντορίνη- Θηρασιά

9.1.4 Τουρισμός

Για να εκτιμηθεί η τουριστική κίνηση καταγράφηκαν τα ξενοδοχεία ανά Δημοτικό Διαμέρισμα σύμφωνα με το Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδος και συμπληρώθηκε από ξενοδοχεία από άλλες ιστοσελίδες (www.gto.gr). Σχετικά με τα ενοικιαζόμενα δωμάτια, είναι αδύνατη η καταγραφή τους και για αυτό το λόγο οι εκτιμήσεις βασίζονται στις κλίνες των ξενοδοχείων/ κάμπινγκ. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους **Πίνακες 9.9** και **9.10**, όπου έχει γίνει η παραδοχή ότι τη χειμερινή περίοδο τα ξενοδοχεία που λειτουργούν είναι το ένα πέμπτο (23%) ενώ τα ενοικιαζόμενα δωμάτια είναι εντελώς κλειστά (ΙΤΕΠ 2008). Τη θερινή περίοδο θεωρούμε ότι τα ξενοδοχεία και τα ενοικιαζόμενα δωμάτια λειτουργούν πλήρως (για τα ενοικιαζόμενα δωμάτια θεωρούμε 50% περισσότερες κλίνες από τα ξενοδοχεία δηλαδή σύνολο 150% των κλινών των ξενοδοχείων λόγω των μη καταχωρημένων ενοικιαζόμενων δωματίων στον ΕΟΤ).

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Συνολικές κλίνες	2.863	3.134	0	0	1.811	748	35	643
Θερινή περίοδος	4.295	4.701	0	0	2.717	1.122	53	965
Χειμερινή περίοδος	658	721	0	0	417	172	8	148

Πίνακας 9.9 Εκτίμηση διαθέσιμων κλινών κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο σε Πάρο- Αντίπαρο

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Συνολικές κλίνες	2028	249	487	17	1057	320	3399
Θερινή περίοδος	3042	374	731	26	1586	480	5099
Χειμερινή περίοδος	466	57	112	4	243	74	782
	R8	**R9**	**R10**	**R11**	**R12**	**R13**	**R14**
Συνολικές κλίνες	405	455	206	690	126	687	20
Θερινή περίοδος	608	683	309	1035	189	1031	30
Χειμερινή περίοδος	93	105	47	159	29	158	5

Πίνακας 9.10 Εκτίμηση διαθέσιμων κλινών κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο σε Σαντορίνη- Θηρασιά

Θεωρούμε ότι η πληρότητα των εν λειτουργία ξενοδοχείων και ενοικιαζόμενων διαμερισμάτων είναι 90% δηλαδή 27 μέρες/μήνα κατά τη θερινή περίοδο ενώ είναι 50% (15 μέρες/μήνα) κατά τη χειμερινή περίοδο σύμφωνα με τους **Πίνακες 9.11** και **9.12**.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	115.952	126.921	0	0	73.346	30.294	1.418	26.042
Χειμερινή περίοδος	9.877	10.812	0	0	6.248	2.581	121	2.218

Πίνακας 9.11 Εκτίμηση πληθυσμού τουριστών κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο ανά μήνα (Cap.d/month) σε Πάρο- Αντίπαρο

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	82134	10085	19724	689	42809	12960	137660
Χειμερινή περίοδος	6997	859	1680	59	3647	1104	11727
	R8	**R9**	**R10**	**R11**	**R12**	**R13**	**R14**
Θερινή περίοδος	16403	18428	8343	27945	5103	27824	810
Χειμερινή περίοδος	1397	1570	711	2381	435	2370	69

Πίνακας 9.12 Εκτίμηση πληθυσμού τουριστών κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο ανά μήνα (Cap.d/month) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

9.1.5 Συνολική Αποτίμηση Ζήτησης

Για να εκτιμηθεί η θεωρητική αστική ζήτηση πόσιμου νερού, θεωρούμε ότι οι μόνιμοι κάτοικοι που μένουν στο νησί 30 μέρες το μήνα και καταναλώνουν **0,30 m^3/(capd·day)** κατά μέσο όρο τη θερινή περίοδο και **0,20 m^3/(capd·day)** κατά μέσο όρο τη χειμερινή περίοδο.

Επομένως, η συνολική εκτίμηση της θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού από τους κατοίκους, τους παραθεριστές και τους τουρίστες συγκεντρώνονται στους **Πίνακες 9.13** και **9.14** που ακολουθούν.

Εκτίμηση συνολικού πληθυσμού ανά μήνα (Cap.d/month)								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	111.420	212.100	14.670	31.830	38.520	36.210	29.370	40.680
Χειμερινή περίοδος	88.650	170.460	10.920	26.580	28.770	28.320	21.720	30.330
Εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού (m^3/month) από μόνιμους κατοίκους και παραθεριστές								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	33.426	63.630	4.401	9.549	11.556	10.863	8.811	12.204
Χειμερινή περίοδος	17.730	34.092	2.184	5.316	5.754	5.664	4.344	6.066

Εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού από τους τουρίστες (m3/month)								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	34.785	38.078	0	0	22.004	9.088	425	7.812
Χειμερινή περίοδος	1.975	2.162	0	0	1.250	516	24	444
Συνολική εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού (m3/month)								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	68.211	101.708	4.401	9.549	33.560	19.951	9.236	20.016
Χειμερινή περίοδος	19.705	36.254	2.184	5.316	7.004	6.180	4.368	6.510

Πίνακας 9.13 Εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο (m3/month) σε Πάρο- Αντίπαρο

Εκτίμηση συνολικού πληθυσμού ανά μήνα (Cap.d/month)							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	163194	25585	44697	17130	134952	26663	189808
Χειμερινή περίοδος	77587	13429	21960	13979	77147	12204	55497
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	35403	56919	17691	79378	32266	70387	12924
Χειμερινή περίοδος	16397	34870	14421	46211	22455	32190	8409
Εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού (m3/month) από μόνιμους κατοίκους και παραθεριστές							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	24318	4650	7492	4932	27643	4111	15645
Χειμερινή περίοδος	14118	2514	4056	2784	14700	2220	8754
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	5700	11547	5307	15430	8149	12769	3634
Χειμερινή περίοδος	3000	6660	2742	8766	4404	5964	1668
Εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού από τους τουρίστες (m3/month)							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	24640	3025	5917	207	12843	3888	41298
Χειμερινή περίοδος	1399	172	336	12	729	221	2345
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	4921	5528	2503	8384	1531	8347	243
Χειμερινή περίοδος	279	314	142	476	87	474	14

Συνολική εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού (m3/month)							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	48958	7675	13409	5139	40486	7999	56942
Χειμερινή περίοδος	15517	2686	4392	2796	15429	2441	11099
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	10621	17076	7810	23813	9680	21116	3877
Χειμερινή περίοδος	3279	6974	2884	9242	4491	6438	1682

Πίνακας 9.14 Συνολική εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο (m3/month) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

Θεωρούμε ότι οι απώλειες του δικτύου διανομής πόσιμου νερού ανέρχονται σε 25%, και άρα η συνολική θεωρητική κατανάλωση πόσιμου νερού πρέπει να αυξηθεί κατά 25% σε σχέση με αυτή που είχαμε υπολογίσει στους **Πίνακες 9.13** και **9.14**. Στους **Πίνακες 9.15** και **9.16** φαίνονται οι σχετικοί υπολογισμοί.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	85.264	127.135	5.501	11.936	41.950	24.939	11.545	25.021
Χειμερινή περίοδος	24.632	45.318	2.730	6.645	8.754	7.725	5.460	8.137

Πίνακας 9.15 Εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο περιλαμβανομένου των απωλειών του δικτύου (m^3/month) σε Πάρο- Αντίπαρο

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	61198	9594	16762	6424	50607	9999	71178
Χειμερινή περίοδος	19397	3357	5490	3495	19287	3051	13874
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	13276	21345	9763	29767	12100	26395	4847
Χειμερινή περίοδος	4099	8717	3605	11553	5614	8048	2102

Πίνακας 9.16 Εκτίμηση θεωρητικής κατανάλωσης πόσιμου νερού κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο περιλαμβανομένου των απωλειών του δικτύου (m^3/month) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

Στη μελέτη υποθέσαμε ότι μόνο το 60% της συνολικής κατανάλωσης αστικού νερού απαιτεί ποιότητα πόσιμου νερού, ενώ το 30% που αφορά άρδευση κήπων και το υπόλοιπο 10% που καταναλώνεται στα καζανάκια της τουαλέτας μπορεί να χρησιμοποιήσει ανακτημένο νερό. Επομένως, η εκτιμηθείσα θεωρητική κατανάλωση πόσιμου νερού διαχωρίζεται στα τρία ρεύματα και προκύπτουν οι σχετικές ποσότητες που φαίνονται στους **Πίνακες 9.17** και **9.18**.

	m3/μήνα	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Ποιότητα πόσιμου νερού (60% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	51.159	76.281	3.301	7.162	25.170	14.963	6.927	15.012
	Χειμερινή περίοδος	14.779	27.191	1.638	3.987	5.253	4.635	3.276	4.882
Κήποι (30% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	25.579	38.141	1.650	3.581	12.585	7.482	3.464	7.506
	Χειμερινή περίοδος	7.390	13.595	819	1.994	2.626	2.318	1.638	2.441
Καζανάκια τουαλέτας (10% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	8.526	12.714	550	1.194	4.195	2.494	1.155	2.502
	Χειμερινή περίοδος	2.463	4.532	273	665	875	773	546	814

Πίνακας 9.17 Χρήσεις αστικού νερού κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο (m^3/month) σε Πάρο- Αντίπαρο

	m3/μήνα	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Ποιότητα πόσιμου νερού (60% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	36.719	5.757	10.057	3.854	30.364	5.999	42.707
	Χειμερινή περίοδος	11.638	2.014	3.294	2.097	11.572	1.831	8.324
Κήποι (30% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	18359	2878	5028	1927	15182	3000	21353
	Χειμερινή περίοδος	5819	1007	1647	1048	5786	915	4162
Καζανάκια τουαλέτας (10% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	6120	959	1676	642	5061	1000	7118
	Χειμερινή περίοδος	1940	336	549	349	1929	305	1387
		R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Ποιότητα πόσιμου νερού (60% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	7.966	12.807	5.858	17.860	7.260	15.837	2.908
	Χειμερινή περίοδος	2.460	5.230	2.163	6.932	3.368	4.829	1.261
Κήποι (30% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	3983	6403	2929	8930	3630	7919	1454
	Χειμερινή περίοδος	1230	2615	1082	3466	1684	2414	631
Καζανάκια τουαλέτας (10% της ζήτησης)	Θερινή περίοδος	1328	2134	976	2977	1210	2640	485
	Χειμερινή περίοδος	410	872	361	1155	561	805	210

Πίνακας 9.18 Χρήσεις αστικού νερού κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο (m^3/month) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

9.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Σε αυτήν τη μελέτη, εφαρμόστηκε το πράσινο σενάριο: να μειωθούν οι απολήψεις νερού από τις γεωτρήσεις κατά 20%, σε σχέση με τους σημερινούς ρυθμούς απόληψης, ώστε να αποφευχθεί η υπερεκμετάλλευση και υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα και με αυτήν τη λογική διαμορφώθηκαν οι παρακάτω **Πίνακες 9.19** και **9.20**.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	37.633	49.034	7.348	7.147	12.259	13.599	5.906	48.000
Χειμερινή περίοδος	18.124	26.174	2.947	2.266	7.109	7.069	3.212	24.000

Πίνακας 9.19 Διαθέσιμη ποσότητα πόσιμου νερού από γεωτρήσεις (m^3/μήνα) σε Πάρο- Αντίπαρο

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	815	2.083	2.282	1.774	3.152	1.682	31.875
Χειμερινή περίοδος	736	2.180	1.560	1.068	2.491	1.618	13.812
	R8	**R9**	**R10**	**R11**	**R12**	**R13**	**R14**
Θερινή περίοδος	6.398	810	5.247	5.671	18.169	14.800	0
Χειμερινή περίοδος	4.906	558	3.648	7.041	9.072	9.840	0

Πίνακας 9.20 Διαθέσιμη ποσότητα πόσιμου νερού από γεωτρήσεις (m^3/μήνα) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

9.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΣΤΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	85.264	127.135	5.501	11.936	41.950	24.939	11.545	25.021
Χειμερινή περίοδος	24.632	45.318	2.730	6.645	8.754	7.725	5.460	8.137
ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Θερινή περίοδος	37.633	49.034	7.348	7.147	12.259	13.599	5.906	48.000
Χειμερινή περίοδος	18.124	26.174	2.947	2.266	7.109	7.069	3.212	24.000

Πίνακας 9.21 Σύγκριση της θεωρητικής αστικής ζήτησης με το διαθέσιμο πόσιμου νερού ανά περιοχή (m^3/μήνα) σε Πάρο- Αντίπαρο

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΣΤΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	61198	9594	16762	6424	50607	9999	71178
Χειμερινή περίοδος	19397	3357	5490	3495	19287	3051	13874
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	13276	21345	9763	29767	12100	26395	4847
Χειμερινή περίοδος	4099	8717	3605	11553	5614	8048	2102
ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	815	2.083	2.282	1.774	3.152	1.682	31.875
Χειμερινή περίοδος	736	2.180	1.560	1.068	2.491	1.618	13.812
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	6.398	810	5.247	5.671	18.169	14.800	0
Χειμερινή περίοδος	4.906	558	3.648	7.041	9.072	9.840	0

Πίνακας 9.22 Σύγκριση της θεωρητικής αστικής ζήτησης με το διαθέσιμο πόσιμου νερού ανά περιοχή (m^3/μήνα) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

Από τη σύγκριση που μπορεί εύκολα να γίνει από τους παραπάνω **Πίνακες 9.21** και **9.22**, είναι εμφανές ότι οι ποσότητες πόσιμου νερού δεν επαρκούν να καλύψουν τη ζήτηση. Επιπλέον, λόγω των κλιματικών αλλαγών ενδέχεται στο μέλλον να μην υπάρχουν διαθέσιμες μεγάλες ποσότητες πόσιμου νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Η αύξηση της τουριστικής υποδομής του νησιού άλλωστε καταδεικνύει την αύξηση και την πίεση που θα υποστεί στο μέλλον το σύστημα υδροδότησης του νησιού.

9.4 Εκτιμηση των Αναγκων σε Ποσιμο Νερο συμφωνα με τις Πραγματικες Αναγκες και την Ποιοτητα του Νερου

Η αστική χρήση του πόσιμου νερού δεν υποδηλώνει απαραίτητα ποιότητα πόσιμου νερού. Οι παραδοχές της μελέτης είναι ότι το 40% της θεωρητικής κατανάλωσης απαιτεί ποιότητα ανακτημένου νερού (10% για χρήση στα καζανάκια και 30% για τους κήπους) ενώ το 60% απαιτεί ποιότητα πόσιμου νερού.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (60%)								
Θερινή περίοδος	51.159	76.281	3.301	7.162	25.170	14.963	6.927	15.012
Χειμερινή περίοδος	14.779	27.191	1.638	3.987	5.253	4.635	3.276	4.882
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (10%- ΚΑΖΑΝΑΚΙΑ)								

Θερινή περίοδος	8.526	12.714	550	1.194	4.195	2.494	1.155	2.502
Χειμερινή περίοδος	2.463	4.532	273	665	875	773	546	814
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (30%- ΚΗΠΟΙ)								
Θερινή περίοδος	25.579	38.141	1.650	3.581	12.585	7.482	3.464	7.506
Χειμερινή περίοδος	7.390	13.595	819	1.994	2.626	2.318	1.638	2.441

Πίνακας 9.23 Εκτίμηση της θεωρητικά μηνιαίας ζήτησης νερού για αστική χρήση ανά περιοχή περιλαμβανομένου της ποιότητας του νερού (m^3/μήνα) σε Πάρο- Αντίπαρο

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ (60%)							
	R1	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**R6**	**R7**
Θερινή περίοδος	36.719	5.757	10.057	3.854	30.364	5.999	42.707
Χειμερινή περίοδος	11.638	2.014	3.294	2.097	11.572	1.831	8.324
	R8	**R9**	**R10**	**R11**	**R12**	**R13**	**R14**
Θερινή περίοδος	7.966	12.807	5.858	17.860	7.260	15.837	2.908
Χειμερινή περίοδος	2.460	5.230	2.163	6.932	3.368	4.829	1.261
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (10%- ΚΑΖΑΝΑΚΙΑ)							
	R1	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**R6**	**R7**
Θερινή περίοδος	6120	959	1676	642	5061	1000	7118
Χειμερινή περίοδος	1940	336	549	349	1929	305	1387
	R8	**R9**	**R10**	**R11**	**R12**	**R13**	**R14**
Θερινή περίοδος	1328	2134	976	2977	1210	2640	485
Χειμερινή περίοδος	410	872	361	1155	561	805	210
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (30%- ΚΗΠΟΙ)							
	R1	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**R6**	**R7**
Θερινή περίοδος	18359	2878	5028	1927	15182	3000	21353
Χειμερινή περίοδος	5819	1007	1647	1048	5786	915	4162
	R8	**R9**	**R10**	**R11**	**R12**	**R13**	**R14**
Θερινή περίοδος	3983	6403	2929	8930	3630	7919	1454
Χειμερινή περίοδος	1230	2615	1082	3466	1684	2414	631

Πίνακας 9.24 Εκτίμηση της θεωρητικά μηνιαίας ζήτησης νερού για αστική χρήση ανά περιοχή περιλαμβανομένου της ποιότητας παροχής νερού (m^3/μήνα) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

Επομένως, όπως είναι αντιληπτό από τα παραπάνω στοιχεία, μεγάλη ποσότητα νερού (40%) καταναλώνει πόσιμο νερό από το δίκτυο ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ανακτημένο νερό (για χρήσεις όπως σε καζανάκια, κήπους κλπ). Επιπλέον, μέσω της θεωρητικής κατανάλωσης

νερού είναι εφικτό να υπολογιστούν οι ποσότητες των υγρών αποβλήτων και εν συνεχεία οι ποσότητες του ανακτημένου νερού.

Συγκεκριμένα, από μελέτες έχει εκτιμηθεί ότι, κατά μέσο όρο, το 70% του νερού που καταναλώνεται για αστικές εφαρμογές οδηγείται στην αποχέτευση ενώ το 30% χρησιμοποιείται για άρδευση (π.χ. σε κήπους), για πλύση αυτοκινήτων και γενικά για εφαρμογές που δεν το κατευθύνουν στην αποχέτευση. Επομένως, η εκτιμηθείσα θεωρητική κατανάλωση πόσιμου νερού διαχωρίζεται στα δύο ρεύματα και προκύπτουν οι σχετικές ποσότητες που φαίνονται στους **Πίνακες 9.25** και **9.26**.

ΠΑΡΟΧΗ ΛΥΜΑΤΩΝ									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
ΕΕΛ	Θερινή περίοδος	59.685	88.995	3.851	8.355	29.365	17.457	8.082	17.514
	Χειμερινή περίοδος	17.242	31.723	1.911	4.652	6.128	5.408	3.822	5.696
Κήποι	Θερινή περίοδος	25.579	38.141	1.650	3.581	12.585	7.482	3.464	7.506
	Χειμερινή περίοδος	7.390	13.595	819	1.994	2.626	2.318	1.638	2.441

Πίνακας 9.25 Παροχή υγρών αποβλήτων (m^3/μήνα) σε Πάρο- Αντίπαρο

ΠΑΡΟΧΗ ΛΥΜΑΤΩΝ (70% ΠΡΟΣ ΕΕΛ)							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	42838	6716	11733	4497	35425	6999	49825
Χειμερινή περίοδος	13578	2350	3843	2446	13501	2136	9712
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	9293	14941	6834	20837	8470	18477	3393
Χειμερινή περίοδος	2870	6102	2524	8087	3930	5633	1472
ΠΑΡΟΧΗ ΛΥΜΑΤΩΝ (30% ΠΡΟΣ ΚΗΠΟΥΣ)							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	18359	2878	5028	1927	15182	3000	21353
Χειμερινή περίοδος	5819	1007	1647	1048	5786	915	4162
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	3983	6403	2929	8930	3630	7919	1454
Χειμερινή περίοδος	1230	2615	1082	3466	1684	2414	631

Πίνακας 9.26 Παροχή υγρών αποβλήτων σε Σαντορίνη- Θηρασιά (m^3/μήνα)

Από τα υγρά απόβλητα που παράχθηκαν, εκτιμάται ότι το 90% μπορεί να ανακτηθεί για περαιτέρω χρήση και με τους απαραίτητους υπολογισμούς καταλήγουμε στους **Πίνακες 9.27** και **9.28**.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΝΑΚΤΗΘΕΙ									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Ανακτημένο νερό	Θερινή περίοδος	46.043	68.653	2.971	6.446	22.653	13.467	6.234	13.511
	Χειμερινή περίοδος	13.301	24.472	1.474	3.588	4.727	4.172	2.949	4.394

Πίνακας 9.27 Διαθέσιμη παροχή που μπορεί να ανακτηθεί σε Πάρο- Αντίπαρο (m^3/μήνα)

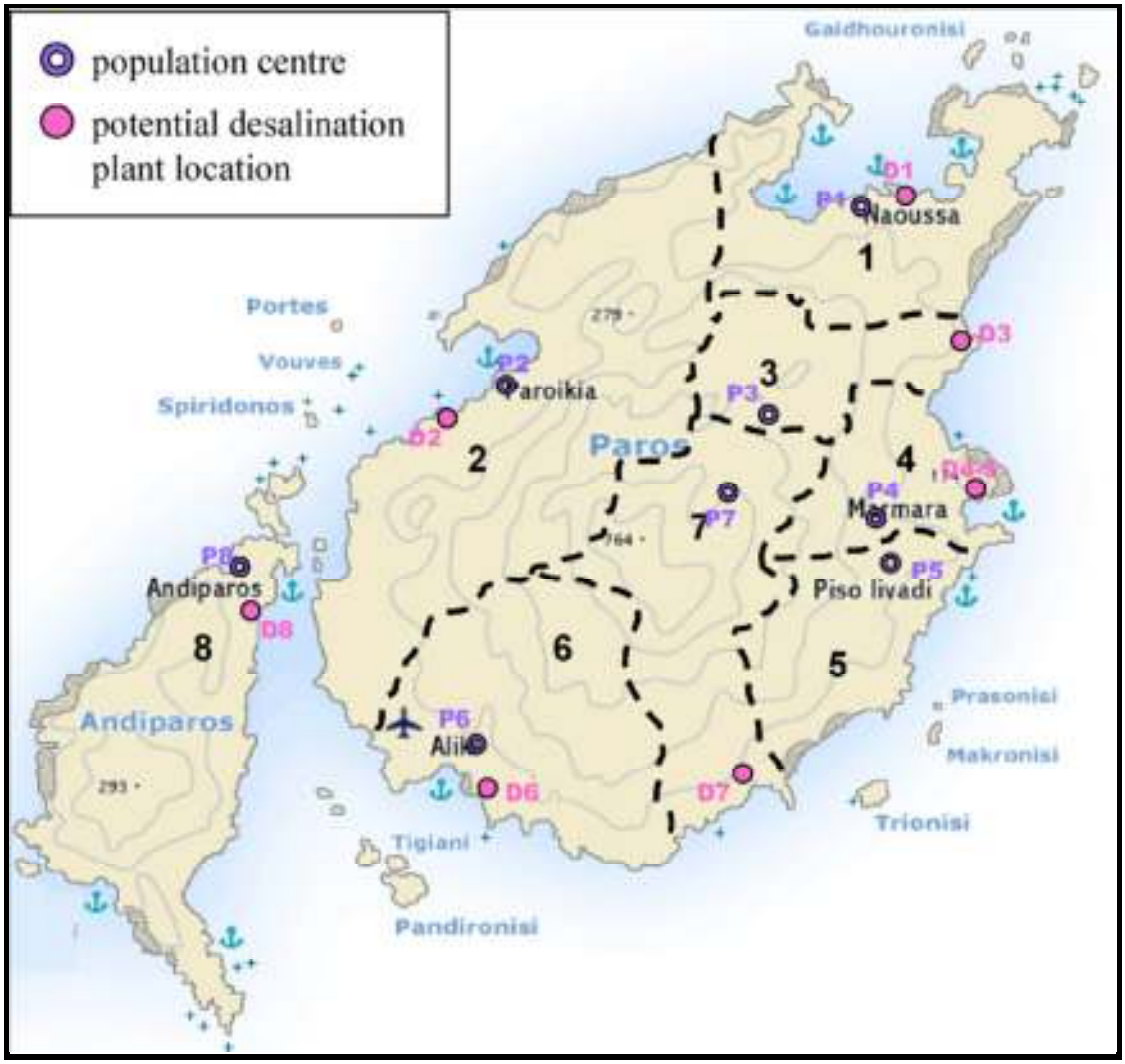
ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΝΑΚΤΗΘΕΙ							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Θερινή περίοδος	38555	6044	10560	4047	31882	6299	44842
Χειμερινή περίοδος	12220	2115	3459	2202	12151	1922	8741
	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Θερινή περίοδος	8364	13447	6150	18753	7623	16629	3053
Χειμερινή περίοδος	2583	5492	2271	7278	3537	5070	1324

Πίνακας 9.28 Διαθέσιμη παροχή που μπορεί να ανακτηθεί σε Σαντορίνη- Θηρασιά (m^3/μήνα)

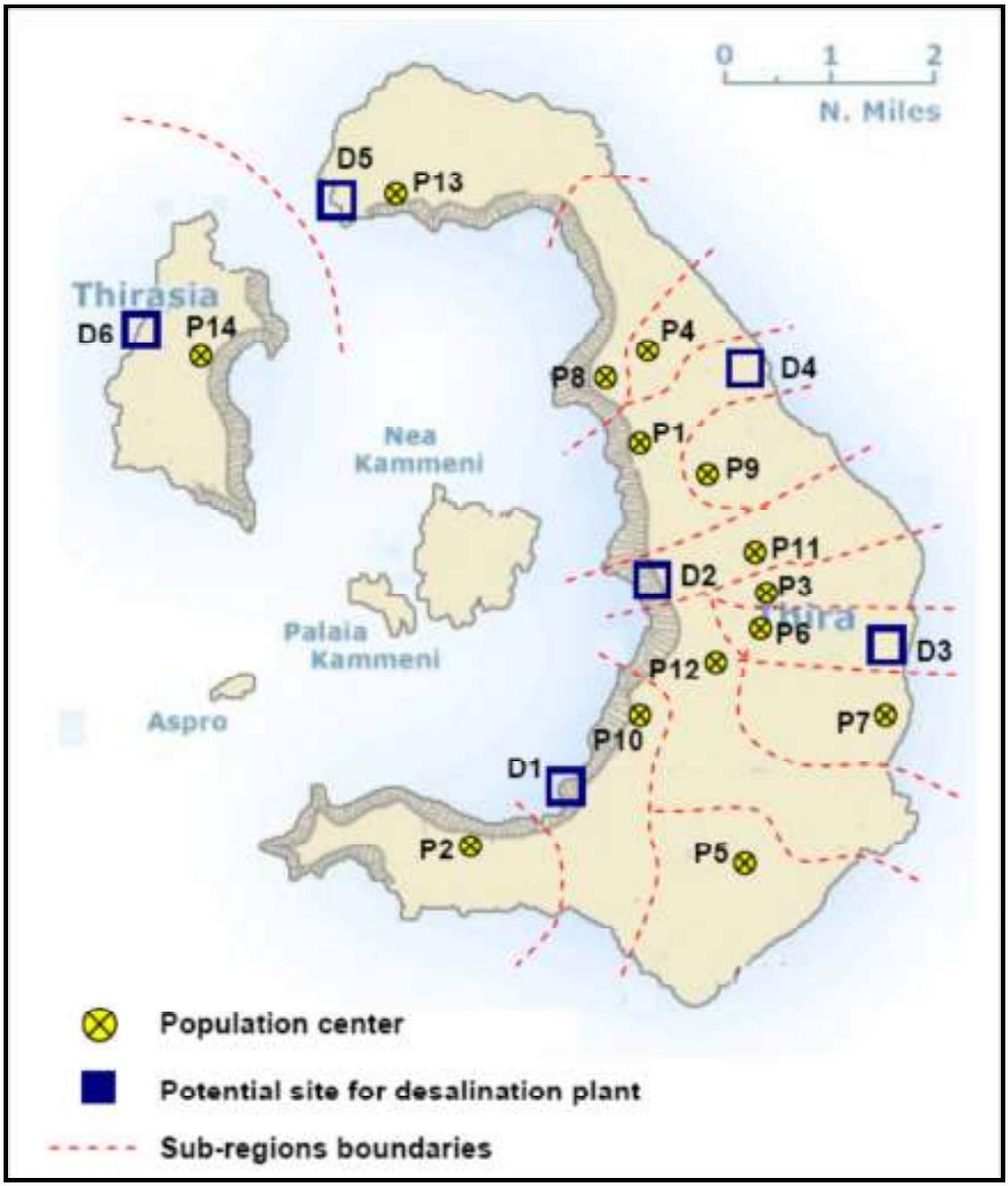
9.5 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ, ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Θεωρείται ότι η Πάρος και η Αντίπαρος έχουν ξεχωριστά δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης (δεν συνδέονται μεταξύ τους). Επομένως, τα δύο νησιά θεωρούνται ως ανεξάρτητα συστήματα. Η όλη περιοχή έχει χωριστεί σε 8 υποπεριοχές (R1–R8), όπου η R8 αφορά την περιοχή της Αντιπάρου. Κάθε περιοχή αντιπροσωπεύει ένα δημοτικό διαμέρισμα (**Σχήμα 9.3**). Επίσης, θεωρούνται επτά πιθανές θέσεις εγκατάστασης αφαλατωμένου νερού (D1–D3, D4-5, D6–D8) κοντά στην θάλασσα, ενώ οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, οι εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού και οι αποθηκευτικές δεξαμενές θεωρούνται ότι βρίσκονται στα πληθυσμιακά κέντρα κάθε υποπεριοχής (P1–P8). Μελετήθηκε και η δυνατότητα σύνδεσης των δύο νησιών με υποθαλάσσιο αγωγό. Το κόστος όμως κατασκευής του υποθαλάσσιου αγωγού αποδείχθηκε μάλλον απαγορευτικό και τελικά δεν επελέγη ως λύση.

Στο παρακάτω **Σχήμα 9.3** εμφανίζεται η σχετική χωροθέτηση των μονάδων αφαλάτωσης σε κάθε περιοχή. Στη Νάουσα, επιλέχτηκε η θέση της υπάρχουσας μονάδας αφαλάτωσης (D1) ενώ στις περιοχές R4 και R5 αποφασίστηκε να χωροθετηθεί μία μονάδα αφαλάτωσης (D4-5) λόγω των γνωστών παραλιών της περιοχής. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η επίλυση του προβλήματος γίνεται από μηδενική βάση, δηλαδή δε λαμβάνονται υπόψη οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις.



Σχήμα 9.3 Χωροθέτηση των μονάδων αφαλάτωσης σε Πάρο- Αντίπαρο



Σχήμα 9.4 Χωροθέτηση των μονάδων αφαλάτωσης σε Σαντορίνη- Θηρασιά

9.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ, ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΆΝΤΛΗΣΗΣ Κ.Α. ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Οι αποστάσεις, οι αποστάσεις άντλησης και τα υψόμετρα άντλησης (δες **Σχήμα 8.1** για ορισμούς) μεταξύ των πληθυσμιακών κέντρων και μεταξύ των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης και πληθυσμιακών κέντρων φαίνονται στους αντίστοιχους **Πίνακες 9.29, 9.30, 9.31** και **9.32**.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
P1		9/4/0.14	5.4/3.6/0.21	7.8/0.5/0.03	x	x	x	x
P2	9/5/0.14		5.8/3.5/0.24	x	x	9/4.4/0.29	5.8/1.5/0.35	x
P3	5.4/0.7/0.05	5.8/0.7/0.10		3.8/0/0	x	x	2.6/2.6/0.08	x
P4	7.8/4.2/0.03	x	3.8/3.8/0.16		1/01/0.02	x	x	x
P5	x	x	X	1/0/0		10.7/4/0.4	4/4/0.22	x
P6	x	9/4.5/0.29	X	x	10.7/4.7/0.42		x	x
P7	x	5.8/2.5/0.11	2.6/0/0	x	4/0/0	x		x
P8	x	x	X	x	x	x	x	

X: Η σύνδεση μεταξύ αυτών των περιοχών δεν επιτρέπεται

Πίνακας 9.29 Αποστάσεις /αποστάσεις άντλησης/υψόμετρα άντλησης μεταξύ των πληθυσμιακών κέντρων (χλμ) σε Πάρο-Αντίπαρο

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
P1		x	x	1.4/0/0	X	x	x	1.2/1/0.05	1.8/0/0	x	x	x	X	X
P2	x		x	x	5/2.7/0.01	x	x	x	x	4/4/0.11	X	X	X	X
P3	x	x		x	X	0.9/0.9/0.06	x	4.8/4.8/0.13	2/2/0.02	x	0.7/0/0	1.8/1.8/0.21	X	X
P4	1.4/0.5/0.02	x	x		X	x	x	0.7/0.7/0.07	2.9/0/0	x	X	x	7/0/0	X
P5	x	5/1.6/0.04	x	x		x	x	x	x	2.8/2.8/0.14	X	x	X	X
P6	x	x	0.9/0/0	x	X		2.5/0/0	x	x	x	1.6/0/0	0.9/0.9/0.15	X	X
P7	x	x	x	x	X	2.5/2.5/0.13		x	x	x	X	3/3/0.28	X	X
P8	1.2/0/0	x	4.8/0/0	0.7/0/0	X	x	x		2.9/0/0	x	X	x	7.3/0.3/0.07	X
P9	1.8/1.8/0.06	x	2/0/0	2.9/2.9/0.04	X	X	X	2.9/2.9/0.11		x	1.4/0/0	3/3/0.19	X	X
P10	x	4/4/0	x	x	2.8/0/0	x	x	x	x		X	1.6/1.6/0.12	X	X
P11	X	x	0.7/0.7/0.02	x	X	X	X	X	1.4/1.4/0.04	X		X	X	X
P12	x	x	1.8/0/0	x	X	0.9/0/0	3/0/0	x	3/0/0	1.6/0/0	X		X	X
P13	X	x	X	7/2.5/0.13	X	X	X	7.3/6.8/0.27	X	X	X	x		X
P14	X	x	X	x	X	X	X	x	X	X	X	x	X	

X: Η σύνδεση μεταξύ αυτών των περιοχών δεν επιτρέπεται

Πίνακας 9.30 Αποστάσεις /αποστάσεις άντλησης/υψόμετρα άντλησης μεταξύ των πληθυσμιακών κέντρων (χλμ) σε Σαντορίνη- Θηρασιά

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
D1 (existing)	0.9/0/0	x	X	x	x	x	x	x
D2	x	3/0/0	X	x	x	x	x	6.2/0/0
D3	x	x	4.4/4.4/0.15	x	x	x	x	x
D4-5	x	x	X	2.5/2.5/0.01	3/3/0.04	x	5.7/5.7/0.25	x
D6	x	x	X	x	x	0.6/0/0	x	x
D7	x	x	X	x	x	6/3.6/0.21	x	X
D8	x	x	X	x	x	x	x	0.7/0/0

Υπολογίστηκε νέο δίκτυο (Δίκτυο μεταξύ πληθυσμιακού κέντρου και μονάδας αφαλάτωσης)– κανένα υπάρχον δίκτυο δε λήφθηκε υπόψη

Πίνακας 9.31 Αποστάσεις /αποστάσεις άντλησης/υψόμετρα άντλησης μεταξύ των πληθυσμιακών κέντρων και των μονάδων αφαλάτωσης σε Πάρο- Αντίπαρο (χλμ)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
D1	x	2.2/2.2/0.09	x	x	3.6/0.8/0.13	X	x	x	x	1.6/1.6/0.2	x	3.2/3.2/0.32	x	x
D2	x	x	2.1/0.5/0.19	x	x	2/2/0.17	x	x	1.9/0.5/0.18	2.3/2.3/0.2	2.1/0.5/0.19	1.7/1.7/0.32	x	x
D3	x	x	2.6/2.6/0.11	x	x	2.6/2.6/0.17	1/1/0.04	x	4.5/4.5/0.13	x	3/3/0.09	3.4/3.4/0.32	x	x
D4	2.3/2.3/0.19	x	x	2/2/0.17	x	X	x	2.6/2.6/0.24	2.3/2.3/0.13	x	x	x	x	x
D5	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	0.7/0.7/0.04	2/0/0 (offshore) + 1.5/1.5/0.13 (onshore to reach P14)
D6	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	1.3/1.3/0.13

Πίνακας 9.32 Αποστάσεις /αποστάσεις άντλησης/υψόμετρα άντλησης μεταξύ των πληθυσμιακών κέντρων και των μονάδων αφαλάτωσης σε Σαντορίνη- Θηρασιά (χλμ)

10 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για να ελεγχθεί η ευαισθησία και αξιοπιστία του μοντέλου επιλέχθηκε να δοκιμαστεί για την επίλυση κάποιων σεναρίων που αντιπροσωπεύουν ειδικές καταστάσεις, όπως φαίνεται πιο κάτω. Το μοντέλο βέλτιστης αξιοποίησης των υποδομών του νερού στο νησί της Πάρου σε Mixed Integer Linear Programming (MILP) εφαρμόστηκε σε GAMS 22,8, χρησιμοποιώντας για επίλυση το CPLEX 11,1 σε ένα Pentium 4 3,40GHz, 1,00GB μνήμα RAM. Η εφαρμογή έγινε σε συνεργασία με το Centre for Process Systems Engineering, Department of Chemical Engineering στο University College London, London, United Kingdom, με τον Καθηγητή κ. Λάζαρο Παπαγεωργίου τον διδακτορικό φοιτητή Songsong Liu.

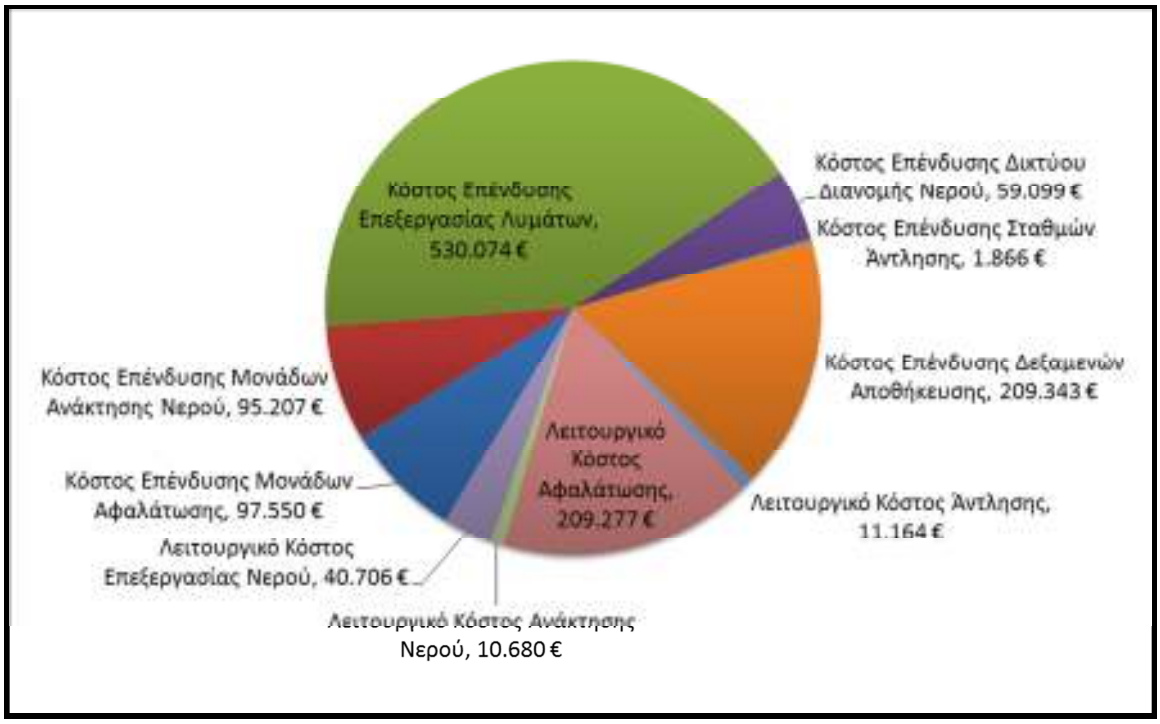
10.1 ΠΑΡΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ

Επιλέχθηκαν τα πιο κάτω τέσσερα σενάρια:

- Σενάριο 1: «**Υπάρχουσα υποδομή**»: Θεωρείται ότι γίνεται χρήση παρόμοιου τύπου υποδομής στα σημεία που υπάρχει υποδομή αλλά δεν επιβάλει να παραμείνει σταθερή η δυναμικότητα. Στην Πάρο, υπάρχουν σήμερα μονάδες αφαλάτωσης στα σημεία D1 και D4-5, εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα σημεία P1, P2, και P5, ενώ δεν υπάρχει υποδομή ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού.
- Σενάριο 2: «**Χωρίς ανάκτηση νερού**»: Θεωρείται ότι τα υγρά απόβλητα απορρίπτονται στους αποδέκτες μετά από επεξεργασία, χωρίς να γίνεται ανάκτηση νερού.
- Σενάριο 3: «**Κεντρική υποδομή**»: Θεωρείται ότι οποιαδήποτε εγκατάσταση (επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ανάκτησης νερού και αφαλάτωσης νερού) στο νησί της Πάρου μπορεί να υλοποιηθεί αποκλειστικά στην περιοχή P2, όπου βρίσκεται και η χώρα του νησιού και στην περιοχή P8 στην Αντίπαρο.
- Σενάριο 4: «**Χωρίς χρήση υπόγειου νερού**»: Θεωρείται ότι και στα δύο νησιά δεν επιτρέπεται απόληψη νερού από τον υδροφόρου ορίζοντα, επομένως χρησιμοποιείται μόνο νερό από αφαλάτωση ή ανάκτηση για όλες τις χρήσεις.

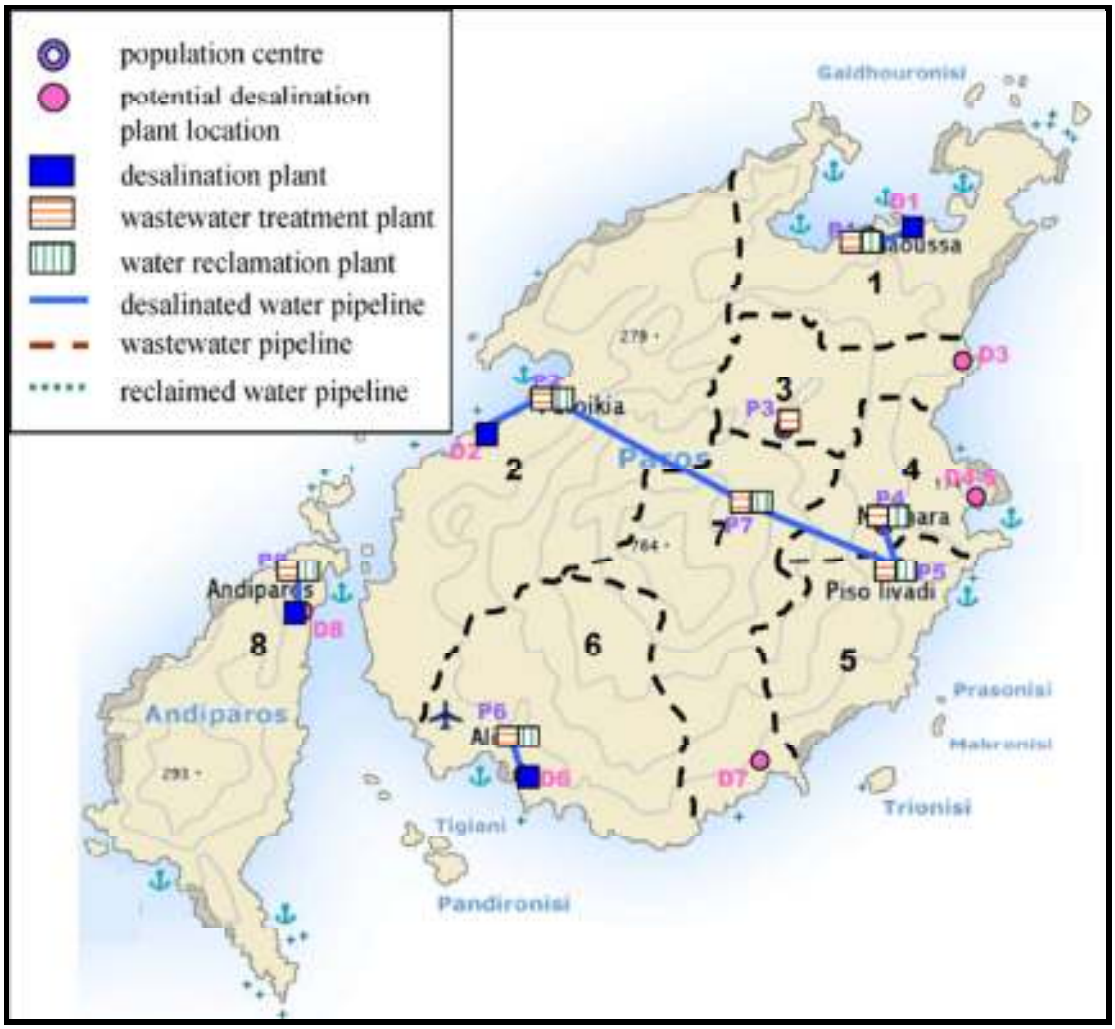
Στη συγκεκριμένη μελέτη, εκτιμήθηκαν οι παροχές ανακτημένου νερού που μπορεί να απαιτηθεί για τις συγκεκριμένες καταναλώσεις και οι χρήστες του ανακτημένου νερού, διαμορφώνοντας το σχετικό πλαίσιο στο οποίο η δραστηριότητα αυτή θα ήταν βιώσιμη.

Η παραγόμενη βέλτιστη λύση δίνει ένα ετήσιο συνολικό κόστος των 1.264.964 ευρώ. Στο προαναφερόμενο κόστος περιλαμβάνονται οι ετήσιες αποσβέσεις του κεφαλαιουχικού κόστους και τα ετήσια λειτουργικά έξοδα και έξοδα συντήρησης. Η ανάλυση του βέλτιστου ετήσιου συνολικού κόστους δίνεται στο **Σχήμα 10.1**.



Σχήμα 10.1 Κατανομή του ετήσιου συνολικού κόστους (€)

Στη βέλτιστη λύση (**Σχήμα 10.2**), έχουν επιλεγεί από το πρόγραμμα τέσσερις τοποθεσίες όπου μπορούν θεωρητικά να εγκατασταθούν μονάδες αφαλάτωσης: D1, D2, D6 και D8. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βρίσκονται στα πληθυσμιακά κέντρα όπως και οι εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού εκτός από την περιοχή P3 όπου οι ανάγκες μπορούν να καλυφτούν πλήρως από τα υπόγεια ύδατα (με εφαρμογή του πράσινου σεναρίου) και δεν απαιτείται εγκατάσταση ανάκτησης νερού. Όσον αφορά τα δίκτυα των σωληνώσεων, έχει υπολογιστεί μόνο το δίκτυο μεταφοράς πόσιμου νερού (υπόγεια νερά και αφαλάτωση) αφού υποθέσαμε ότι υπάρχει δίκτυο μεταφοράς υπόγειου νερού μέχρι και τη δεξαμενή συλλογής. Οι εγκαταστάσεις στην περιοχή R2 έχουν τη μέγιστη δυναμικότητα καθώς το πληθυσμιακό κέντρο P2 είναι η μεγαλύτερη πόλη της Πάρου. Οι λεπτομέρειες για τη βέλτιστη λύση παρουσιάζονται στον **Πίνακα 10.1.**

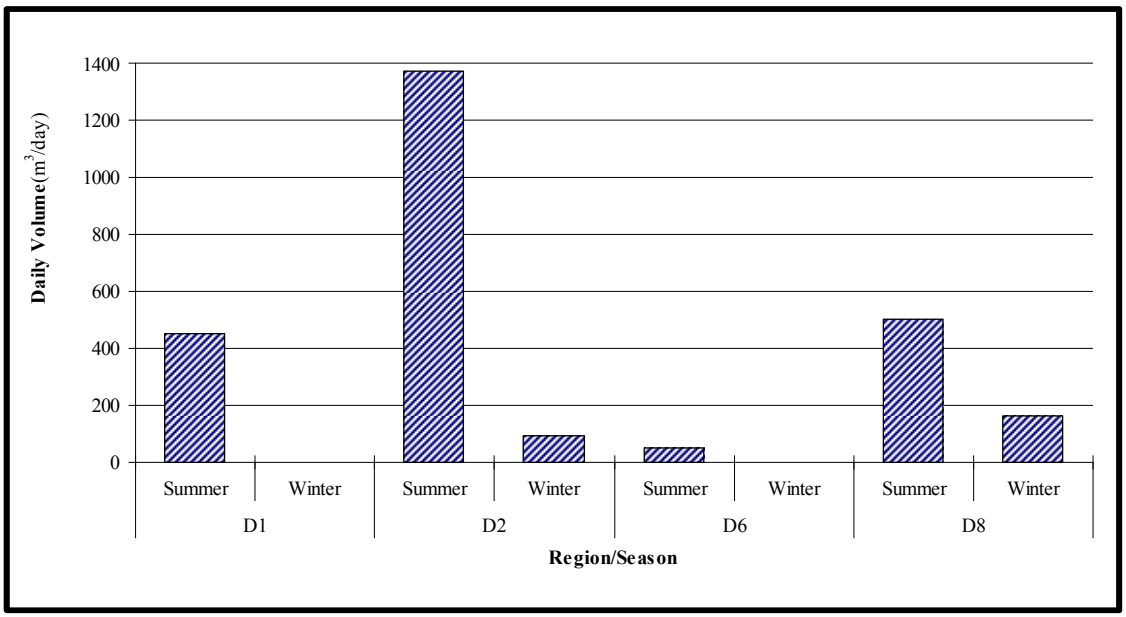


Σχήμα 10.2 Γράφημα της βέλτιστης λύσης

Διασύνδεση	Είδος νερού	Διάμετρος σωλήνωσης (m)	Κατεύθυνση	Μέγιστος ρυθμός ροής αντλίας (m^3/day)	Αριθμός αντλιών σε λειτουργία	Ρυθμός λειτουργίας αντλίας		Όγκος τροφοδοσίας (m^3/day)	
						Καλοκαίρι	Χειμώνα	Καλοκαίρι	Χειμώνα
D1---P1	dw	4	D1→P1	-	-	-	-	451.2	0.0
D2---P2	dw	10	D2→P2	-	-	-	-	1373.4	94.0
D6---P6	dw	2.5	D6→P6	-	-	-	-	50.0	0.0
D8---P8	dw	4	D8→P8	-	-	-	-	500.4	162.6
P2---P7	dw	4	P2→P7	720	1	0.83	0.11	464.6	59.4
P4---P5	dw	2.5	P5→P4	-	-	-	-	0.8	57.2
P5---P7	dw	4	P7→P5	-	-	-	-	430.6	57.2

Πίνακας 10.1 Λεπτομέρειες της βέλτιστης λύσης για κάθε διασύνδεση που δημιουργείται

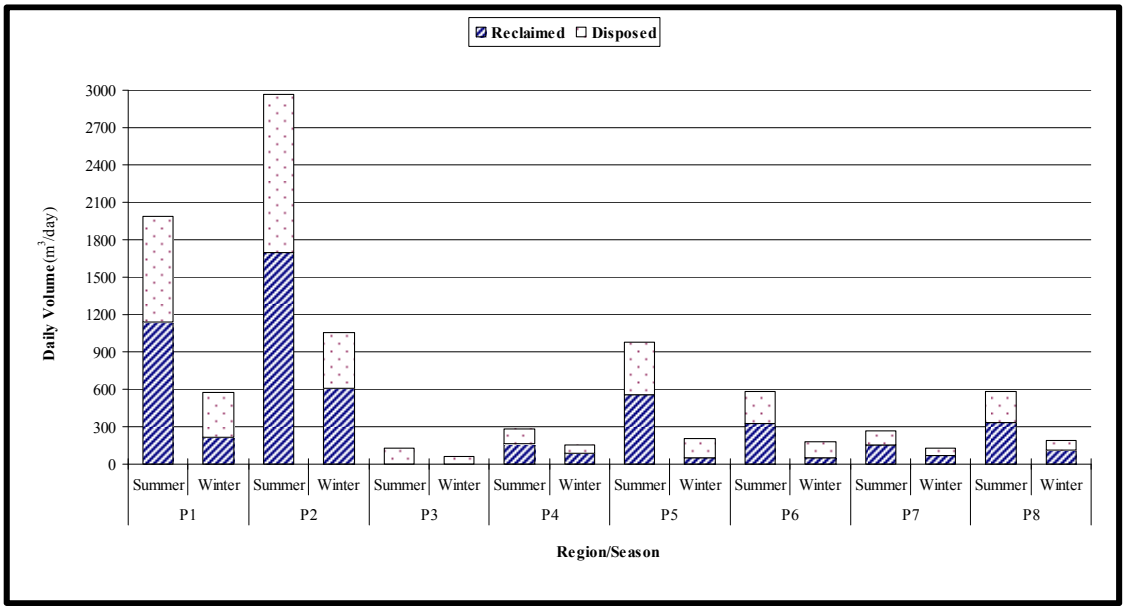
Από τον **Πίνακα 10.1**, φαίνεται ότι στη βέλτιστη λύση απαιτείται η κατασκευή μόνο ενός αντλιοστασίου, δεδομένου ότι η ροή στις άλλες σωληνώσεις επιτυγχάνεται με τη βαρύτητα (από τους υψηλότερους κόμβους στους χαμηλότερους). Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού, σε σχέση με την περιοχή παραγωγής και την εποχή, εμφανίζεται στο **Σχήμα 10.3**.



Σχήμα 10.3 Παραγωγή αφαλατωμένου νερού

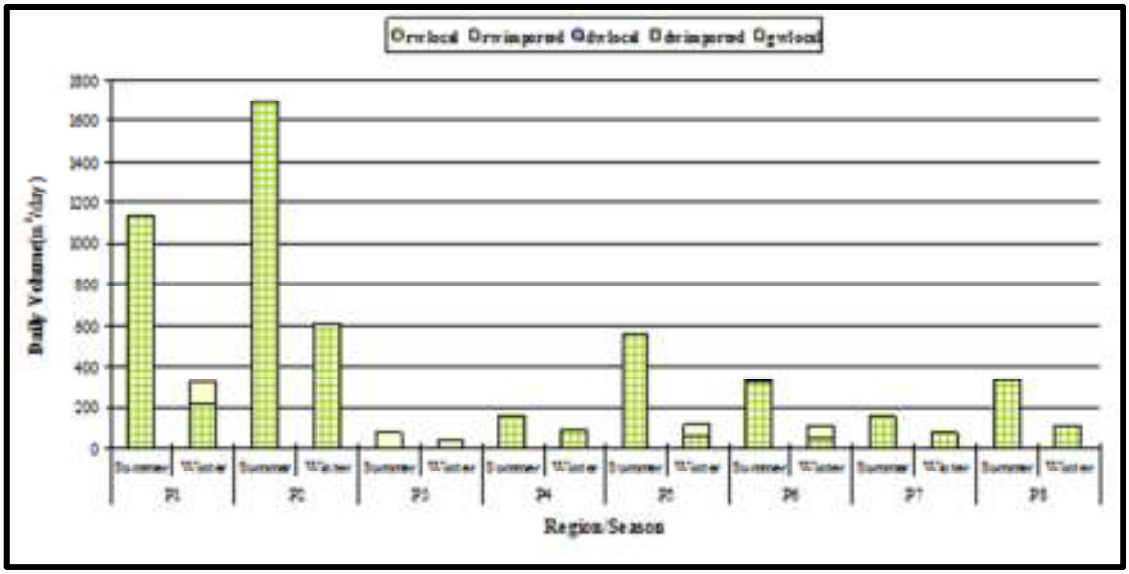
Οι εγκαταστάσεις αφαλατωμένου νερού στη θέση D1 και D6 λειτουργούν μόνο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ οι εγκαταστάσεις στις θέσεις D2 και D8 λειτουργούν όλη τη διάρκεια του χρόνου. Η εγκατάσταση D2 έχει τη μέγιστη παραγωγή.

Στο **Σχήμα 10.4** παρουσιάζονται οι ημερήσιες ποσότητες ανάκτησης νερού και απόρριψης των επεξεργασμένων εκροών από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίες υγρών αποβλήτων. Εγκατάσταση ανάκτησης νερού δεν απαιτείται για την περιοχή P3, και ως εκ τούτου, στην περιοχή αυτή, το σύνολο των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων απορρίπτεται στον αποδέκτη.



Σχήμα 10.4 Ημερήσιες ποσότητες ανάκτησης και διάθεσης νερού μετά την επεξεργασία

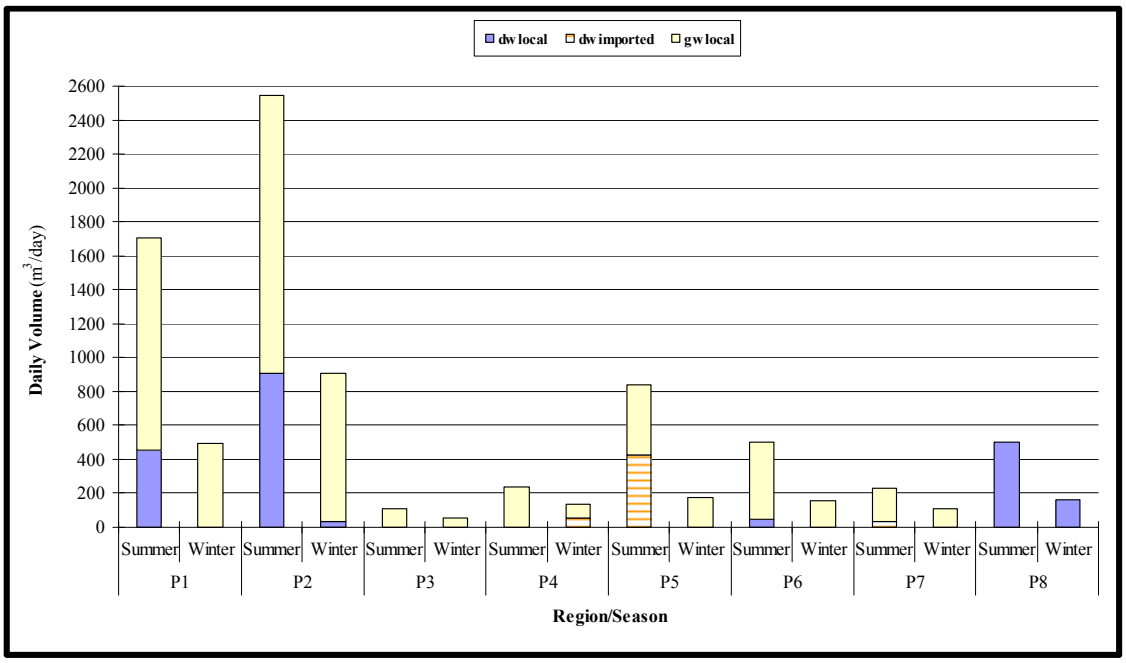
Η τοπική παροχή νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα (gw local) καλύπτει πόσιμες (**Σχήμα 10.4**) κα μη πόσιμες ανάγκες (**Σχήμα 10.5**). Στη βέλτιστη λύση, οι πηγές μη πόσιμου νερού είναι τοπικά ανακτημένο νερό και τοπική παροχή νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα (χωρίς να απαιτείται καθόλου η χρήση αφαλατωμένου νερού).



Σχήμα 10.5 Ημερήσιες ανάγκες μη πόσιμου νερού

Όσον αφορά το πόσιμο νερό (**Σχήμα 10.6**), αυτό αποτελεί συνδυασμό υπόγειου νερού και αφαλατωμένου. Μόνο στις περιοχές P4, P5 και P7 υπάρχει μεταφορά πόσιμου νερού από άλλη περιοχή. Πρέπει να τονιστεί ότι συνήθως τα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα για την κάλυψη πόσιμων εφαρμογών, ενώ γίνεται χρήση αφαλατωμένου νερού

μόνο εάν υπάρχουν επιπλέον ανάγκες. Το τελευταίο συμβαίνει γιατί το κόστος παραγωγής (άντλησης) του υπόγειου νερού είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού. Σε όλες τις περιοχές εκτός από την R8, τα υπόγεια ύδατα είναι περισσότερα από το αφαλατωμένο νερό στο πόσιμο σύστημα νερού, ενώ η τοπική παραγωγή ανακτημένου νερού έχει τη μεγαλύτερη συμμετοχή στις μη πόσιμες χρήσεις και τα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιούνται επικουρικά και για μη πόσιμες χρήσεις μόνο στις υποπεριοχές P1, P3, P5 και P6.



Σχήμα 10.6 Ημερήσιες ποσότητες πόσιμου νερού

10.1.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων

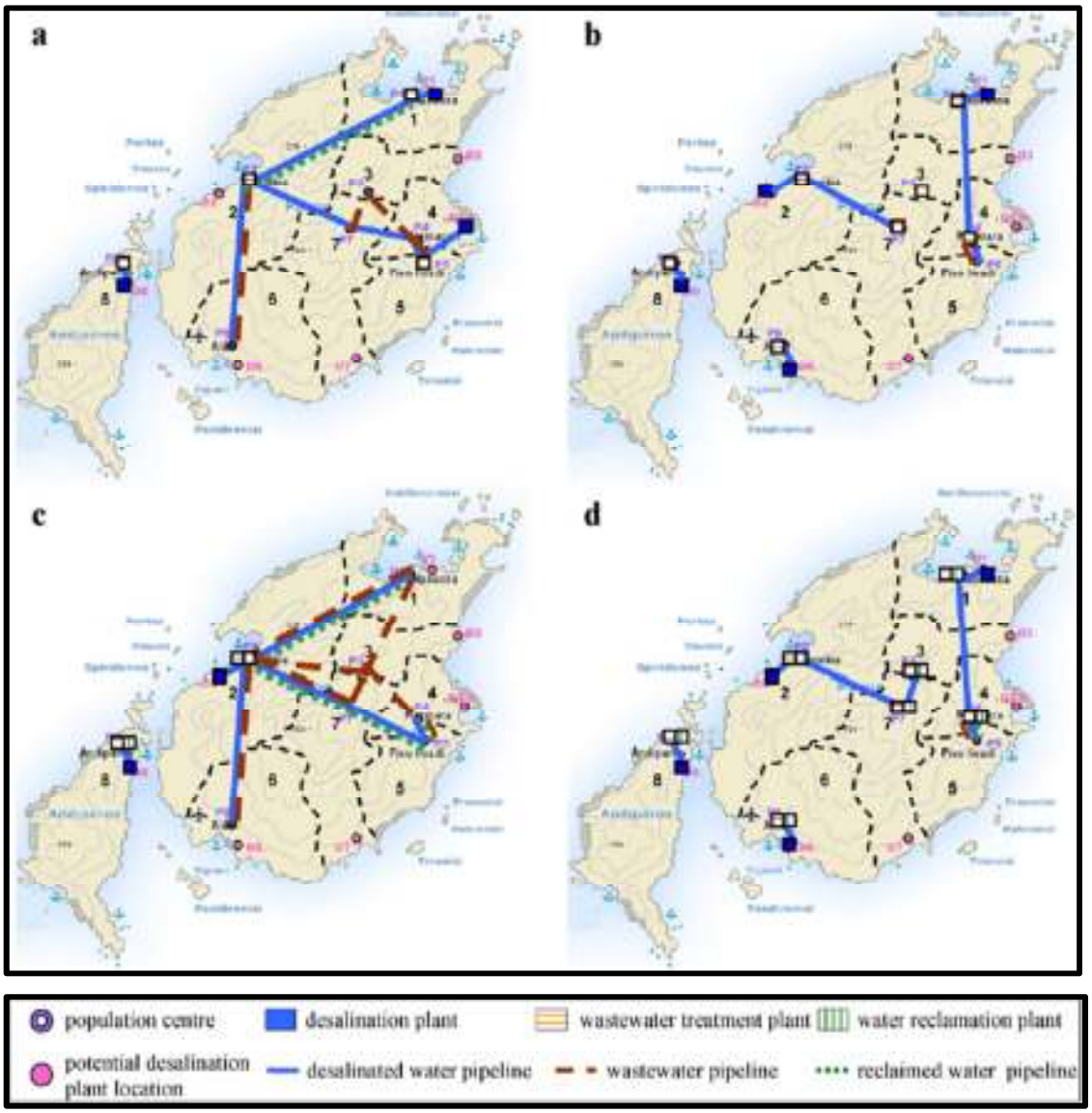
Η βέλτιστη αντικειμενικά τιμή, οι βέλτιστες θέσεις των εγκαταστάσεων και δυναμικότητες για κάθε σενάριο παρουσιάζονται στον **Πίνακα 10.2** και εμφανίζονται στο **Σχήμα 10.7**. Εύκολα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα πλεονεκτήματα του βέλτιστου σεναρίου, χωρίς περιορισμούς, είναι σημαντικά. Όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν έχουν ετήσιο κόστος λειτουργίας τουλάχιστον 30% υψηλότερο από αυτό του βέλτιστου σεναρίου χωρίς περιορισμούς. Στο βέλτιστο σενάριο οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης βρίσκονται στις περιοχές P1, P2, P6 και P8, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βρίσκονται σε όλα τα πληθυσμιακά κέντρα ενώ υπάρχουν παντού εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού εκτός από την περιοχή P3.

		Βέλτιστο	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Ετήσιο συνολικό κόστος ($)		1,686,618	2,502,749	2,274,755	2,357,685	2,559,991
Αντικειμενική διαφορά		0%	48.4%	34.9%	39.8%	51.8%
Τοποθεσία και δυναμικότητα (m^3/day)	Εγκατάσταση αφαλάτωσης	D1 (451) D2 (1373) D6 (100) D8 (500)	D1(3502) D4-5 (2405) D8 (500)	D1 (2737) D2 (2792) D6 (378) D8 (834)	D2 (5100) D8 (834)	D1 (2783) D2 (2884) D6 (499) D8 (500)
	Εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	P1 (1989) P2 (2967) P3 (128) P4 (279) P5 (979) P6 (582) P7 (270) P8 (584)	P1 (1989) P2 (3548) P5 (1655) P8 (584)	P1 (1989) P2 (2967) P3 (128) P4 (1257) P6 (582) P7 (270) P8 (584)	P2 (5100) P8 (584)	P1 (1989) P2 (2967) P3 (128) P4 (1257) P6 (582) P7 (270) P8 (584)
	Εγκατάσταση ανάκτησης νερού	P1 (1137) P2 (1695) P4 (159) P5 (559) P6 (328) P7 (154) P8 (334)	P8 (334)	None	P2 (2720) P8 (334)	P1 (1137) P2 (1695) P3 (100) P4 (718) P6 (332) P7 (154) P8 (334)

Πίνακας 10.2 Αποτελέσματα σύγκρισης των σεναρίων

Στο Σενάριο 1 «Υπάρχουσα Υποδομή», υπάρχουν μόνο δύο εγκαταστάσεις αφαλάτωσης και τρεις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το υψηλότερο κόστος προκύπτει από το κόστος κατασκευής των δικτύων μεταφοράς, των αντλιοστασίων και το κόστος άντλησης. Το Σενάριο 2 «Χωρίς ανάκτηση νερού» έχει ως αποτέλεσμα πολύ μεγαλύτερη παραγωγή ύδατος από αφαλάτωση, που είναι και η πιο ακριβή επιλογή. Στο Σενάριο 3 «Κεντρική Υποδομή», όλες οι εγκαταστάσεις βρίσκονται κεντρικά στην περιοχή P2, αυτό έχει ως αποτέλεσμα αφ' ενός την μείωση του κόστους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ανάκτησης και

αφαλάτωσης νερού (λόγω οικονομίας κλίμακας), αφ' εταίρου το πολύ υψηλότερο κόστος για τη μεταφορά των συλλεγμένων υγρών αποβλήτων και το παραγόμενο αφαλατωμένο και ανακτημένο νερό. Η οικονομικά δυσμενέστερη εναλλακτική λύση είναι το Σενάριο 4 «Χωρίς χρήση υπόγειου νερού», καθώς απαιτείται περισσότερο αφαλατωμένο νερό. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα υπόγεια ύδατα αποτελούν έναν περιορισμένο πόρο, και η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων θα πρέπει να ελέγχεται για να είναι βιώσιμη. Το Σενάριο 4 στην ουσία υπολογίζει το κόστος εάν αποφασιστεί να τερματιστεί οριστικά η χρήση του υπόγειου νερού. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει ροή αφαλατωμένου νερού προς το σύστημα μη- πόσιμου νερού και στα τέσσερα εναλλακτικά σενάρια.



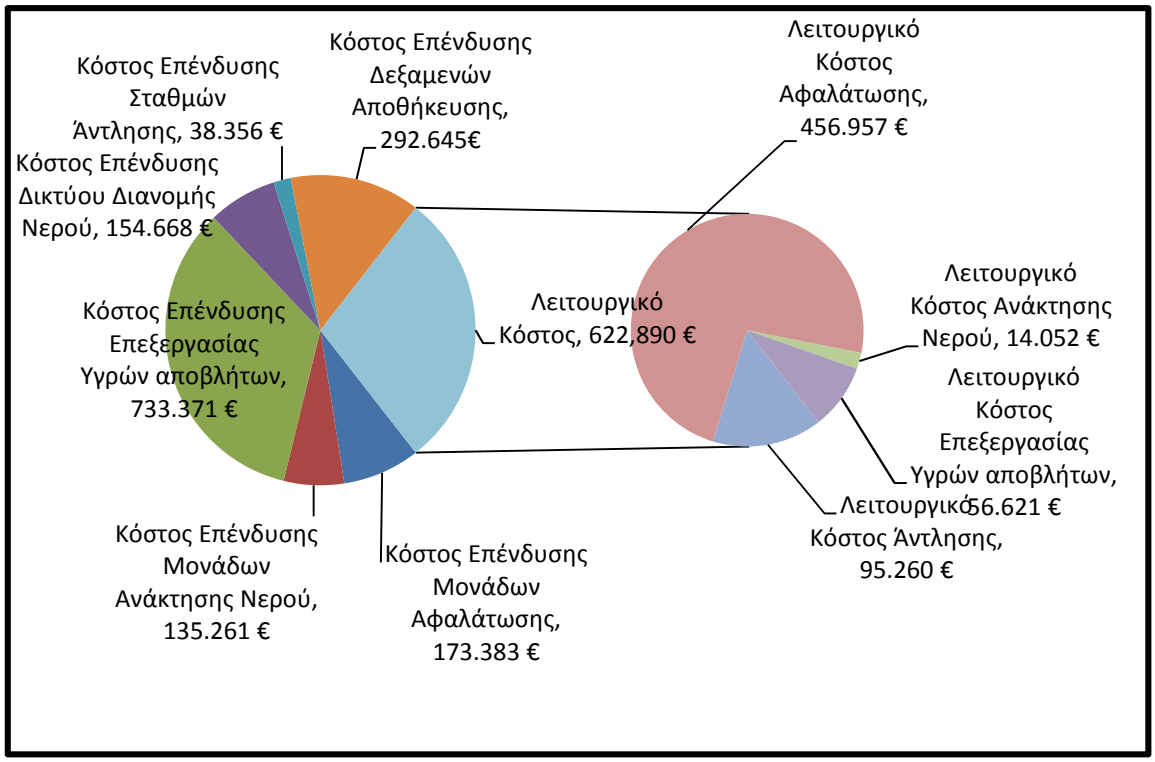
Σχήμα 10.7 Βέλτιστες θέσεις εγκαταστάσεων και δικτύων για όλα τα σενάρια a) Σενάριο 1, b) Σενάριο 2, c) Σενάριο 3, d) Σενάριο 4

10.2 ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ ΚΑΙ ΘΗΡΑΣΙΑ

Επιλέχθηκαν τα πιο κάτω σενάρια:

- Σενάριο 1: «**Με υποθαλάσσιο αγωγό μεταφοράς νερού**»: Θεωρείται ότι μεταφέρεται νερό από την εγκατάσταση αφαλάτωσης D5 στην υποπεριοχή 14
- Σενάριο 2: «**Χωρίς ανάκτηση νερού**»: Θεωρείται ότι δεν γίνεται ανάκτηση νερού στα νησιά

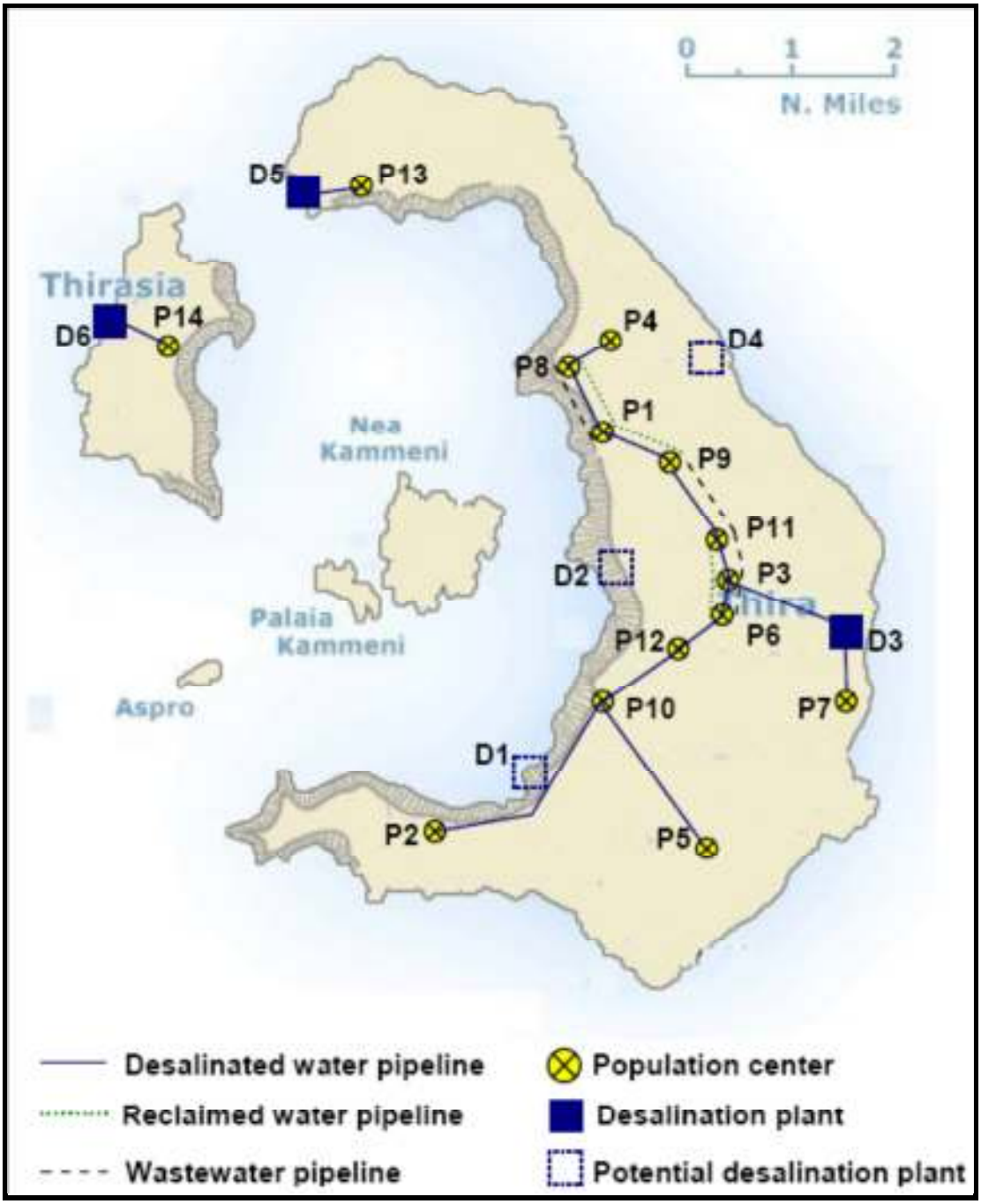
Η βέλτιστη λύση δίνει ένα ετήσιο συνολικό κόστος των 2.150.574 ευρώ. Η ανάλυση του βέλτιστου ετήσιου συνολικού κόστους δίνεται στο **Σχήμα 10.8**.



Σχήμα 10.8 Κατανομή του ετήσιου συνολικού κόστους (€) για την Σαντορίνη-Θηρασιά

Στη βέλτιστη λύση (**Σχήμα 10.9**), τρεις τοποθεσίες έχουν επιλεγεί από το πρόγραμμα για τις μονάδες αφαλάτωσης: D3, D5 και D6 στις αντίστοιχες περιοχές P3, P5 και P6. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βρίσκονται σε κάθε πληθυσμιακό κέντρο, όπως εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού. Όσον αφορά τα δίκτυα των σωληνώσεων, έχει υπολογιστεί μόνο το δίκτυο μεταφοράς αφαλατωμένου νερού αφού υποθέσαμε ότι υπάρχει δίκτυο μεταφοράς του υπόγειου νερού μέχρι και τη δεξαμενή συλλογής. Στον **Πίνακα 10.3** παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες για τη βέλτιστη λύση. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται η κατεύθυνση των υδάτων για όλες τις κατηγορίες: αφαλατωμένο νερό (dw), υγρά απόβλητα (ww) και ανακτημένο νερό (rw). Ανάλογα με τις ποσότητες μεταφοράς έχει

υπολογιστεί η βέλτιστη διάμετρος της σωλήνωσης, ο μέγιστος ρυθμός ροής της αντλίας, ο αριθμός των αντλιών σε λειτουργία και ο όγκος τροφοδοσίας που αλλάζει τους θερινούς και τους χειμερινούς μήνες. Στη Σαντορίνη, ο αριθμός των αντλιών έχει αυξηθεί αρκετά (σε σύγκριση με την Πάρο) λόγω του ιδιαίτερου ανάγλυφου του νησιού.



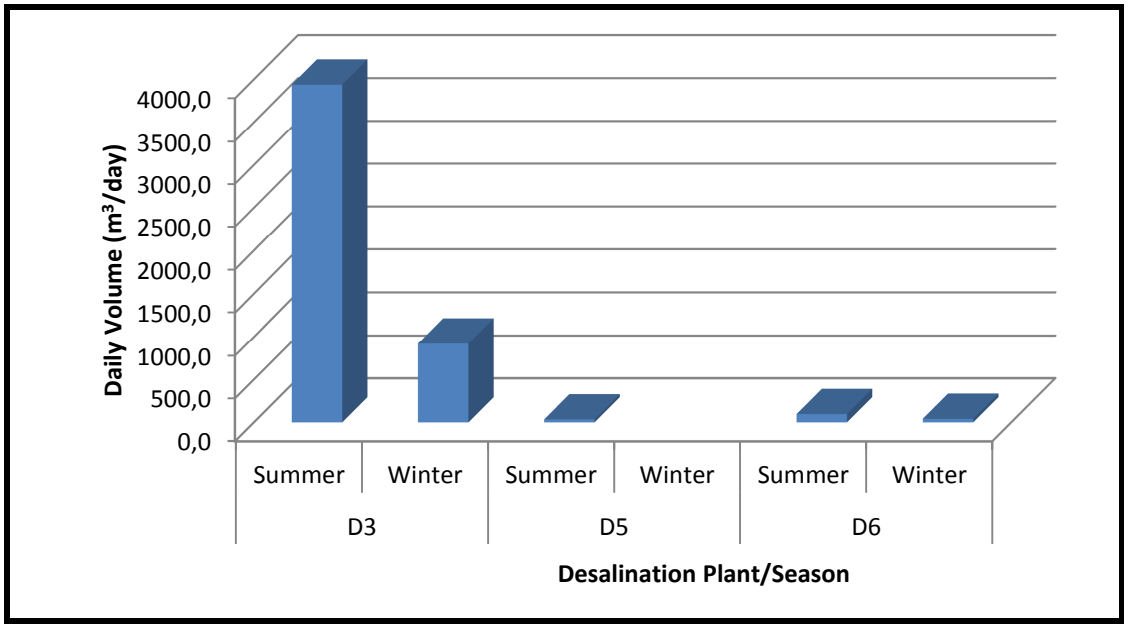
Σχήμα 10.9 Γράφημα της βέλτιστης λύσης

Κατεύθυνση	Είδος νερού	Διάμετρος σωλήνωσης (in)	Μέγιστος ρυθμός ροής αντλίας (m^3/day)	Αριθμός αντλιών σε λειτουργία	Όγκος τροφοδοσίας (m^3/day)	
					Καλοκαίρι	Χειμώνας
D3 -> P3	dw	11	4800	1	3579	920.8
D3 -> P7	dw	4	720	1	360.8	-
D5 -> P13	dw	2.5	240	1	35	-
D6 -> P14	dw	2.5	240	1	97.2	42
P1 -> P8	dw	2.5	240	1	122.2	34.2
P3 -> P6	dw	6	2400	1	1194	310
P3 -> P11	dw	11	-	-	2125.6	553
P6-> P12	dw	6	2400	1	1050.2	302.8
P8 -> P4	dw	2.5	-	-	69.4	34.2
P9 -> P1	dw	11	4800	1	1319.2	397.4
P10 -> P2	dw	2.5	-	-	123	-
P10 -> P5	dw	6	-	-	907.2	302.8
P11 -> P9	dw	11	4800	1	1719.4	553
P12 -> P10	dw	6	-	-	1050.2	302.8
P3 -> P11	ww	6	-	-	906.5	330.4
P6 -> P3	ww	4	-	-	515.2	202.3
P8 -> P1	ww	4	-	-	310.1	95.9
P9 -> P11	ww	4	-	-	498.4	203.7
P12 -> P6	ww	4	-	-	282.1	130.9
P1 -> P8	rw	2.5	240	1	177.2	-
P1 -> P9	rw	4	-	-	284.8	116.4
P3 -> P6	rw	2.5	240	1	133.2	40.8
P11 -> P3	rw	4	720	1	356.8	114

Πίνακας 10.4 Λεπτομέρειες της βέλτιστης λύσης για κάθε διασύνδεση που δημιουργείται

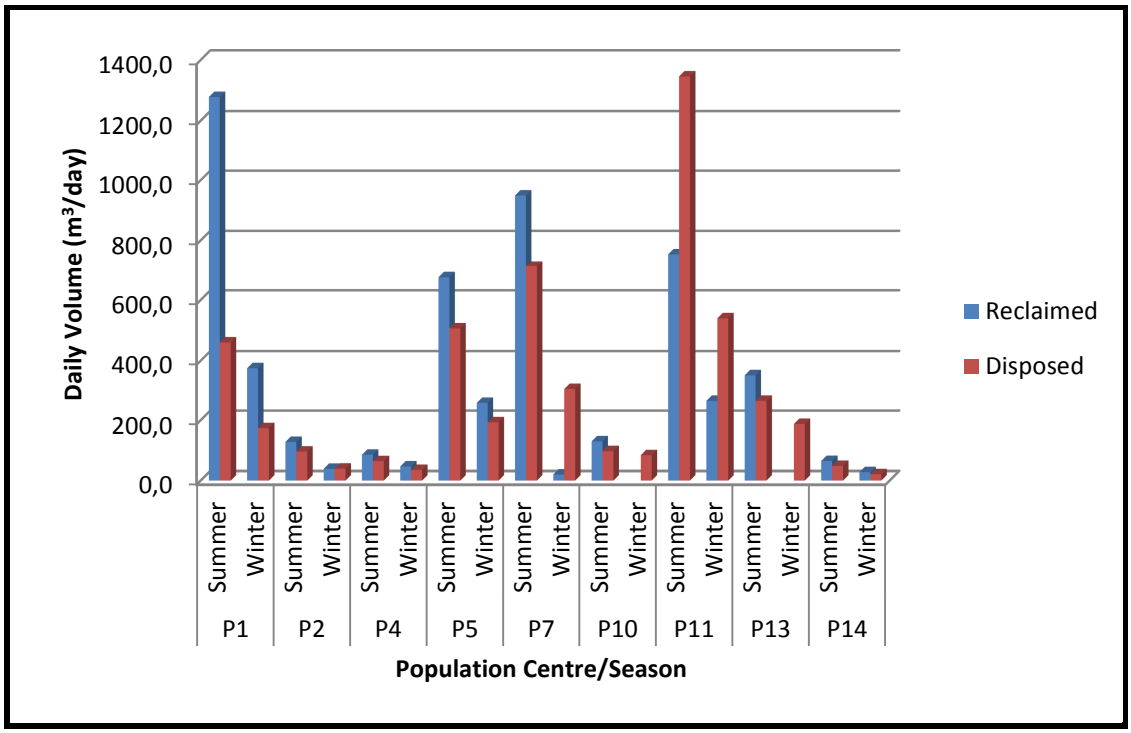
Οι πληροφορίες επίλυσης του **Πίνακα 10.4** εμφανίζονται και σχηματικά στη συνέχεια.

Αρχικά, στο **Σχήμα 10.10** φαίνεται η παραγωγή αφαλατωμένου νερού, όπου όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα παράγεται στις περιοχές P3, P5 και P6 με τις μέγιστες ποσότητες στην περιοχή P3 που βρίσκεται ουσιαστικά στο κέντρο του νησιού. Μικρές ποσότητες παράγονται στην περιοχή P5 λόγω της απομακρυσμένης θέσης της και μόνο τους θερινούς μήνες.

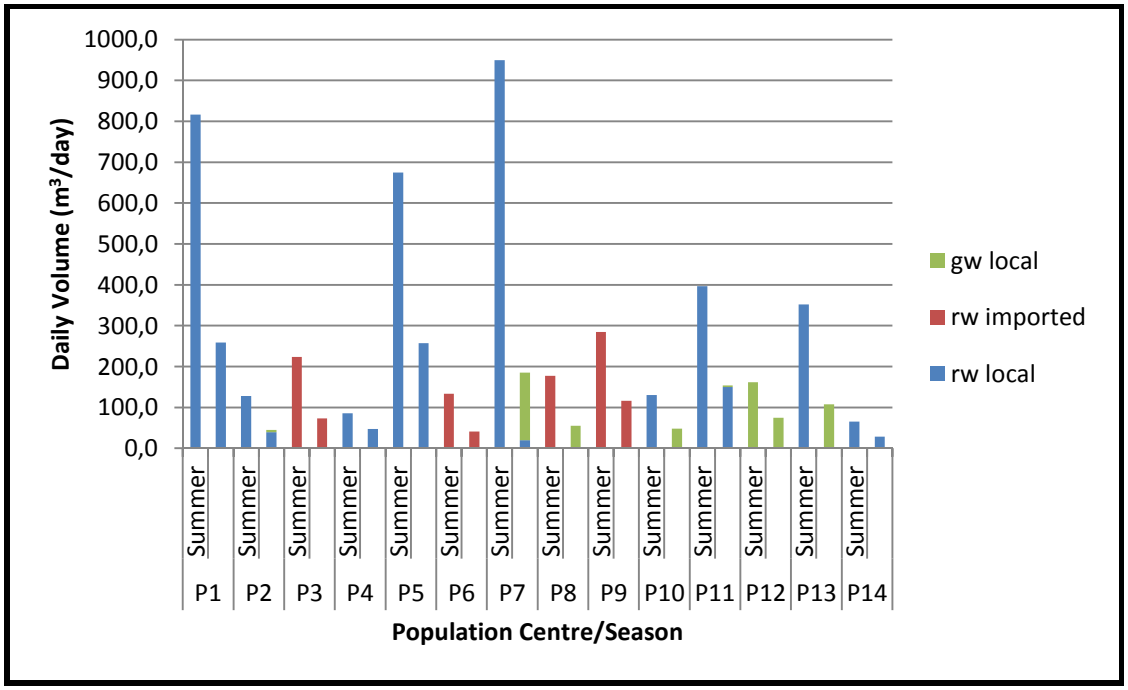


Σχήμα 10.10 Παραγωγή αφαλατωμένου νερού

Στο **Σχήμα 10.11** παρουσιάζονται οι ημερήσιες ποσότητες ανάκτησης και απόρριψης των επεξεργασμένων εκροών από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Εγκαταστάσεις ανάκτησης δεν απαιτούνται για τις περιοχές P3, P6, P8 και P9 αφού ανακτημένο νερό μεταφέρεται από άλλες περιοχές (βλέπε και **Σχήμα 10.12**). Ενώ στην περιοχή P12 οι ανάγκες μη πόσιμου νερού καλύπτονται από το νερό των γεωτρήσεων.

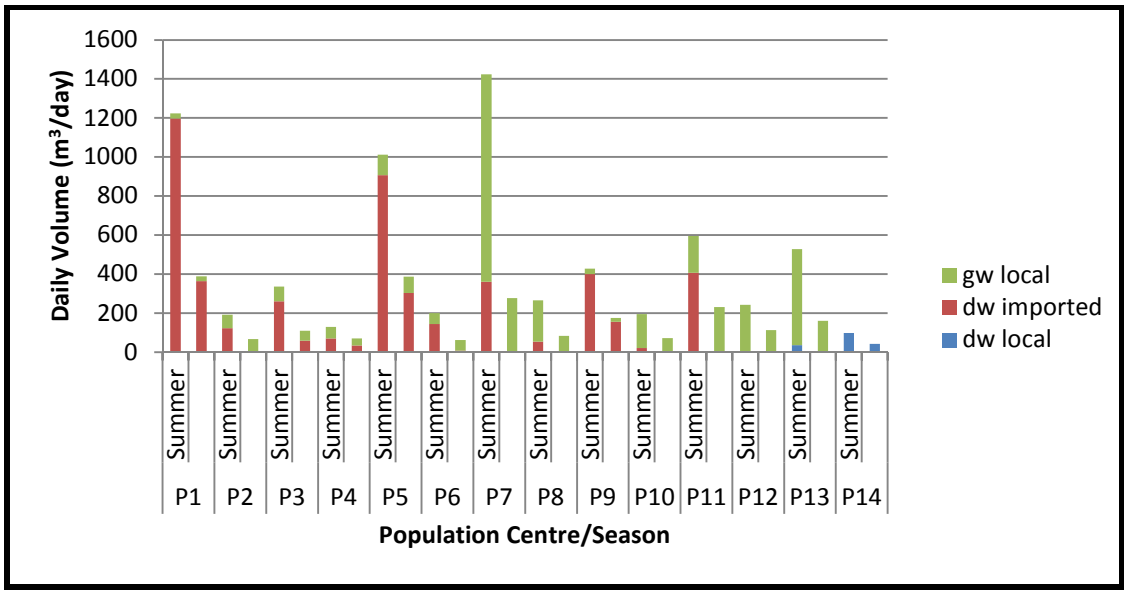


Σχήμα 10.11 Ημερήσιες ποσότητες ανάκτησης και διάθεσης νερού μετά την επεξεργασία



Σχήμα 10.12 Ημερήσιες ανάγκες μη πόσιμου νερού

Όσον αφορά το πόσιμο νερό (**Σχήμα 10.13**), αυτό αποτελεί συνδυασμό υπόγειου νερού και αφαλατωμένου που συνήθως μεταφέρεται από άλλες περιοχές. Βασικά η μεγαλύτερη ποσότητα παράγεται από τη μονάδα αφαλάτωσης D3 και το διανείμει σχεδόν σε όλο το νησί ενώ μικρές ποσότητες παράγονται από τις μονάδες D5 και D6 αλλά καταναλώνονται τοπικά.



Σχήμα 10.13 Ημερήσιες ποσότητες πόσιμου νερού

10.2.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Η βέλτιστη λύση, οι βέλτιστες θέσεις των εγκαταστάσεων και δυναμικότητες για κάθε σενάριο παρουσιάζονται στον **Πίνακα 10.5**.

		Βέλτιστο	Σενάριο 1	Σενάριο 2
Ετήσιο συνολικό κόστος (€)		2,150,574	2,264,547	2,523,891
Αντικειμενική διαφορά		0%	5.3%	17.4%
Τοποθεσία και δυναμικότητα (m^3/day)	Εγκατάσταση αφαλάτωσης	D3 (3940) D5 (100) D6 (100)	D3 (3940) D5 (132)	D3 (7939) D5 (387) D6 (162)
	Εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	I1 (1738) I2 (224) I4 (150) I5 (1181) I7 (1661) I10 (228) I11 (2099) I13 (616) I14 (113)	I2 (224) I4 (1888) I5 (1181) I7 (1661) I10 (228) I11 (2099) I13 (616) I14 (113)	I2 (224) I4 (460) I5 (1408) I7 (2176) I11 (3012) I13 (616) I14 (113)
	Εγκατάσταση ανάκτησης νερού	I1 (1278) I2 (128) I4 (100) I5 (675) I7 (949) I10 (130) I11 (574) I13 (352) I14 (100)	I2 (128) I4 (1364) I5 (675) I7 (949) I10 (130) I11 (754) I13 (352) I14 (100)	Καμία

Πίνακας 10.5 Αποτελέσματα σύγκρισης των σεναρίων

Εύκολα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα πλεονεκτήματα του βέλτιστου σεναρίου είναι σημαντικά. Όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν έχουν ετήσιο κόστος λειτουργίας υψηλότερο από αυτό του προτεινόμενου σεναρίου. Στο βέλτιστο σενάριο οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης βρίσκονται στις περιοχές P3, P5 και P6, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βρίσκονται στα πληθυσμιακά κέντρα P1, P2, P4, P5, P7, P10, P11, P13 και P14 με αντίστοιχες εγκαταστάσεις ανάκτησης νερού. Το Σενάριο 2 «Χωρίς ανάκτηση νερού», έχει ως αποτέλεσμα πολύ μεγαλύτερη παραγωγή ύδατος από αφαλάτωση, που είναι και η πιο ακριβή επιλογή.

11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

Η εργασία αυτή προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων σε περιοχές που έχουν ελλειμματικό ισοζύγιο πόσιμου νερού. Στην παρούσα εργασία, προτάθηκε μια προσέγγιση βελτιστοποίησης με χρήση τεχνικών **μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP)** για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων της αφαλάτωσης, υγρών αποβλήτων και ανακτημένου νερού. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, βελτιστοποιήθηκαν οι θέσεις και οι δυναμικότητες της αφαλάτωσης, των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και των συστημάτων ανάκτησης νερού, τα κύρια δίκτυα αγωγών, ο αριθμός και τα είδη των αντλιών και δεξαμενών αποθήκευσης για όλες τις παροχές νερού.

Η προσέγγιση αυτή εφαρμόστηκε στα νησιά της **Πάρου - Αντιπάρου** και **Σαντορίνης - Θηρασιάς** και εξετάστηκαν διάφορα σενάρια. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη λύση που δίνεται από το προτεινόμενο μοντέλο παρέχει σημαντικό όφελος σε σύγκριση με τις λύσεις των άλλων σεναρίων.

Επομένως, ένα τέτοιο μοντέλο **θα έπρεπε να χρησιμοποιείται από τις αρμόδιες αρχές** για την ορθή και αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Το μοντέλο περιλαμβάνει ήδη αρκετές μεταβλητές και δεδομένα αλλά βεβαίως θα μπορούσε να αναπτυχθεί ενσωματώνοντας άλλα θέματα αβεβαιότητας.

12 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρεαδάκης Α., 2008, Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας.

Αγγέλου Γεώργιος, Διευθυντής Εγκαταστάσεων της Ε.Υ.Α.Θ. Α.Ε., Δίκτυα & Εγκαταστάσεις Ύδρευσης – Αποχέτευσης/ Προτεινόμενες Νέες Δράσεις

Γαϊτάνης Χ., 2007, Αειφόρος Ανάπτυξη στο Νησί Πάρος, Δίκτυο Αειφόρων Νησων ΔΑΦΝΗ

Γνώμη Πρωτοβουλίας της ΟΚΕ για τους υδατικούς πόρους, 2009

Γκίκας Π., Χημικός Μηχανικός, Επιβλέπων Μηχανικός β' Φάσης Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας Ε.Υ.Δ.Ε.-Α.Ε.Λ.Μ.Π./Γ.Γ.Δ.Ε./Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2009, Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

ΙΤΕΠ (Ινστιτούτο Τουριστικών Ερευνών και Προβλέψεων), 2008, Η εικόνα του ξενοδοχειακού δυναμικού της Ελλάδας. Ανάγκη αλλαγής της πολιτικής των επενδυτικών κινήτρων

ΚΕΔΚΕ- ΕΔΕΥΑ –Παρανυχιανάκης Ν., Κοτσελίδου Ο., Βαρδάκου Ε., Αγγελάκης Α., 2009, Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκροών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα

Κοινοπραξία Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2007, Κείμενο διαβούλευσης επί των προσχεδίων διαχείρισης των υδατικών πόρων των νησιών του Αιγαίου

ΝΑΜΑ Α.Ε.- SPEED ΕΠΕ- ΠΕΣΥΔΑΠ, 1994, Προσδιορισμός τεχνικών και οικονομικών μεγεθών για την επαναχρησιμοποίηση του παραγόμενου νερού από τη λειτουργία του Κέντρου Λυμάτων της Ψυττάλειας

Νταρακάς Ε., Επ. Καθηγητής – Τ.Π.Μ. – Α.Π.Θ., 2010, Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Νταρακάς Ε., Επ. Καθηγητής – Τ.Π.Μ. – Α.Π.Θ., 2010, Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

ΥΠΕΧΩΔΕ, Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικής Εκτίμησης του Ειδικού Χωροταξικού Σχεδίου για τη Βιομηχανία

Υπηρεσία Αποχετεύσεων και Ανακύκλωσης, 2009, Χρήση ανακυκλωμένου νερού στην Κύπρο

Φούγιας Ε.Γ., Δρ. Πολιτικός Μηχανικός- Υγιεινολόγος, ΕΥΔΑΠ, Διεύθυνση Μελετών, Υπηρεσία Μελετών Έργων Αποχέτευσης, «Και μετά τη Ψυττάλεια, τι; Το συνεχιζόμενο έλλειμμα σε υποδομές αποχέτευσης στην Αττική»

A.N. Angelakisa, B. Durhamb, Water recycling and reuse in EUREAU countries (2006). Trends and challenges.

A. Urkiaga, L. de las Fuentes, B. Bis, E. Chiru, B. Balasz, F. Hernandez (2006). Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse.

Aggeli, K., Kalavrouziotis, I. K. and Bezergianni, S. (2009). A proposal of a treated wastewater reuse design system in urban areas. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(7b), 1295-1301.

Bakir, H. A. (2001). Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. *Journal of Environmental Management, 61*, 319-328.

Bouwer, H. (2000). Integrated water management: Emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, *45*, 221–280.

Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., and Raman, R. (2008). *GAMS - A User's Guide*. GAMS Development Corporation, Washington, DC, USA.

Cunha, M.C., Pinheiro, L., Zeferino, J., Antunes, A., and Afonso, P. (2009). Optimization Model for Integrated Regional Wastewater Systems Planning. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *135*, 23–33.

Draper, A. J., Jenkins, M. W., Kirby, K. W., Lund. J. R., and Howitt, R. E. (2003). Economic-engineering optimization for California water management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *129*, 155–164.

Fujiwara, O., and Khang, D. B. (1990). A two-phase decomposition method for optimal design of looped water distribution networks. *Water Resources Research*, *26*, 539–549.

G. Wade Miller (2004). Integrated concepts in water reuse: managing global water needs.

Georgopoulou, E., Kotronarou, A., Koussis, A., Restrepo, P. J., Gómez-Gotor, A., and Rodriguez Jimenez, J. J. (2001). A methodology to investigate brackish groundwater desalination coupled with aquifer recharge by treated wastewater as an alternative strategy for water supply in Mediterranean areas. *Desalination*, *136*, 307–315.

Gikas, P., and Angelakis, A. N. (2009). Water resources management in Crete and in the Aegean Islands, with emphasis on the utilization of non-conventional water sources. *Desalination*, *248*, 1049–1064.

Gikas, P., and Tchobanoglous, G. (2009a). Sustainable use of water in the Aegean Islands. *Journal of Environmental Management*, *90*, 2601–2611.

Gikas, P., and Tchobanoglous, G. (2009b). The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *Journal of Environmental Management*, *90*, 144–152.

Government of South Australia and SA Water (Residential Recycled Water Household Guide), downloaded 2012.

Han, Y., Xu, S., and Xu, X. (2008). Modeling multisource multiuser water resources allocation. *Water Resources Management*, *22*, 911–923.

Handbook on feasibility studies for water reuse projects, Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater (2006).

Hellenic Ministry for Agriculture, 1996, revision 2002. [Dams and Lagoons on the Aegean Islands], Athens *(In Greek)*.

ILOG (2007). ILOG CPLEX 11.0 User's Manual. ILOG SA, Gentilly, France.

Jaber, I. S., and Ahmed, M. R. (2004). Technical and economic evaluation of brackish groundwater desalination by reverse osmosis (RO) process. *Desalination*, *165*, 209–213.

Joksimovic, D., Savic, D. A., Walters, G. A., Bixio, D., Katsoufidou, K. and Yiantsios, S. G. (2008). Development and validation of system design principles for water reuse systems. *Desalination*, *218*, 142–153.

Kalavrouziotis, I. K., and Apostolopoulos, C. A. (2007). An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater from WWTP in urban areas. *Building and Environment*, *42*, 1862–1868.

Karagiannis, I. C. and Soldatos, P. G. (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination*, *223*, 448–456.

Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K., and Wie, J. M. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, *221*, 47–69

Kondili, E., Kaldellis, J. K., and Papapostolou, C. (2010). A novel systemic approach to water resources optimisation in areas with limited water resources. *Desalination*, *250*, 297–301.

Kornelaki, E., Liu, S., Papageorgiou, L. G. and Gikas, P. (2010). Potential for water reclamation and reuse at the municipality of Kasteli, Heraklion, Greece, Worshop on Water Reuse, ORBIT2010 Conference, Heraklion, Greece.

L. Sala, A. Angelakis and V. Lazarova (2007). Good practice examples in Southern Europe.

Law, I. B. (2003). Advanced reuse - from Windhoek to Singapore and beyond. *Water*, May, 44–50.

Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, G. L., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M. and Brissaud, F. (2001). Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology*, *43*(10), 25–33.

Leitão, J. P., Matos, J. S., Gonçalves, A. B., and Matos J. L. (2005). Contribution of Geographic Information Systems and location models to planning of wastewater systems. *Water Science and Technology*, *52*(3), 1–8.

Manners, F. P. and Dowson, S. A. (2010). Think before you drink: Is sewage a source of drinking water?, Greenridge Press, Toowoomba, Queensland, Australia.

Mavri, M. (2010). Paros Water and Wastewater Enterprise, Personal communication.

Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L. G., Lund, J. R., and Ramírez-Acosta, R. J. (2007). The application of economic-engineering optimisation for water management in Ensenada, Baja California, Mexico. *Water Science and Technology*, *55*(1–2), 339–347.

Miller, G. W. (2006). Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. *Desalination*, *187*, 65–75.

Okun, D. A. (1997). Distributing reclaimed water through dual systems. *Journal of the American Water Works Association, 89*(11), 52–64.

O'Toole,J. Sinclair,M. and Leder,K. Transfer Rates of Enteric Microorganisms in Recycled water during Machine Clothes Washing. *Applied and Environmental Microbiology.* 75(5): 1256-1263, 2009

P. Gikas, G. Tchobanoglous (2009). The role of satellite and decentralized strategies in water resources management.

Papageorgiou, L. G. (2009). Supply chain optimisation for the process industries: Advances and opportunities. *Computers and Chemical Engineering*, *33*, 1931–1938.

Polytechnic University of Catalonia (2007). Promoting the use of reclaimed water in Mediterranean Countries, Golf course irrigation with reclaimed water, Water reuse case studies in Spain.

R. Crites and G. Tchobanogrous (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems. WCB and McGraw-Hill, New York, USA.

Ray, P. A., Kirshen, P. H., and Vogel, R. M. (2010). Integrated optimization of a dual quality water and wastewater system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *136*, 37–47.

Reca, J., Roldán, J., Alcaide, M., López, R., and Camacho, E. (2001). Optimisation model for water allocation in deficit irrigation systems I. Description of the model, *Agricultural Water Management*, *48*, 103–116.

Rita Hochstrat, Thomas Wintgens, Thomas Melin (2006) Development of integrated water reuse strategies.

Shah, N. (2005). Process industry supply chains: Advances and challenges. *Computers and Chemical Engineering*, *29*, 1225–1236.

Vakondios, G., 2009, Director of Ermoupolis (Syros) Water and Wastewater Enterprise, Personal communication.

Voivontas, D., Arampatzis, G., Manoli, E., Karavitis, C., and Assimacopoulos, D. (2003). Water supply modeling towards sustainable environmental management in small islands: the case of Paros, Greece, *Desalination*, *156*, 127–135.

Wang, C. G., and Jamieson, D. G. (2002). An objective approach to regional wastewater treatment planning. *Water Resources Research*, *38*, 1022.

White, I., Falkland, T., Perez, P., Dray, A., Metutera, T., Metai, E., and Overmars, M. (2007). Challenges in freshwater management in low coral atolls. *Journal of Cleaner Production*, *15*, 1522–1528.

World Health Organization (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater Excreta and Greywater*, France, United Nations Environment Program.

Xu, P., Valette, F., Brissaud, F., Fazio, A., and Lazarova, V. (2001). Technical-economic modelling of integrated water management: Wastewater reuse in a French island. *Water Science and Technology*, *43*(10), 67–74.

Zechman, E. M., and Ranjithan, R. S. (2007). Generating alternatives using evolutionary algorithms for water resources and environmental management problems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *133*, 156–165.

13 ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

S. Liu, F. Konstantopoulou, L.G. Papageorgiou and P. Gikas, 2011, "A Mixed Integer Optimisation Approach for Integrated Water Resources Management", Computers & Chemical Engineering, 35, 858-875.

F. Konstantopoulou, S. Liu, L.G. Papageorgiou and P. Gikas, 2011, "Water Resources Management for Paros Island, Greece", International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems, 2(1), 1-6.

14 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

Flora Konstantopoulou, Songsong Liu, Lazaros G. Papageorgiou and Petros Gikas, “Water Resources Management for Paros Island, Greece”, International Conference on Energy, Water & Environment 12-15 December 2010, Amman, Jordan

Flora Konstantopoulou, Songsong Liu, Lazaros G. Papageorgiou and Petros Gikas, “The utilization of non conventional water resources to subsidize insufficient water balances: Case study for Santorini Island, Greece”, EnCon 2012, 5th Engineering Conference, "Engineering Towards Change – Empowering Green Solutions", 10-12th, July 2012, Kuching, Sarawak, Malaysia

15 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στον κ. Νικόλα Μάϊνα, Διευθυντή της Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Σαντορίνης για την πολύτιμη βοήθειά του και την παροχή των δεδομένων για τα νησιά Σαντορίνη και Θηρασιά.

Στην κ. Μαρία Μαυρή, υπάλληλο της Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πάρου για την πολύτιμη βοήθειά της και την παροχή των δεδομένων για τα νησιά Πάρο και Αντίπαρο.