



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Οδικοί χάρτες για τη βιώσιμη διαχείριση του  
αστικού κύκλου του νερού: η περίπτωση της  
Αθήνας**

**Παπατριανταφύλλου Ειρήνη**

**Επιβλέπων: Χ. Μακρόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2012**



## Ευχαριστίες

Η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την παρουσία και καθοδήγηση του επιβλέποντος καθηγητή κ. Χ. Μακρόπουλου τον οποίο ευχαριστώ θερμά. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Μηχανικό Ευάγγελο Ρόζο για την πολύτιμη βοήθειά του σε σχέση με το πρόγραμμα που χρησιμοποίησα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Ευθύμιο Λύτρα, Προϊστάμενο Υπηρεσίας Έρευνας και Ανάπτυξης της ΕΥΔΑΠ ΑΕ, για το χρόνο που μου διέθεσε και τη βοήθειά του στην παροχή στοιχείων που μου ήταν απαραίτητα για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους και την στήριξή τους όλο αυτό το διάστημα.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ix
ABSTRACT.....	xi
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Το ΚΙΝΗΤΡΟ.....	1
1.2 ΣΤΟΧΟΣ .....	2
1.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	2
1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	2
<b>2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....</b>	<b>4</b>
2.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ .....	4
2.1.1 Η έννοια των φυσικών οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους ( <i>ecosystem services</i> ).....	4
2.1.2 Θεσμικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των υδάτων.....	5
2.2 ΜΑΥΡΟ ΝΕΡΟ (BLACKWATER).....	7
2.3 ΓΚΡΙΖΟ ΝΕΡΟ (GREYWATER).....	7
2.4 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ .....	8
2.4.1 Οδηγία Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) .....	8
2.4.2 Κανονισμός Πολιτείας Καλιφόρνια.....	11
2.4.3 Οδηγίες άλλων χωρών .....	11
2.4.4 Θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα.....	13
2.5 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ .....	15
2.5.1 Καλιφόρνια (ΗΠΑ).....	15
2.5.2 Κύπρος .....	16
2.5.3 Ισραήλ .....	16
2.5.4 Αυστραλία.....	17
2.5.5 Ισπανία.....	17
2.5.6 Σιγκαπούρη .....	18
2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	18
2.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ .....	19
<b>3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ .....</b>	<b>22</b>
3.1 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	22

3.2 UWOT (THE URBAN WATER OPTIONEERING TOOL) .....	23
3.2.1 Εσωτερικό Υδραγωγείο .....	23
3.2.2 Εξωτερικό Υδραγωγείο.....	24
3.2.3 Εισαγωγή Δεδομένων.....	25
3.2.4 Εξαγωγή στοιχείων .....	25
3.3 ΟΔΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ.....	26
<b>4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΑΘΗΝΑ.....</b>	<b>29</b>
4.1 ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	29
4.2 ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	31
4.2.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Ψυττάλειας.....	32
4.2.2 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Μεταμόρφωσης.....	34
4.2.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Θριασίου.....	35
4.2.4 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Μεγάρων.....	36
4.3 ΖΗΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ .....	36
4.3.1 Γεωγραφικές ενότητες .....	37
4.3.2 Άρδευση γεωργικών εκτάσεων .....	37
4.3.3 Βιομηχανική χρήση .....	40
4.3.4 Αναδασώσεις.....	41
4.3.5 Αναπλάσεις αστικών περιοχών.....	42
4.3.6 Άρδευτικές ανάγκες νησίδων και πρανών αυτοκινητοδρόμων.....	50
4.3.7 Άρδευση αστικού πρασίνου.....	50
4.3.8 Εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα.....	51
<b>5. ΑΝΑΛΥΣΗ.....</b>	<b>53</b>
5.1. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΖΩΝΕΣ.....	53
5.2 ΟΔΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ.....	55
5.2.1 Σενάριο αναφοράς – Υπάρχον σύστημα.....	55
5.2.2 Οδικός Χάρτης 1 .....	58
5.2.3 Οδικός χάρτης 2 .....	66
5.2.4 Οδικός χάρτης 3 .....	70
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	70
5.3.1 Μεταβολή της ζήτησης του πόσιμου νερού στην Αθήνα.....	70
5.3.2 Μεταβολή της συνολικής εκμετάλλευσης υδάτων .....	73

5.3.3 Μεταβολή ενεργειακών αναγκών για την άντληση του πόσιμου και του ανακτώμενου νερού από λύματα.....	74
5.3.4 Μεταβολή ενεργειακών αναγκών για την επεξεργασία πόσιμου νερού και ανακτώμενου νερού από λύματα.....	79
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>83</b>
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	83
6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	86
<b>7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>87</b>





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Αθήνα είναι μια πόλη που για να ικανοποιήσει τις υδατικές της ανάγκες εκμεταλλεύεται απομακρυσμένους υδατικούς πόρους, με μεγάλο ενεργειακό και περιβαλλοντικό κόστος καθώς επίσης και αρκετές γεωτρήσεις που υποβαθμίζουν τους υπόγειους υδροφορείς της. Ως εκ τούτου αποτελεί περιοχή μελέτης για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων που εφαρμόζεται σήμερα σε πολλές χώρες για την κάλυψη αστικών και περιαστικών αναγκών σε νερό.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, αρχικά καθορίστηκαν οι περιοχές της Αθήνας όπου κρίνεται σκόπιμη η επαναχρησιμοποίηση ανακτώμενου νερού από επεξεργασμένα λύματα. Οι περιοχές επιλέχθηκαν με πρώτο κριτήριο τα είδη των χρήσεων για την κάλυψη των οποίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανακτώμενο νερό, όπως η βιομηχανική χρήση, οι αναπλάσεις – αναδασώσεις, οι αρδεύσεις καλλιεργειών και αστικού πρασίνου και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων και με δεύτερο κριτήριο την εγγύτητά τους στις σημαντικότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Για την προοδευτική αντικατάσταση του πόσιμου με ανακτώμενο νερό, αναπτύχθηκαν τρεις οδικόι χάρτες αποτελούμενοι από πέντε βήματα ο καθένας με τελικό στόχο την κάλυψη ενός ποσοστού των μελλοντικών αναγκών. Το κάθε βήμα του οδικού χάρτη προσομοιώθηκε στο μοντέλο UWOT με το οποίο βελτιστοποιείται το σύνολο του αστικού κύκλου του νερού και εξάγονται στοιχεία που αφορούν στη μεταβολή της παροχής (πόσιμου νερού, λυμάτων κ.λ.π.) και στην κατανάλωση ενέργειας σε διάφορα σημεία του κύκλου.

Τέλος, έγινε συγκριτική αξιολόγηση των οδικών χαρτών με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που αφορούν στη μεταβολή της ζήτησης του πόσιμου νερού, της συνολικής εκμετάλλευσης υδάτων και του ενεργειακού κόστους για την άντληση και την επεξεργασία πόσιμου και ανακτώμενου νερού.



## **ABSTRACT**

Athens water demand is currently covered with water transferred from remote water resources, requiring high energy consumption and having environmental effects, as well as with several boreholes that degrade aquifers. For this reason, wastewater reuse, which is implemented in many countries covering urban and peri-urban needs, was examined.

In this thesis, the areas of Athens where wastewater reuse can be implemented were defined. The criteria for the designation of these areas were the sort of uses that will be covered with reclaimed water, such as industrial use, reforestation, crop irrigation and ground water recharge and the proximity of these areas to the major wastewater treatment plants.

For the progressive replacement of potable water by reclaimed water, three roadmaps were developed consisting of five steps each, aiming to cover a percentage of future needs. Each step of the roadmap was simulated in the UWOT model which optimizes the entire urban water cycle. The results of the simulation include water demand fluctuation, wastewater discharge and the energy consumption.

Finally, a comparative assessment of roadmaps based on the results of the simulations was made, taking into account the water demand reduction, the total water abstractions and the energy consumption for pumping and treatment of potable and reclaimed water.



# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Το κίνητρο

Λόγω της έλλειψης νερού, που παρουσιάζεται σε αρκετές χώρες και της υιοθέτησης μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος, τις τελευταίες δεκαετίες εξετάζεται όλο και περισσότερο η εύρεση εναλλακτικών πηγών νερού για την κάλυψη διαφόρων αναγκών. Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων ως μια τέτοια πηγή εφαρμόζεται διεθνώς εδώ και καιρό από χώρες πρωτοπόρες σε αυτόν τον τομέα όπως η Αυστραλία, το Ισραήλ και η Πολιτεία της Καλιφόρνιας, που έχουν αναπτύξει στρατηγικά προγράμματα σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, αναγνωρίζοντας την ευεργετική επίδραση, που μπορεί να έχει στη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων (Rubin, 2001).

Στην Ευρώπη, το ενδιαφέρον είναι εντονότερο στο νότο και σε χώρες όπως η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Ιταλία, η Ελλάδα και η Κύπρος, καθώς επίσης και στη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο, λόγω της άνισης κατανομής των βροχοπτώσεων αλλά και της δυσκολίας παραγωγής νερού κατάλληλης ποιότητας σε συγκεκριμένες περιόδους του χρόνου και στις απαιτούμενες ποσότητες (Angelakis et al, 1999). Ωστόσο, παρά το αυξανόμενο ενδιαφέρον αλλά και τις προσπάθειες που έχουν ήδη ξεκινήσει σε μερικές χώρες, δεν υπάρχει κάποιο ενιαίο νομοθετικό πλαίσιο, που να ρυθμίζει το θέμα της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων. Ως εκ τούτου κάθε χώρα έχει θεσπίσει τα δικά της κριτήρια στην επεξεργασία των λυμάτων για την μετέπειτα επαναχρησιμοποίηση, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι αυστηρότερα από τα όρια των κανονισμών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 1989) και της Καλιφόρνια. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η θεσμοθέτηση μιας ενιαίας Ευρωπαϊκής πολιτικής, καθώς επίσης και η ανάπτυξη μεθόδων, που θα επιτρέπουν τη δημιουργία οδικών χαρτών (roadmaps) για την εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων

## 1.2 Στόχος

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία διαφόρων οδικών χαρτών που θα περιγράφουν τα επιμέρους στάδια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στην Αθήνα. Οι οδικοί χάρτες θα καθορίζουν τα εναλλακτικά σενάρια, που μπορούν να ακολουθηθούν καθώς θα αυξάνεται η παροχή των επεξεργασμένων λυμάτων προς επαναχρησιμοποίηση.

## 1.3 Διαδικασία

- Μελέτη της βιβλιογραφίας σχετικά με την τεχνολογία και την εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων παγκοσμίως και ειδικά σε χώρες με μεγάλη εμπειρία στον συγκεκριμένο τομέα (Σιγκαπούρη, Ισραήλ, Καλιφόρνια κ.λπ.).
- Μελέτη του συνολικού αστικού κύκλου του νερού στην Αθήνα και των πιθανών χρήσεων με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα λύματα.
- Χρήση εργαλείων και μεθόδων όπως το UWOT και ο οδικός χάρτης, με σκοπό τον προσδιορισμό και την προσομοίωση των εναλλακτικών σεναρίων για την εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης του νερού στην Αθήνα.
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων ως προς τη μεταβολή ορισμένων μεγεθών από την εφαρμογή των εκάστοτε σεναρίων.

## 1.4 Διάρθρωση διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια.

- Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή και αναφέρεται ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας.
- Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση των κανονισμών, που ισχύουν σε παγκόσμια κλίμακα για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων και επίσης αναφέρονται και παραδείγματα εφαρμογής διεθνώς.
- Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται το πρόγραμμα, που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση του αστικού κύκλου του νερού της Αθήνας, ενώ ακόμα γίνεται

αναφορά και στη χρήση των οδικών χαρτών ως εργαλεία σχεδιασμού και ανάπτυξης στρατηγικής.

- Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης ως προς το υπάρχον σύστημά της, ενώ γίνεται εκτίμηση των υφιστάμενων και μελλοντικών της αναγκών σε νερό, που δύναται να αντικατασταθούν με ανακτώμενο από λύματα νερό.
- Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύονται οι οδικοί χάρτες και οι επιμέρους φάσεις τους και εξάγονται αποτελέσματα σχετικά με τη μεταβολή της ζήτησης του νερού και του ενεργειακού κόστους.
- Στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση και τα αποτελέσματα και υποβάλλονται προτάσεις προς μελλοντική έρευνα.
- Στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρατίθεται η χρησιμοποιηθείσα βιβλιογραφία.

## 2. Βιβλιογραφική επισκόπηση

### 2.1 Διαχείριση υδατικών πόρων και προστασία περιβάλλοντος

Το νερό είναι ένας βασικός φυσικός πόρος ζωτικής σημασίας τόσο για τη λειτουργία των φυσικών οικοσυστημάτων όσο και για την επιβίωση των ανθρώπων. Την ίδια στιγμή όμως, βρίσκεται σε συνεχή κίνδυνο η ποιοτική και ποσοτική επάρκειά του λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αλόγιστης χρήσης του από τον άνθρωπο. Η ανθρώπινη κατάχρηση των υδατικών πόρων αλλά και η ρύπανση του γλυκού νερού κυρίως στις αστικές περιοχές και στις καλλιεργούμενες εκτάσεις, επιβαρύνουν τους υδατικούς πόρους. Κατά συνέπεια, οι οικολογικές διαδικασίες των υδάτινων σωμάτων, του εδάφους και των υπόγειων υδροφορέων (διήθηση, φυσική αποσύνθεση ρύπων κ.λ.π.) στον κύκλο του νερού παρεμποδίζονται. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η διαχείριση των υδατικών πόρων και η εξασφάλιση της βιωσιμότητάς τους.

#### 2.1.1 Η έννοια των φυσικών οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους (*ecosystem services*)

Τις τελευταίες δεκαετίες, στον τομέα της οικολογικής οικονομίας παρουσιάζεται όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τις λειτουργίες, τα αγαθά και τις υπηρεσίες των φυσικών οικοσυστημάτων. Οι πρώτες αναφορές σχετικά με την έννοια των λειτουργιών και των υπηρεσιών των φυσικών οικοσυστημάτων γίνονται ήδη στη δεκαετία του '60 και στις αρχές της δεκαετίας του '70, ενώ τελευταία το ενδιαφέρον για τα οφέλη που αποκομίζει η ανθρώπινη κοινωνία από τα φυσικά οικοσυστήματα έχει αυξηθεί ραγδαία (De Groot et al., 2002).

Οι υπηρεσίες των φυσικών οικοσυστημάτων (*ecosystem services*) είναι το σύνολο των λειτουργιών, που πραγματοποιούνται μέσα σε ένα οικοσύστημα, οι οποίες είναι χρήσιμες στους ανθρώπους. Πολλές από αυτές τις λειτουργίες είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση των ανθρώπων (όπως η ρύθμιση του κλίματος, ο καθαρισμός της ατμόσφαιρας κ.α.) ενώ άλλες τη βελτιώνουν (π.χ. αναψυχή) (Kremen, 2005).



Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στα αστικά οικοσυστήματα τα οποία πλήττονται από τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτά. Τα αστικά οικοσυστήματα μπορούν να καταταχθούν σε επτά κατηγορίες: (i) δένδροστοιχίες, (ii) πάρκα, (iii) αστικό δάσος, (iv) καλλιέργειες, (v) υγρότοποι, (vi) λίμνες και θάλασσα και (vii) ρέματα. Αυτά τα συστήματα παράγουν ένα πλήθος υπηρεσιών όπως η μείωση της ηχορύπανσης, κατακράτηση ομβρίων, επεξεργασία λυμάτων κ.λ.π., οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο για την ποιότητα ζωής στις αστικές περιοχές (Bolund & Hunhammar, 1999)

Προκειμένου οι άνθρωποι να συνεχίσουν να επωφελούνται από αυτές τις λειτουργίες και τις υπηρεσίες, πρέπει να διασφαλιστεί η ύπαρξη και η ακεραιότητα αυτών των φυσικών οικοσυστημάτων και των διαδικασιών τους. Η αξία των ανωτέρω γίνεται αντιληπτή όταν διαταραχθεί η λειτουργία των οικοσυστημάτων ή επί το δυσμενέστερο όταν εξαφανιστούν (De Groot et al., 2002).

#### *2.1.2 Θεσμικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των υδάτων*

Ήδη από το 1970, στην Ευρώπη γίνονται προσπάθειες να δημιουργηθεί ένα ενιαίο και αποτελεσματικό πλαίσιο σχετικά με την πολιτική, που πρέπει να ακολουθείται στη διαχείριση των υδάτων. Ο κύριος στόχος της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι να διασφαλίσει ότι σε όλη την ΕΕ υπάρχει καλής ποιότητας νερό τόσο για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών όσο και για το περιβάλλον.

Το 2000, με την Οδηγία Πλαίσιο (Water Framework Directive 2000/60/EC) θεσπίστηκε ένα νομικό πλαίσιο για την προστασία και την αποκατάσταση της ποιότητας των υδάτων στη Ευρώπη, ώστε να διασφαλίζεται η βιώσιμη διαχείρισή τους. Ο βασικός στόχος της οδηγίας ήταν να βελτιωθεί η ποιότητα του συνόλου του νερού, επιφανειακό και υπόγειο, μέχρι το 2015. Ωστόσο, οι στόχοι της πολιτικής της ΕΕ επηρεάζονται από ένα σύνολο αρνητικών παραγόντων, όπως η ρύπανση των υδάτων, η συνεχής εκμετάλλευση του νερού για γεωργικές αρδεύσεις και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Το “Blueprint to safeguard Europe’s water resources” που αναμένεται να εκδοθεί μέχρι τα τέλη του 2012, αναθεωρεί την Οδηγία Πλαίσιο του 2000 και βελτιώνει την πολιτική που πρέπει να ακολουθείται στη διαχείριση των υδάτων. Συγκεκριμένα, τίθεται ως στόχος η εξασφάλιση καλής ποιότητας νερού και σε επαρκείς ποσότητες για όλες τις επιτρεπόμενες

χρήσεις (EU, 2012). Επιπλέον, διασφαλίζεται μία βιώσιμη ισορροπία μεταξύ της ζήτησης και της διάθεσης νερού λαμβάνοντας υπόψιν τις ανάγκες τόσο των ανθρώπων όσο και των φυσικών οικοσυστημάτων. Γενικότερα, αποσκοπεί στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της Ευρωπαϊκής πολιτικής σε αυτόν τον τομέα. Οι κατευθύνσεις της νέας οδηγίας θα πρέπει να εφαρμοστούν μέχρι το 2020.

Αναλυτικά, το Blueprint θα εστιάζει στους παρακάτω τομείς (EU, 2012):

- Χρήσεις γης: μελέτες σχετικά με τη φυσική κατακράτηση του νερού θα προσδιορίσουν τα πλέον σημαντικά μέτρα που πρέπει να εφαρμοστούν για τη μείωση του κινδύνου πλημμυρών, την αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα και την προστασία της βιοποικιλότητας ιδίως μέσω της εφαρμογής μέτρων και κινήτρων με σκοπό το όφελος από τη βελτίωση των υπηρεσιών που προσφέρουν τα φυσικά οικοσυστήματα.
- Οικονομικά κίνητρα για την αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων: προωθείται η εφαρμογή μέτρων σχετικά με το κόστος χρήσης του νερού και τη ρύπανση των υδάτων προκειμένου να αντισταθμιστεί το περιβαλλοντικό κόστος. Τέτοια μέτρα αποτελούν η κοστολόγηση του νερού, τα φορολογικά κίνητρα, ο περιορισμός αλόγιστων επιδοτήσεων και η δημιουργία συστημάτων κατανομής νερού σε περιοχές όπου παρουσιάζεται έλλειψη.
- Ορθολογική χρήση νερού: για να υπολογιστεί η βέλτιστη χρήση του νερού είναι απαραίτητο να ποσοτικοποιηθεί η απόκλιση μεταξύ της ζήτησης και της διαθεσιμότητάς του. Το Blueprint θα παρέχει ενδεικτικούς στόχους αποδοτικότητας του νερού τόσο σε επίπεδο ΕΕ, κρατών – μελών και σε τοπικό επίπεδο λεκάνης απορροής αλλά επιπρόσθετα προσβλέπει στη βελτίωση της αποδοτικότητάς του στα κτίρια και στα δίκτυα ύδρευσης.
- Καινοτομία στη διαχείριση των υδατικών πόρων: θα εντοπιστούν τα κύρια οικονομικά, τεχνολογικά, οργανωτικά και κοινωνιολογικά εμπόδια για την εφαρμογή της καινοτομίας στο τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων και θα αναζητηθούν τρόποι υπέρβασής τους.
- Επίβλεψη στην πολιτική διαχείρισης του νερού: θα αναζητηθούν τρόποι βελτίωσης της επίβλεψης μέσω διοικητικών ρυθμίσεων, ενώ παράλληλα θα παρέχεται η ικανότητα προσαρμογής σε προκλήσεις όπως στην κλιματική αλλαγή.

- Βελτίωση γνώσεων για τη χάραξη της πολιτικής των υδάτων: θα προταθούν ιδέες για τη βελτίωση της ποιότητας των πληροφοριών και των γνώσεων που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων, όπως με την αυξημένη χρήση δορυφορικών και επίγειων συστημάτων παρακολούθησης (GMES), την ενίσχυση του συστήματος πληροφοριών για το νερό στην Ευρώπη (Water Information System for Europe) και την ανάπτυξη οδικού χάρτη για έρευνα σχετικά με το νερό.
- Διαχείριση υδατικών πόρων σε παγκόσμια κλίμακα: το Blueprint θα συνυπολογίσει τις συνέπειες, σε διεθνές επίπεδο, της πολιτικής στη διαχείριση των υδάτων και θα ενισχύσει τη δέσμευση της ΕΕ για την επίτευξη των αναπτυξιακών στόχων των Ηνωμένων Εθνών (United Nation's millennium development goals, MDGs) σχετικά με την δυνατότητα χρήσης πόσιμου νερού και την υγιεινή, λαμβάνοντας υπόψιν παράλληλα τα αποτελέσματα του Συνεδρίου Rio+20.

## **2.2 Μαύρο νερό (blackwater)**

Με τον όρο ‘μαύρο νερό’ χαρακτηρίζονται τα υγρά απόβλητα της τουαλέτας ενός σπιτιού. Η συγκεκριμένη εκροή αποτελεί και την πιο επιβαρυνμένη μορφή αστικών αποβλήτων καθώς περιέχει σε υψηλή συγκέντρωση οργανικό φορτίο, παθογόνους μικροοργανισμούς και άζωτο. Εκτός από τα απόβλητα του ανθρώπινου μεταβολισμού συχνά περιέχονται και άλλες ουσίες όπως φαρμακευτικές καθώς επίσης και χημικά καθαριστικά οικιακής χρήσης.

## **2.3 Γκρίζο νερό (Greywater)**

Ως γκρίζο νερό ορίζεται το σύνολο των εκροών, που προέρχονται από τη χρήση νιπτήρων μπάνιου, πλυντηρίου ρούχων, πλυντηρίου πιάτων, μπανιέρας, ντουζιέρας και νεροχύτη κουζίνας (Nolde, 1999, Jefferson et al., 1999, 2000, 2004, Eriksson et al., 2002, Elmitwalli & Otterpohl, 2007). Κατά τους Hansen and Kjellerup (1994) το κλάσμα του γκρίζου νερού εκτιμάται ότι αποτελεί το 75% του συνολικού όγκου των παραγόμενων υγρών οικιακών λυμάτων.

Το γκρι νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί καθώς είναι λιγότερο επιβαρυνμένο σε σχέση με το μαύρο νερό (Πίνακας 2.1). Συγκεκριμένα, κρίνεται σκόπιμη η

επαναχρησιμοποίηση του στις τουαλέτες καθόσον στις περισσότερες χώρες σήμερα καταναλώνεται πόσιμο νερό. Έχει εκτιμηθεί ότι το 30% της συνολικής ποσότητας νερού, που καταναλώνεται μέσα σε μια οικία θα μπορούσε να εξοικονομηθεί μέσω της επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού στις τουαλέτες (Karpiscak et al.,1990). Οι εκροές από την κουζίνα, επειδή περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις από ανεπιθύμητες ενώσεις και εφόσον αποτελούν μόνο το 5% της μέσης οικιακής κατανάλωσης νερού, κρίνεται σκόπιμο να μην επαναχρησιμοποιούνται (Christova-Boal et al.,1996).

**Πίνακας 2.1** Σύγκριση γκρίζου και μαύρου νερού

Παράμετρος	Γκρίζο νερό	Μαύρο νερό
E. Coli / 100 ml	10 - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>
SS (mg/l)	2 - 1500	100 - 500
BOD (mg/l)	6 - 620	100 - 500
NO <sub>2</sub> - N (mg/l)	< 0.1 - 4.9	1 - 10
NH <sub>3</sub> - N (mg/l)	0.06 - 25.4	10 - 30
ολικό άζωτο TN (mg/l)	0.06 - 50	20 - 80
ολικός φώσφορος TP (mg/l)	0.04 - 42	5 - 30
pH	5.0 - 10.0	6.5 - 8.5

Πηγές: Jeppensen and Solley (1994), Christova-Boal et al. (1996), Eriksson et al. (2002), Gardner and Millar (2003), Palmquist and Jonsson (2003)

## 2.4 Θεσμικό πλαίσιο σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων

### 2.4.1 Οδηγία Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ)

Η οδηγία του ΠΟΥ, η οποία καταρτίστηκε το 1989, βασίζεται στα δεδομένα επιδημιολογικών ερευνών σε συνδυασμό με μία εμφανή προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες με αποτέλεσμα να μη θέτει ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια (Πίνακας 2.2). Ως εκ τούτου, πολλές από τις αναπτυγμένες χώρες αμφισβητούν αυτά τα κριτήρια και έχουν θέσει δικά τους αυστηρότερα (Blumenthal et al., 2000).

Οι τέσσερις κατηγορίες μέτρων που διερευνήθηκαν για τη μείωση ή εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση είναι (WHO, 1989):

- Επεξεργασία των λυμάτων
- Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών
- Επιλογή μεθόδου άρδευσης
- Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους μικροοργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των καλλιεργειών.

Στα αποτελέσματα της έρευνας γίνεται διάκριση των τύπων αρδύσεως: (i) σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση) και (ii) σε απεριόριστη άρδευση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας αλλά και για πότισμα γηπέδων, πάρκων, κ.λ.π.

**Πίνακας 2.2** Οδηγίες του ΠΟΥ (1989) για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση.

Κατηγορία	Είδος άρδευσης	Εκτιθέμενη σε παθογόνους ομάδα πληθυσμού	Εντερικοί νηματώδεις <sup>1</sup> (γεωμετρικός μέσος αυγών ανά λίτρο <sup>2</sup> )	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) (γεωμετρικός μέσος ανά 100 ml <sup>3</sup> )	Επεξεργασία που αναμένεται να επιτύχει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα
A	Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα, που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων, δημόσιων πάρκων <sup>4</sup>	Εργάτες, καταναλωτές, κοινό	<1	<1000	Σειρά λιμνών που επιτυγχάνει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
B	Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών καλλιεργειών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δένδρων <sup>5</sup>	Εργάτες	<1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε λίμνες σταθεροποίησης για 8-10 ημέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση περιττωματικών κολοβακτηριδίων
Γ	Όπως η κατηγορία Β με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμία	Δεν έχουν εφαρμογή	Δεν έχουν εφαρμογή	Επεξεργασία που απαιτείται από τη τεχνολογία του συστήματος άρδευσης αλλά όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια επεξεργασία

<sup>1</sup> Τα είδη *Ascaris* και *Trichuris*

<sup>2</sup> Κατά την περίοδο της άρδευσης

<sup>3</sup> Το αυστηρότερο κριτήριο των 200 FC/100 ml πρέπει να εφαρμόζεται σε γκαζόν, όπου υπάρχει πρόσβαση κοινού, π.χ. ξενοδοχεία κλπ.

<sup>4</sup> Στην περίπτωση οπωροφόρων δένδρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δύο εβδομάδες πριν από τη συλλογή των φρούτων και τα φρούτα δεν θα πρέπει να συλλέγονται από το έδαφος. Δεν θα πρέπει επίσης να εφαρμόζεται άρδευση με καταιονισμό.

#### *2.4.2 Κανονισμός Πολιτείας Καλιφόρνια*

Η πολιτεία της Καλιφόρνια έχει μακρά ιστορία στην επαναχρησιμοποίηση λυμάτων και έχει θεσμοθετήσει τον πρώτο σχετικό κανονισμό το 1918. Ο κανονισμός αυτός έχει υποστεί αναθεωρήσεις και επεκτάσεις και με τη σημερινή του μορφή, όπως διαμορφώθηκε το 1978 (Πίνακας 2.3), αποτελεί τη νομική βάση για την επαναχρησιμοποίηση όχι μόνο στην Καλιφόρνια αλλά και σε πολλές άλλες χώρες του κόσμου. Σημειωτέον ότι τα μικροβιολογικά κριτήρια και τα συνεπαγόμενα σχήματα επεξεργασίας, αν και είναι πολύ συντηρητικά, δεν βασίζονται σε επιδημιολογικές έρευνες (Crook et al., 2001).

#### *2.4.3 Οδηγίες άλλων χωρών*

Από τους σημαντικότερους παράγοντες, που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων είναι η απουσία ενός ενιαίου νομοθετικού πλαισίου. Στον ευρωπαϊκό χώρο, η μόνη αναφορά γίνεται στην ευρωπαϊκή οδηγία 91/271 (EU, 1991), η οποία αφορά στην επεξεργασία των αστικών λυμάτων και αναφέρει ότι “η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων πρέπει να γίνεται όποτε κρίνεται σκόπιμο”.

Οι περισσότερες μεσογειακές χώρες (Αλβανία, Αλγερία, Βοσνία - Ερζεγοβίνη, Κροατία, Αίγυπτος, Λίβανος, Λιβύη, Μάλτα, Μονακό, Μαρόκο, Σλοβενία, Συρία και Τουρκία) δεν έχουν σαφείς οδηγίες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων. Οι χώρες στις οποίες η επαναχρησιμοποίηση αναπτύσσεται επί μιας ορθολογικής βάσης, μέσα σε ένα οργανωμένο θεσμικό πλαίσιο, έχουν εκπονήσει και εφαρμόσει τους δικούς τους κανονισμούς. Ωστόσο, οι κανόνες αυτοί διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των χωρών, ακόμη και εντός μιας συγκεκριμένης χώρας, όπως στην Ιταλία ή την Ισπανία. Ορισμένες χώρες όπως η Γαλλία και η Τυνησία ή ακόμη και περιοχές στην ίδια χώρα όπως η Ανδαλουσία και οι Βαλεαρίδες Νήσοι στην Ισπανία, ή η Σικελία στην Ιταλία, έχουν υιοθετήσει μια σειρά από κριτήρια ποιότητας του νερού με βάση τις οδηγίες του ΠΟΥ, ενώ άλλες όπως η Κύπρος, η Ιταλία και το Ισραήλ, εφαρμόζουν κανονισμούς που είναι κοντά στα πιο συντηρητικά κριτήρια της Καλιφόρνια (Bahri and Brissaud, 2004).

**Πίνακας 2.3** Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων της Πολιτείας της Καλιφόρνια (1978).

Είδος χρήσης	Μέγιστη διάμεση τιμή ολικών κολοβακτηριδίων <sup>1</sup>	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωροκήπων και αμπελώνων <sup>2</sup>	-	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι για ζώα που παράγουν γάλα, τεχνητές λίμνες αναψυχής <sup>3</sup> , πότισμα γηπέδων γκολφ, νεκροταφείων κ.λ.π.	23/100 ml	Οξείδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών <sup>4</sup> , τεχνητές λίμνες αναψυχής <sup>5</sup>	2.2/100 ml	Οξείδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, πότισμα πάρκων, παιδικών χαρών κ.λ.π. Τεχνητές λίμνες αναψυχής <sup>6</sup>	2.2/100 ml και μέγιστη 23/100 ml <sup>7</sup>	Οξείδωση και κροκίδωση-καθίζηση <sup>8</sup> , διύλιση, απολύμανση

<sup>1</sup>Η διάμεση τιμή υπολογίζεται από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων επτά ημερών κατά τις οποίες έχουν γίνει αναλύσεις.

<sup>2</sup>Για τους οπωρώνες και τους αμπελώνες προϋποτίθεται ότι οι καρποί δεν έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης ή το χώμα.

<sup>3</sup>Λίμνες για αισθητική απόλαυση, χωρίς το κοινό να έρχεται σε επαφή με το νερό.

<sup>4</sup>Εξαιρέσεις μπορούν να γίνουν σε βρώσιμες καλλιέργειες, που υφίστανται επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους.

<sup>5</sup>Λίμνες για αλιεία, ιστιοπλοΐα και άλλες ψυχαγωγικές χρήσεις που δεν προϋποθέτουν επαφή του νερού με το ανθρώπινο σώμα.

<sup>6</sup>Λίμνες για χρήσεις χωρίς περιορισμό επαφής του νερού με το ανθρώπινο σώμα.

<sup>7</sup>Η μέγιστη τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνεται σε περισσότερα από ένα δείγμα σε οποιαδήποτε περίοδο 30 ημερών.

<sup>8</sup>Η θολότητα του διυλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει μία μέση τιμή δύο μονάδων θολότητας κατά τη διάρκεια του 24ώρου.



#### 2.4.4 Θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Το ρυθμιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα βασίζεται στην Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ, 2011) που επιφέρει σημαντικές τροποποιήσεις στη διαχείριση αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να μπορεί να ανακτηθεί νερό από επεξεργασία λυμάτων με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση του. Διευκρινίσεις για την εφαρμογή της Κ.Υ.Α. παρέχονται με την υπ' αριθμόν 145447/23.6.2011 εγκύκλιο του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.ΚΑ).

Με την ΚΥΑ θεσπίζονται τέσσερις βασικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων: (i) άρδευση, (ii) βιομηχανική χρήση, (iii) τροφοδότηση / εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και (iv) αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση. Τίθενται όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους, που λαμβάνονται υπόψη στις διάφορες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης, προσδιορίζεται ο αντίστοιχος βαθμός της κατ' ελάχιστον απαιτούμενης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από απολύμανση) και καθορίζεται η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών.

Η ΚΥΑ έχει εφαρμογή στις εξής περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων: Υγρά οικιακά ή αστικά λύματα ή βιομηχανικά λύματα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης και υγρά βιομηχανικά απόβλητα που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οιασδήποτε μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία.

Διακρίνονται δύο τύποι επαναχρησιμοποίησης στην περίπτωση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα: (i) 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 οι καλλιέργειες ζωοτροφών, τα λιβάδια, οι βιομηχανικές καλλιέργειες, τα δέντρα (εκτός των οπωροφόρων), οι 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, (ii) 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 τις ανθοκομικές καλλιέργειες. Στις περιπτώσεις αυτές επιτρέπονται διάφοροι τύποι άρδευσης, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού, ενώ δεν υπάρχουν περιορισμοί στην πρόσβαση του κοινού.

Για την τροφοδότηση των υπόγειων υδροφορέων διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι: (i) άμεσος εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα και (ii) εμπλουτισμός με τη μέθοδο της διήθησης διαμέσου εδαφικού στρώματος με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος. Στην τροφοδότηση των υπόγειων υδροφορέων εντάσσονται τόσο η υπεδάφια όσο και η επιφανειακή διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανόμενης και της τελικής διάθεσης μέσω απορροφητικού βόθρου.

Η αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, στις δασικές εκτάσεις, στους χώρους αναψυχής, στην αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος, στην πυρόσβεση, στον καθαρισμό των 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 σιντριβάνια, τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών ή υγροβιότοπων καθώς και την ενίσχυση παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

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

Η ΚΥΑ ορίζει ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία για κάθε κατηγορία επαναχρησιμοποίησης: (i) για την περιορισμένη άρδευση και τη βιομηχανική χρήση με νερό ψύξης μιας χρήσης απαιτείται δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία και απολύμανση, (ii) για την απεριόριστη άρδευση και τη βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης απαιτείται δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθούμενη από τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση και (iii) για αστική χρήση, εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα και για περιαστικό πράσινο απαιτείται δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση.

## 2.5 Διεθνής εμπειρία στην επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων εφαρμόζεται διεθνώς τόσο για την προστασία του περιβάλλοντος και την ορθότερη διαχείριση των υδατικών πόρων όσο και για την παραγωγή νερού κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες, που μαστίζονται από λειψυδρία. Σήμερα, η διαθέσιμη και συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία επιτρέπει την παραγωγή νερού πολύ καλής ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως χωρίς η χρήση του να αποτελεί κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται χώρες όπως οι ΗΠΑ, το Ισραήλ, η Σιγκαπούρη κτλ., οι οποίες έχουν ήδη να επιδείξουν αξιόλογη εμπειρία στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων.

### 2.5.1 Καλιφόρνια (ΗΠΑ)

Μέχρι το 1910, 24 από τις 35 Κοινότητες της Καλιφόρνια χρησιμοποιούσαν λύματα για την άρδευση καλλιεργειών μετά από επεξεργασία σε σηπτική δεξαμενή. Το 1950 υπήρχαν ήδη 107 καλλιεργήσιμες εκτάσεις αρδευόμενες με επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, ενώ το 1970 εκτιμήθηκε ότι η ποσότητα επαναχρησιμοποίησης ανερχόταν σε 216 hm<sup>3</sup>. Τις επόμενες δεκαετίες σημειώθηκε αξιόλογη αύξηση και το 2000 η ανακύκλωση νερού ανερχόταν σε 496 hm<sup>3</sup>. Σήμερα, η επαναχρησιμοποίηση νερού για αστικές χρήσεις εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 555 hm<sup>3</sup> μέχρι 715 hm<sup>3</sup> ανά έτος, δηλαδή αποτελεί το 6.8% της συνολικής αστικής χρήσης, ενώ συνολικά για όλες τις χρήσεις ανέρχεται σε 863 hm<sup>3</sup>/έτος. Μέχρι το 2030 αναμένεται ότι η ετήσια ποσότητα επαναχρησιμοποιημένων λυμάτων θα κυμαίνεται από 2100 hm<sup>3</sup> έως 2760 hm<sup>3</sup> (Manero & Mujeriego Sahuquillo, 2011).

Η ποσότητα των επαναχρησιμοποιημένων λυμάτων, που προορίζεται για αρδευτικές χρήσεις στην Καλιφόρνια αποτελεί λιγότερο από το μισό της συνολικής. Το υπόλοιπο μέρος χρησιμοποιείται τόσο για βιομηχανική χρήση όπως στα συστήματα ψύξης των σταθμών παραγωγής ενέργειας, όσο και για την άρδευση μεγάλων εκτάσεων όπως γήπεδα του γκολφ (συνολικά 125 γήπεδα σε όλη την Πολιτεία), δημόσια πάρκα, σχολικές αυλές, αυτοκινητόδρομοι, ενώ το 10% χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των υπογείων νερών.

### 2.5.2 Κύπρος

Στην Κύπρο η έλλειψη νερού άρχισε να αντιμετωπίζεται έγκαιρα. Χαρακτηριστικό της πολιτικής, που ακολουθείται είναι το σύνθημα “Ούτε μια σταγόνα νερού στη θάλασσα”. Υπάρχουν 25 κύριες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων παροχτευτικότητας συνολικά 20 hm<sup>3</sup>/yr. Αυτές οι εγκαταστάσεις καλύπτουν τα 4 μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Κύπρου καθώς και κάποιες μεγάλες τουριστικές περιοχές. Το νερό που προέρχεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων χρησιμοποιείται ήδη για το πότισμα γηπέδων ποδοσφαίρου, πάρκων, κήπων ξενοδοχείων (1.5 hm<sup>3</sup>/yr ) αλλά και για την άρδευση καλλιεργειών (3.5 hm<sup>3</sup>/yr) (Fatta et al., 2005). Στη Λεμεσό, τη δεύτερη μεγαλύτερη αστική περιοχή της Κύπρου με πληθυσμό περίπου 200 000 κατοίκους, το σύστημα επαναχρησιμοποίησης αστικών λυμάτων λειτουργεί από το 1995 με ετήσια παροχή ανακτώμενου νερού που κυμαίνεται σε 3.5 hm<sup>3</sup> (Papaïaconou, 2001). Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι ΕΕΛ έχουν ήδη τις προδιαγραφές για τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων, ώστε να μπορεί να γίνει μετέπειτα επαναχρησιμοποίηση για άρδευση. Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης είναι αυστηρότερα από αυτά του Π.Ο.Υ., έτσι ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος αλλά και η δημόσια υγεία.

### 2.5.3 Ισραήλ

Το Ισραήλ έχει ήδη αξιόλογη εμπειρία στο τομέα της επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων. Εδώ και δεκαετίες διαμορφώνεται η τάση για προχωρημένη επεξεργασία των λυμάτων, ώστε να διατίθενται σε γεωργικές καλλιέργειες. Σήμερα, όπως αναφέρει ο Inbar (2007), στο Ισραήλ υπάρχουν περισσότερες από 500 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, στις 35 δε από αυτές γίνεται ήδη προχωρημένη επεξεργασία. Από τα 500 hm<sup>3</sup> λυμάτων που παράγονται κάθε χρόνο, το 96% συλλέγεται με το δίκτυο αποχέτευσης και επαναχρησιμοποιείται ήδη το 65% για άρδευση, δηλαδή περισσότερα από 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (Inbar, 2007). Το ανακτώμενο νερό συμβάλλει σημαντικά στο αρνητικό ισοζύγιο του νερού σε μία χώρα όπου όλοι οι συμβατικοί υδατικοί πόροι αξιοποιούνται στο μέγιστο βαθμό (Friedler, 2001). Τέλος οι οδηγίες, που αφορούν στα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων είναι ιδιαίτερα αυστηρές και αφορούν στην απεριόριστη χρήση στην άρδευση.

#### 2.5.4 Αυστραλία

Η Αυστραλία, ως μία από τις ξηρότερες ηπείρους και με ιδιαίτερα ευμετάβλητο κλίμα, έχει δείξει έντονο ενδιαφέρον σε αυτό τον τομέα. Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της κατοικεί στις μεγάλες πόλεις, που βρίσκονται κοντά στις ακτές, όπου υπάρχουν και οι περισσότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, έτσι ώστε με τη βοήθεια της βαρύτητας να πραγματοποιείται εύκολη διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων στον ωκεανό (Apostolidis et al., 2011). Όμως, από τη στιγμή που τέθηκε ζήτημα επαναχρησιμοποίησης του επεξεργασμένου νερού σε διάφορες παραγωγικές χρήσεις, ήταν απαραίτητη η μεταφορά του σε μεγάλες ποσότητες και σε περιοχές με μεγαλύτερα υψόμετρα από αυτό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και γι' αυτό το λόγο ήταν αναπόφευκτη η άντλησή του. Παρότι το αυξημένο κόστος, τόσο για την κατασκευή ενός νέου υδροδοτικού δικτύου για το επεξεργασμένο νερό όσο και για την άντληση κατά τη λειτουργία του, θα μπορούσε να λειτουργήσει αποτρεπτικά για την κατασκευή συστημάτων ανακύκλωσης νερού, εντούτοις ο αριθμός των συστημάτων αυτών αυξήθηκε σημαντικά. Αυτή η αύξηση σημειώθηκε όχι μόνο λόγω των προβλημάτων από την παρατεταμένη ξηρασία που αντιμετωπίζει η χώρα, αλλά και εξαιτίας της θετικής και αυξανόμενης κοινωνικής αποδοχής της επαναχρησιμοποίησης η οποία είχε ως αποτέλεσμα η παραγωγή επεξεργασμένου νερού από 76 εκατομμύρια λίτρα το 2000 να αυξηθεί σε 180 εκατομμύρια λίτρα το 2010. Υπολογίζεται ότι περισσότερες από 500 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων επαναχρησιμοποιούν ένα μέρος ή το σύνολο της παροχής αποβλήτων που δέχονται (Randcliffe, 2006).

Η Μελβούρνη αποτελεί μία από τις πόλεις με τη μεγαλύτερη επαναχρησιμοποίηση για άρδευση. Πιο συγκεκριμένα, όχι μόνο τροφοδοτεί μεγάλες αρδευτικές εκτάσεις γύρω από την πόλη με το επεξεργασμένο νερό των δύο μεγαλύτερών της εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων αλλά γίνεται και συστηματική ανακύκλωση γκρίζου νερού σε επίπεδο νοικοκυριού.

#### 2.5.5 Ισπανία

Στην Ισπανία, η ποσότητα επεξεργασμένων λυμάτων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν το 2005 ήταν  $454 \text{ hm}^3$ , που αποτελεί το 2% του συνολικού διατιθέμενου νερού (Manero et al., 2011). Το 89% αυτής της ποσότητας χρησιμοποιήθηκε για άρδευση, το 10% για ενίσχυση των υπογείων υδάτων και μόλις το 1% για βιομηχανικές χρήσεις. Σύμφωνα με εκτιμήσεις η

ποσότητα των επεξεργασμένων λυμάτων το 2015 θα ανέρχεται σε 1200 hm<sup>3</sup> (Teijon et al., 2009).

#### 2.5.6. Σιγκαπούρη

Η Σιγκαπούρη είναι ένα νησί μικρής έκτασης, αλλά ιδιαίτερα πυκνοκατοικημένο με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζει μεγάλη έλλειψη νερού. Προκειμένου να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση, το 50% του νερού της Σιγκαπούρης εισάγεται από τη Μαλαισία (Law, 2003). Όμως εξαιτίας των διαφωνιών ανάμεσα στις δύο χώρες σχετικά με την τιμή του εισαγόμενου νερού, η Σιγκαπούρη αποφάσισε το 1998 να αναπτύξει ένα σχέδιο (the NEWater study) επαναχρησιμοποίησης του νερού προκειμένου να είναι αυτάρκης σε υδατικούς πόρους (Thompson and Powell, 2003). Με βάση αυτό το σχέδιο λειτουργεί από το Μάιο του 2000 μια μονάδα ανάκτησης νερού (Sembcorp NeWater Plant) με δυναμικότητα 10 000 m<sup>3</sup>/d, στην οποία εφαρμόζεται προηγμένη τεχνολογία για την επεξεργασία, όπως μικρό/υπερ διήθηση, αντίστροφη όσμωση για την απομάκρυνση των ρυπαντών και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (Thompson and Powell, 2003). Σε αυτή τη μονάδα εισέρχονται λύματα ήδη επεξεργασμένα σε μια τυπική εγκατάσταση επεξεργασίας, που εφαρμόζει σύστημα ενεργού ιλύος.

### 2.6 Εφαρμογές στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, τα παραδείγματα άμεσης ή έμμεσης επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων ανέρχονται σε περίπου δεκαπέντε (Gikas and Angelakis, 2009). Η πλειοψηφία αυτών αφορά περιπτώσεις έμμεσης επαναχρησιμοποίησης για άρδευση, δηλαδή τα επεξεργασμένα λύματα απορρίπτονται σε κάποιον ποταμό και στη συνέχεια, αφού αναμειχθούν με το νερό του αποδέκτη, χρησιμοποιούνται για άρδευση. Τέτοιες περιπτώσεις έμμεσης επαναχρησιμοποίησης για άρδευση αποτελούν η Λάρισα, η Θεσσαλονίκη, η Καρδίτσα, η Λαμία και η Τρίπολη.

Οι πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, όπου γίνεται στοχευμένη επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς, σε συνδυασμό με τριτοβάθμια επεξεργασία, είναι αυτές της Κω και της Χαλκίδας, όπου εξυπηρετείται συνολικά αρδευόμενη έκταση 560 000 στρεμμάτων.

Στην Κω λειτουργεί από το τέλος του 2006 στην εγκατάσταση επεξεργασίας των λυμάτων, μονάδα τριτοβάθμιας επεξεργασίας με στόχο την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση χώρων αστικού πρασίνου, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα έντονα προβλήματα λειψυδρίας, που παρουσιάζονται ιδιαίτερα κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων επιτυγχάνεται με φίλτρανση της δευτεροβάθμιας εκροής και στη συνέχεια με απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Η εγκατάσταση σχεδιάστηκε ώστε να επεξεργάζεται μέση παροχή 5 400 m<sup>3</sup> λυμάτων την ημέρα, αλλά υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης, ώστε μελλοντικά να καλύψει το σύνολο της εισερχόμενης παροχής της εγκατάστασης. Η εκροή ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού της Καλιφόρνια για άρδευση αστικού πρασίνου.

Από το τέλος του 1998 λειτουργεί στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Χαλκίδας μονάδα τριτοβάθμιας επεξεργασίας δυναμικότητας 4 000 m<sup>3</sup> την ημέρα, η οποία περιλαμβάνει κροκίδωση, φίλτρανση σε τριστηρωματικά φίλτρα πίεσεως και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Με την τριτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή αρδεύεται η νησίδα Πασσά και χώροι πρασίνου σε γειτονική περιοχή της Εύβοιας, μέσω υποθαλάσσιου αγωγού.

Τέλος, στο Κέντρο Επεξεργασίας της Ψυττάλειας επαναχρησιμοποιούνται 45 000 m<sup>3</sup> επεξεργασμένων εκροών την ημέρα για άρδευση πρασίνου, πλύσεις και καθαρισμό των εγκαταστάσεων και ως νερό ψύξης σε φυσητήρες αερισμού και σε μονάδες θερμικής ξήρανσης ιλύος.

## **2.7 Τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων**

Η τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία, έπεται της δευτεροβάθμιας και αποσκοπεί στην περαιτέρω αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου, χρώματος, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και άλλων ρυπαντών όπως τα βαριά μέταλλα, το αρσενικό (As), οι τοξικές οργανικές ενώσεις, τα θειούχα (S<sub>2</sub>-), τα κυανιούχα (CN-) κλπ. (μη συμβατικοί ρύποι του νερού) (Νταρακάς). Οι διατάξεις και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- η διήθηση με πολλές παραλλαγές όπως η διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας κλπ. με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Σημειώνεται ότι στις πιο προχωρημένες εφαρμογές μεμβρανών ανήκει η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF) και η

νανοδιήθηση (NF). Κατά τη διήθηση τα λύματα φιλτράρονται με αποτέλεσμα το καθαρό νερό να διέρχεται από τους πόρους των μεμβρανών, ενώ τα σωματίδια και οι μικροοργανισμοί να συγκρατούνται στο φίλτρο.

- η αντίστροφη ώσμωση (RO) είναι μια διεργασία κατά την οποία μια μεμβράνη δρα σαν μοριακό φίλτρο, που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος. Η διεργασία αυτή χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό διαλυτών συστατικών του νερού.
- η χημική επεξεργασία (οξειδωση, αναγωγή κλπ.), όπως είναι ο συνδυασμός χημικής κροκίδωσης με θειϊκό αργίλιο ή χλωριούχο σίδηρο και καθίζησης, έτσι ώστε να απομακρύνονται αιωρούμενα στερεά, βαρέα μέταλλα, ιχνοστοιχεία και φώσφορος.
- οι διεργασίες προχωρημένης οξειδωσης (Advanced Oxidation Processes AOP).
- η προσρόφηση, που γίνεται είτε με προσθήκη σκόνης άνθρακα είτε με τη διέλευση από φίλτρα κοκκώδους ενεργού άνθρακα για περαιτέρω απομάκρυνση οργανικών μικρορυπαντών και βαρέων μετάλλων.
- η ιοντοεναλλαγή
- η απογύμνωση αερίου, η οποία συνίσταται στη μεταφορά μάζας ενός αερίου από την υγρή στην αέρια φάση και εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση αερίων όπως το υδρόθειο ( $H_2S$ ), η αμμωνία ( $NH_3$ ) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις.
- η απολύμανση: ο στόχος της απολύμανσης των λυμάτων είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών σε ικανοποιητικά επίπεδα ώστε η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων να μην δημιουργεί κινδύνους στη δημόσια υγεία. Απολύμανση των λυμάτων επιτυγχάνεται κατά κανόνα με εφαρμογή φυσικών ή χημικών μεθόδων όπως χλωρίωση, οζόνωση ή υπεριώδη ακτινοβολία. Τα χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντικού είναι: α) υψηλός ρυθμός εξουδετέρωσης παθογόνων μικροοργανισμών, β) χαμηλή δραστικότητα με ουσίες που περιέχονται στο νερό και χαμηλή παραγωγή επικίνδυνων παραπροϊόντων, γ) χαμηλό κόστος λειτουργίας και μικρές απαιτήσεις συντήρησης, δ) μηδενικός κίνδυνος κατά τη χρήση του, ε) εύκολη ανιχνευσιμότητα στο νερό και στ) χαμηλή τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς. Οι παραπάνω ιδιότητες δεν είναι συγκεντρωμένες σε ένα απολυμαντικό, θα πρέπει όμως να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων (Ανδρεαδάκης κ.α., 2005). Συγκεκριμένα, στην απολύμανση με UV, η απολυμαντική



δράση είναι ισχυρή, δεν δημιουργούνται τοξικά παράγωγα. Η λειτουργία των συστημάτων UV είναι απλή, ασφαλής και αυτοματοποιημένη. Στη χλωρίωση, η απολυμαντική δράση, που είναι περιορισμένη συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους, επηρεάζεται άμεσα από τη θερμοκρασία, το pH και τη συγκέντρωση της αμμωνίας, ενώ απαιτεί και μεγάλους χρόνους επαφής. Επιπλέον, υπάρχουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της τοξικότητας του χλωρίου. Η οζόνωση, παρότι είναι πιο αποτελεσματική από τη χλωρίωση και χρησιμοποιείται τόσο στην απολύμανση του πόσιμου νερού όσο και στην τριτοβάθμια επεξεργασία πριν τη διάθεση σε επιφανειακούς αποδέκτες, εφαρμόζεται σπάνια στην επαναχρησιμοποίηση λόγω του υψηλού κόστους αλλά και λόγω ενδείξεων, που υπάρχουν για αντιδράσεις του όζοντος με οργανικές ενώσεις, με άγνωστες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

### **3. Μέθοδοι και εργαλεία**

#### **3.1 Εργαλεία προσομοίωσης του αστικού κύκλου του νερού**

Η διαχείριση των υδατικών πόρων καλύπτει δύο αλληλένδετους τομείς: τη διαχείριση της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων (supply management) και τη διαχείριση της ζήτησης (demand management). Με την ορθή διαχείριση του πρώτου τομέα, επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων υδατικών πόρων (ReVelle, 1999) ενώ με την ορθή διαχείριση του δεύτερου τομέα επιδιώκεται η μείωση των απαιτήσεων σε πόσιμο νερό τόσο για οικιακή όσο και για βιομηχανική χρήση (Butler & Memon, 2006).

Η διαχείριση της διαθεσιμότητας για τις αστικές ανάγκες σε νερό περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση της χρήσης και λειτουργίας πολλών υδατικών πόρων, όπως είναι οι ταμιευτήρες και οι γεωτρήσεις (Vieira et al., 2011). Το ζητούμενο είναι να επιλεγεί η βέλτιστη στρατηγική που εξασφαλίζει τόσο την αξιοπιστία του υδρευτικού συστήματος όσο και το χαμηλό λειτουργικό κόστος. Ο προσδιορισμός της βέλτιστης στρατηγικής μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση μοντέλων όπως το RIBASIM (RIBASIM, 2012), Hydronomeas (Koutsoyiannis et al., 2002) και το GoldSim (GoldSim, 2011).

Η διαχείριση της ζήτησης είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τη χρήση νέων τεχνολογιών (π.χ. ρυθμιζόμενης παροχής τουαλέτες) και με πρακτικές, όπως η συλλογή των όμβριων υδάτων και η ανακύκλωση του νερού (Makropoulos and Butler, 2010). Το όφελος από τη χρήση αυτών των τεχνολογιών και πρακτικών δεν μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα διότι υπεισέρχονται αστάθμητοι παράγοντες, όπως το ύψος και η συχνότητα των βροχοπτώσεων καθώς επίσης και ο αριθμός και ο τύπος των οικιακών συσκευών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για πόσιμο βρόχινο νερό (Rozos et al., 2010). Για τη διερεύνηση αυτών των παραμέτρων έχουν αναπτυχθεί μοντέλα που προσομοιώνουν τη δημιουργία της ζήτησης στο επίπεδο των οικιακών συσκευών, όπως το Aquacycle model (Mitchell et al., 2001; Mitchell 2005), το City Water Balance (CWB) model (Last and Mackay, 2010) καθώς επίσης και το Urban Water Optioneering Tool (UWOT) (Makropoulos et al., 2008).

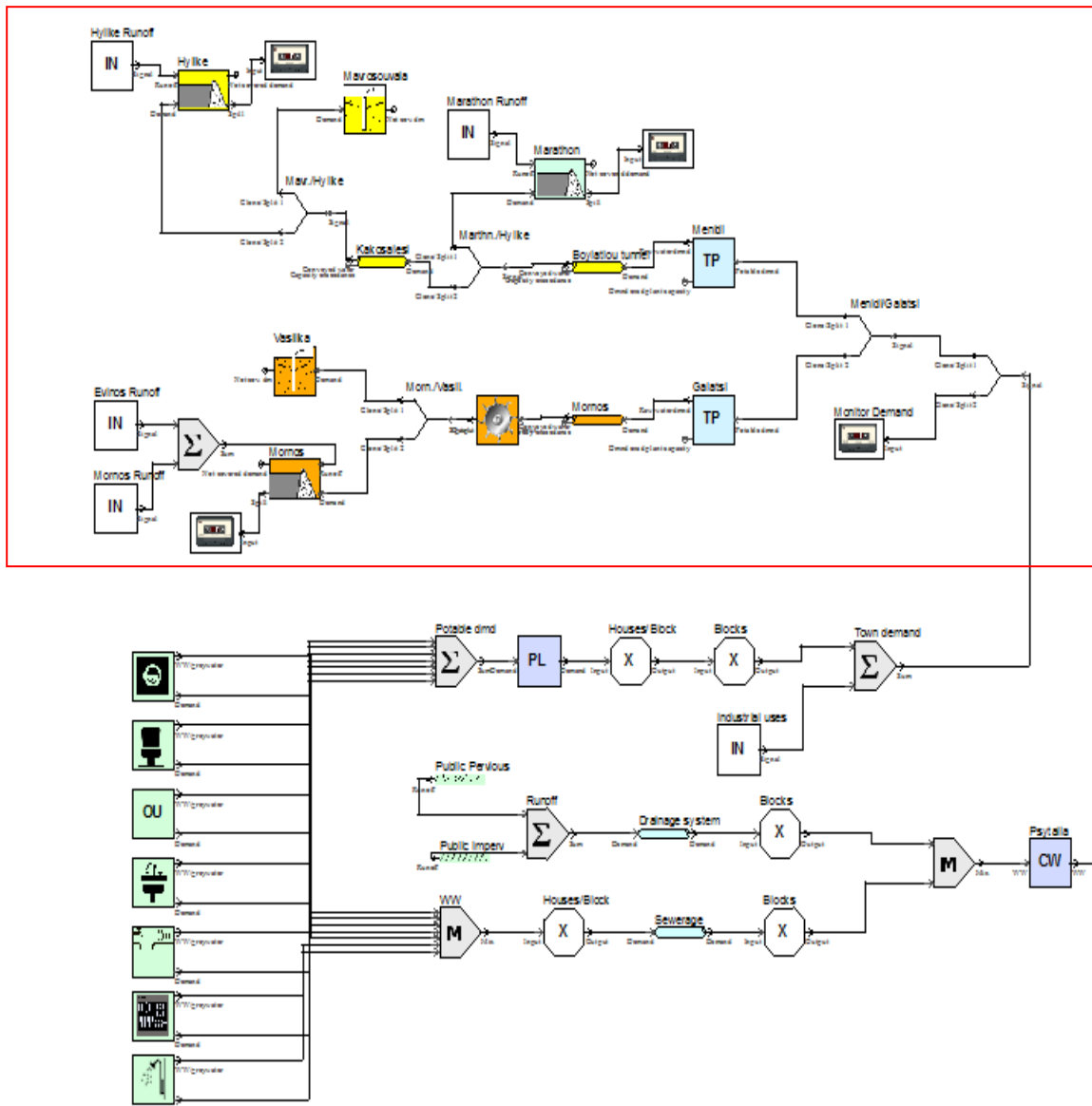
### 3.2 UWOT (The Urban Water Optioneering Tool)

Το μοντέλο UWOT (Makropoulos et al., 2008) είναι ένα μοντέλο, που επιτρέπει την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση του αστικού κύκλου του νερού από την πηγή μέχρι την κατανάλωση. Το UWOT προσομοιώνει το σύνολο του δικτύου ύδρευσης και αποχέτευσης (από τις αποθέσεις στους ταμιευτήρες μέχρι την παραγωγή της ζήτησης σε επίπεδο νοικοκυριού μέσω του συστήματος διανομής και από την παραγωγή αστικών οικιακών και βιομηχανικών λυμάτων μέχρι την επεξεργασία τους και την απόληξή τους στα υδατικά σώματα) παρέχοντας κατ' αυτόν τον τρόπο ένα κοινό περιβάλλον προσομοίωσης για το σύνολο του αστικού κύκλου του νερού (Rozos and Makropoulos, 2012).

Στο UWOT η ζήτηση παρουσιάζεται ως ένα σήμα, που παράγεται από τις οικιακές συσκευές μιας τυπικής οικίας και αφού πολλαπλασιαστεί μεταδίδεται προς την πηγή, δηλαδή τους ταμιευτήρες (Rozos and Makropoulos, 2012). Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η προσομοίωση ενός συνολικού κύκλου του νερού και περιλαμβάνει το εξωτερικό υδραγωγείο (άνω τμήμα - μέσα στο πλαίσιο) και το εσωτερικό υδραγωγείο (κάτω τμήμα).

#### 3.2.1 Εσωτερικό Υδραγωγείο

Η ζήτηση ξεκινά από τις συσκευές και τις χρήσεις, που υπάρχουν σε μια τυπική οικία δηλαδή τουαλέτα, νιπτήρας μπάνιου, ντουζιέρα, νεροχύτης κουζίνας, πλυντήριο πιάτων, πλυντήριο ρούχων και εξωτερικές χρήσεις, όπως άρδευση κήπων κτλ. Η συνολική ζήτηση σε πόσιμο νερό μιας τέτοιας οικίας ανάγεται στη ζήτηση ενός τυπικού οικοδομικού τετραγώνου και στη συνέχεια ανάγεται στη συνολική ζήτηση της πόλης, αφού προστεθούν και οι λοιπές ζητήσεις όπως είναι η βιομηχανική, οι δημόσιες χρήσεις κτλ. Με παρόμοιο τρόπο δημιουργείται και η συνολική ποσότητα των λυμάτων, που παράγονται στην τυπική οικία και αφού αναχθούν στην συνολική ποσότητα λυμάτων της πόλης, καταλήγουν μέσω του αποχετευτικού συστήματος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων και στη συνέχεια στα υδατίνα σώματα. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί και στο Σχήμα 3.1, όλες οι συνδέσεις που αφορούν στη μεταφορά πόσιμου νερού, στο UWOT έχουν αντίθετη φορά σε σχέση με την πραγματική ροή αυτού, σε αντίθεση με τη ροή των λυμάτων που ταυτίζεται με την πραγματική.



**Σχήμα 3.1** Προσομοίωση εξωτερικού και εσωτερικού υδραγωγείου στο UWOT.

### 3.2.2 Εξωτερικό Υδραγωγείο

Το εξωτερικό υδραγωγείο αποτελείται από τις πηγές νερού, δηλαδή τους ταμειυτήρες και τις γεωτρήσεις, τους παροχетеυτικούς αγωγούς και τις πιθανές αντλήσεις για τη μεταφορά του νερού μέχρι τα διυλιστήρια. Εκεί συγκεντρώνεται το σήμα της ζήτησης του πόσιμου νερού, που προέρχεται από το εσωτερικό υδραγωγείο.

### 3.2.3 Εισαγωγή Δεδομένων

Τα δεδομένα, που απαιτούνται στο UWOT για την προσομοίωση του συνολικού υδρευτικού και αποχετευτικού συστήματος είναι (Rozos and Makropoulos, 2012):

- (i) Οι προδιαγραφές των εγκατεστημένων στοιχείων του συστήματος, όπως είναι οι οικιακές συσκευές, το είδος των αγωγών κτλ., οι οποίες επιλέγονται από την βιβλιοθήκη τεχνολογίας (technology library) του προγράμματος.
- (ii) Χρονοσειρές βροχοπτώσεων ως δεδομένα για τους ταμιευτήρες, το δίκτυο συλλογής ομβρίων και για την αστική απορροή.
- (iii) Χρονοσειρές, που αφορούν στην εποχιακή διακύμανση του πληθυσμού.
- (iv) Χρονοσειρές του αριθμού των νοικοκυριών.
- (v) Η συχνότητα χρήσης των οικιακών συσκευών: επιλέγονται είτε οι σταθερές τιμές της βιβλιοθήκης τεχνολογίας του προγράμματος, είτε εισάγονται χρονοσειρές της συχνότητας των εκάστοτε χρήσεων, προκειμένου να προσομοιωθούν και οι αλλαγές στη συμπεριφορά των χρηστών.

### 3.2.4 Εξαγωγή στοιχείων

Τα αποτελέσματα που δίνει το UWOT είναι χρονοσειρές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες (Rozos and Makropoulos, 2012):

- (i) Στην πρώτη περιλαμβάνονται οι χρονοσειρές, των οποίων οι τιμές επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία του αστικού κύκλου του νερού, δηλαδή: (α) τα σήματα ζήτησης από οποιοδήποτε στοιχείο του δικτύου (ζήτηση πόσιμου νερού, απορροή, λύματα κτλ.) και (β) τη ποσότητα του νερού, που αποθηκεύεται είτε μέσα σε δεξαμενές, είτε ως υγρασία σε διαπερατά εδάφη κτλ.
- (ii) Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται χρονοσειρές που αφορούν: (α) στην αξιοπιστία και τον κίνδυνο αστοχίας του συστήματος, (β) στις ποσότητες του νερού, που χάνονται μέσα στον κύκλο του νερού μέσω της εξάτμισης, της διήθησης κτλ. και (γ) στα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του συστήματος, όπως είναι η ενέργεια, το κόστος κτλ.

### 3.3 Οδικοί χάρτες

Οι οδικοί χάρτες είναι αποτελεσματικά εργαλεία για τον σχεδιασμό και τη στρατηγική ανάπτυξη σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (Hein et al., 2012).

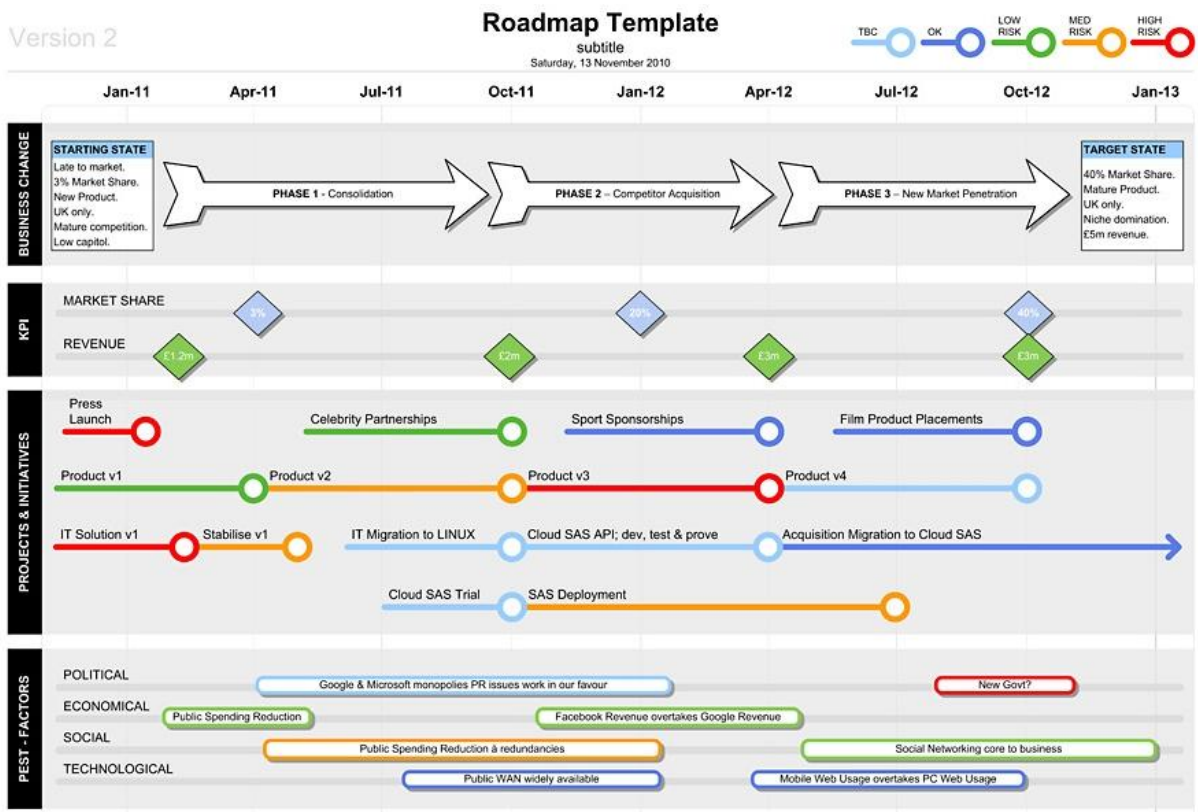
Γενικώς ένας οδικός χάρτης είναι μια διάταξη διαδρομών, που υπάρχουν σε κάποιον συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο. Στην καθημερινή ζωή οι οδικοί χάρτες χρησιμοποιούνται από τους ταξιδιώτες προκειμένου να επιλέξουν μεταξύ εναλλακτικών διαδρομών προς ένα φυσικό προορισμό. Με παρόμοιο τρόπο, η μεταφορική έννοια του όρου ‘οδικός χάρτης’ υποδηλώνει τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και την επιλογή εναλλακτικών στρατηγικών, που μπορούν να οδηγήσουν στην επίτευξη του επιθυμητού στόχου. Οι οδικοί χάρτες χρησιμοποιούνται ως βοήθημα για την λήψη αποφάσεων, που αφορούν στη βελτίωση του συντονισμού των δραστηριοτήτων σε ένα όλο και πιο σύνθετο και αβέβαιο περιβάλλον (Kostoff and Schaller, 2011). Συνδέουν τη στρατηγική με τις μελλοντικές δραστηριότητες και ενσωματώνουν ένα σχέδιο με τις απαραίτητες οργανωτικές, τεχνολογικές, πολιτικές και οικονομικές προκλήσεις σε συνδυασμό με την ικανότητα διαθεσιμότητας των κατάλληλων μέτρων σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Hein et al., 2012).

Ένας οδικός χάρτης αποτελείται από τα επιμέρους στάδια-φάσεις του έργου μελέτης. Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 3.2, ο οδικός χάρτης χαρακτηρίζεται από ορόσημα, που σηματοδοτούν τα στάδια προόδου του έργου συναρτήσει του μακροχρόνιου ορίζοντα.

Κατά τη διαδικασία δημιουργίας ενός οδικού χάρτη γίνεται αρχικά προσδιορισμός και αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης και των τάσεων και πιέσεων που επικρατούν. Στη συνέχεια καθορίζονται οι στόχοι, που πρέπει να επιτευχθούν ώστε να βελτιωθεί η υπάρχουσα κατάσταση και προσδιορίζονται τα βήματα/φάσεις, που θα οδηγήσουν στην επίτευξή τους.

Αναλόγως με το πεδίο χρήσης των οδικών χαρτών, έχουν προσδιοριστεί οι παρακάτω κατηγορίες (Kostoff and Schaller, 2001):

- (i) Χάρτες επιστημών και τεχνολογίας ή Οδικοί χάρτες (roadmaps)
- (i) Οδικοί χάρτες τεχνολογίας βιομηχανίας
- (ii) Εταιρικοί οδικοί χάρτες ή τεχνολογίας προϊόντος
- (iii) Χάρτες διαχείρισης προϊόντων (product management roadmaps)



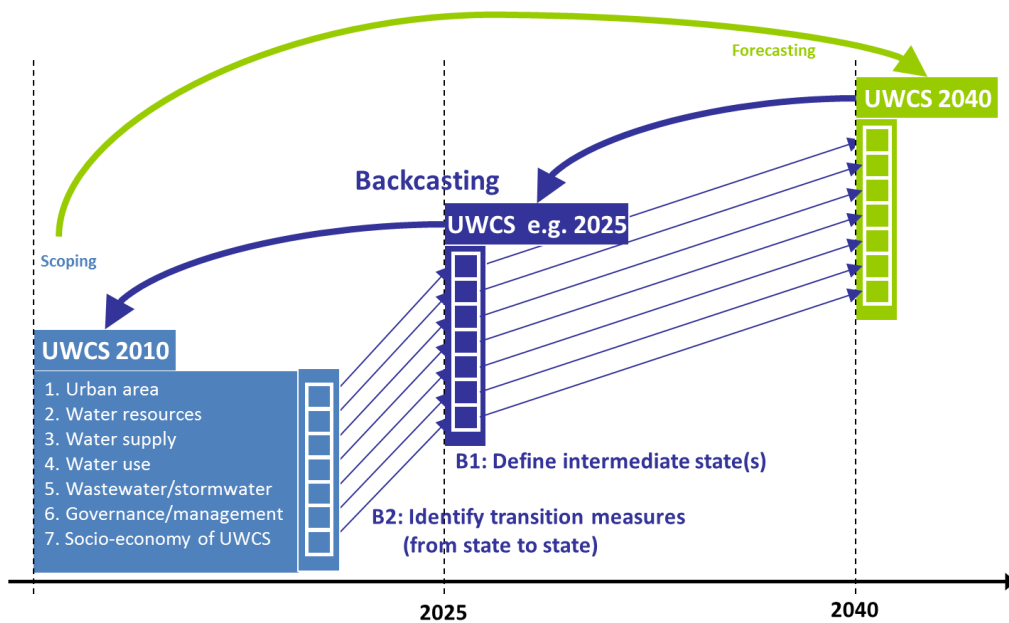
Σχήμα 3.2 Παράδειγμα διάρθρωσης οδικού χάρτη (Πηγή: <http://business-docs.co.uk>)

Αναλυτικά, τα βασικά στάδια για τη διάρθρωση ενός οδικού χάρτη είναι (Hein et al., 2012):

- **Scoring:** Αποτελεί το πρώτο στάδιο του οδικού χάρτη και ορίζει το πεδίο εφαρμογής της ανάλυσης. Προσδιορίζεται η υφιστάμενη κατάσταση, οι πιέσεις και οι τάσεις ως σημείο αναφοράς για το σχεδιασμό των μελλοντικών δράσεων. Σε αυτό το στάδιο συγκεντρώνονται στοιχεία και πληροφορίες σχετικά με τους στόχους και καθορίζεται ένα χρονικό πλαίσιο.
- **Forecasting:** Σε αυτό το στάδιο γίνεται αρχικά προσδιορισμός των μελλοντικών στόχων, ανάγονται οι σημερινές τάσεις στο μέλλον, προβλέπονται πιθανά εμπόδια και δυσκολίες και πώς μπορεί να επηρεαστούν οι στόχοι που έχουν τεθεί σήμερα από εξωτερικούς παράγοντες.
- **Backcasting:** Πρόκειται για μια σχεδιαστική προσέγγιση που ξεκίνησε τη δεκαετία του '70 και η οποία περιλαμβάνει την εργασία που ξεκινά από ένα μελλοντικό επιθυμητό στόχο και κατευθύνεται προς τα πίσω (Σχήμα 3.3) προσδιορίζοντας τα ενδιάμεσα στάδια (τουλάχιστον ένα) καθώς επίσης και το χρονικό πλαίσιο μέσα στο

οποίο πρέπει να εφαρμοστούν. Ως εκ τούτου το backcasting χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με μεθόδους πρόβλεψης που βοηθούν στον καθορισμό του τελικού επιθυμητού στόχου του μέλλοντος. Επίσης, προσδιορίζονται εναλλακτικά ενδιάμεσα στάδια για τη μετάβαση από την υφιστάμενη κατάσταση στην επιθυμητή του μέλλοντος.

- **Transfer:** Αποτελεί το τελικό στάδιο όπου αξιολογούνται τα αποτελέσματα της ανάλυσης, μεταφέρονται στον οδικό χάρτη και παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα χρονικά περιθώρια των δραστηριοτήτων. Η τελική μορφή του οδικού χάρτη περιλαμβάνει τα επιμέρους μέτρα και μια ιεράρχησή τους, χρονοδιαγράμματα και ορόσημα, στοιχεία παρακολούθησης της προόδου καθώς επίσης και μία εκτίμηση αναμενόμενων ή πιθανών προοπτικών και κινδύνων.



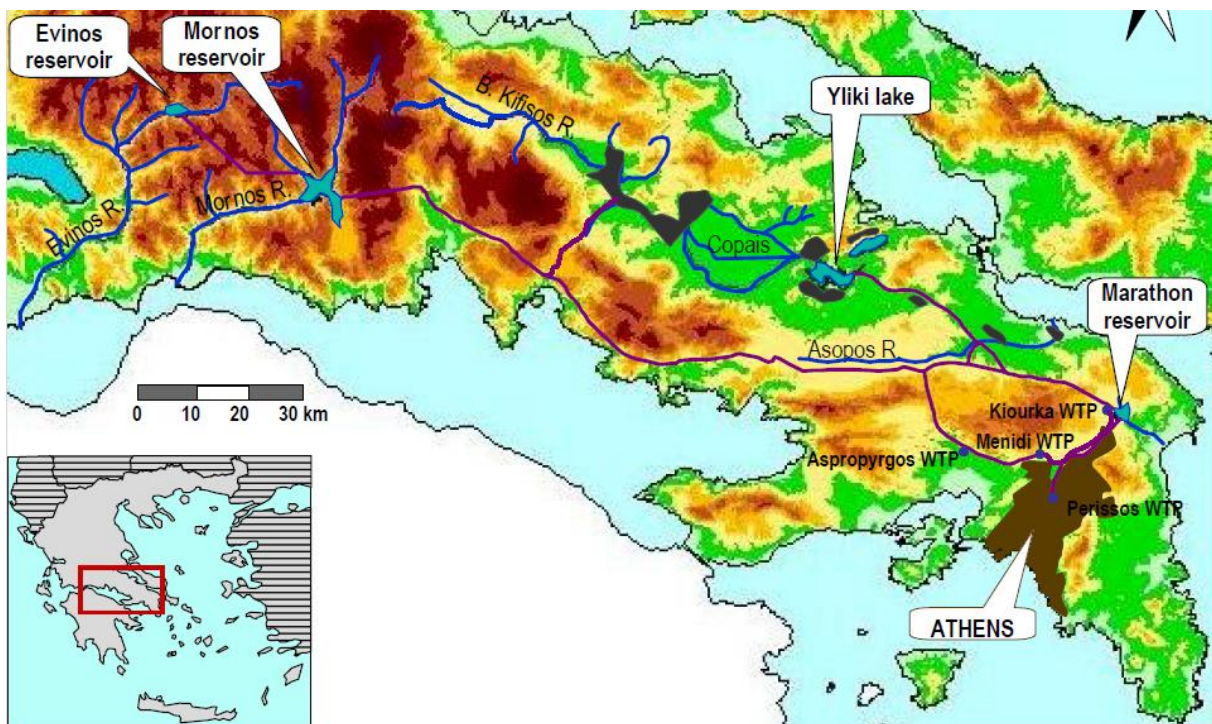
**Σχήμα 3.3** Στάδια δημιουργίας οδικού χάρτη (Πηγή: Hein et al., 2012)



## 4. Περιοχή Μελέτης: Αθήνα

### 4.1 Υδροδοτικό σύστημα

Η Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ), είναι η εταιρία που έχει την αποκλειστική αρμοδιότητα διαχείρισης και διανομής πόσιμου νερού και της διαχείρισης των οικιακών υγρών αποβλήτων και όμβριων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Για την υδροδότηση των περιοχών αρμοδιότητάς της, η ΕΥΔΑΠ προμηθεύεται νερό κυρίως από επιφανειακούς υδατικούς πόρους αλλά και από υπόγειους (Σχήμα 4.1). Το συνολικό υδροδοτικό σύστημα καλύπτει μια έκταση που υπερβαίνει τα 4000 km<sup>2</sup>. Οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι είναι τέσσερις ταμιευτήρες (Υλίκης, Μόρνου, Εύηνου και του Μαραθώνα) εκ των οποίων μόνο της Υλίκης είναι φυσικός. Οι υπόλοιποι δημιουργήθηκαν μετά την κατασκευή φραγμάτων. Στους υπόγειους υδατικούς πόρους περιλαμβάνονται 105 εγκατεστημένες γεωτρήσεις που αξιοποιούν τους υπόγειους υδροφορείς του μέσου ρου του Βοιωτικού Κηφισού, της Υλίκης και της βορειοανατολικής Πάρνηθας.



**Σχήμα 4.1** Εξωτερικό υδραγωγείο υδρευτικού συστήματος της Αθήνας (Πηγή: <http://itia.ntua.gr/eydap>)

Το υδροδοτικό σύστημα περιλαμβάνει εκτός των υδατικών πηγών τέσσερις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (MEN), 15 αντλιοστάσια και εκτενές σύστημα εξωτερικών υδραγωγείων συνολικού μήκους 485 km (ΕΥΔΑΠ, 2012). Η συνολική αποθηκευτική ικανότητα του συστήματος εκτιμάται σε 1 400 hm<sup>3</sup> εκ των οποίων το 88.5% καλύπτεται από τους ταμιευτήρες του Μόρνου και της Υλίκης. Ο ταμιευτήρας του Εύηνου λειτουργεί σε συνδυασμό με τον ταμιευτήρα του Μόρνου, ενισχύοντας το υδατικό δυναμικό του τελευταίου, με εκτροπή του μεγαλύτερου μέρους των εισροών του (Efstratiadis et al., 2004).

Το κύριο εξωτερικό υδραγωγείο, μήκους 310 km, αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: το βόρειο τμήμα που μεταφέρει το νερό από την Υλίκη, από τις γεωτρήσεις της Μαυροσουβάλας και από το ταμιευτήρα του Μαραθώνα και το νότιο τμήμα που μεταφέρει νερό από το Μόρνο και τις γεωτρήσεις των Βασιλικών. Το βόρειο τμήμα απαιτεί σε ορισμένα σημεία του ενέργεια για την άντληση του νερού σε αντίθεση με το νότιο που λειτουργεί με τη βαρύτητα.

Τα υδραγωγεία του Μόρνου και της Υλίκης επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των ενωτικών υδραγωγείων μήκους 105 km. Η ύπαρξη των ενωτικών υδραγωγείων επιτρέπει τον έλεγχο, τη συντήρηση και την επισκευή των δύο υδραγωγείων, με τη δυνατότητα παύσης της λειτουργίας του ενός από τα δύο. Παρά τη μεγάλη απόσταση των κυρίων υδροδοτών (Μόρνου, Υλίκης) από την Αττική, η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού μεταφέρεται μέσω των υδραγωγείων με βαρύτητα χωρίς την οικονομική αλλά και την περιβαλλοντική επιβάρυνση των ενεργοβόρων αντλήσεων. Ωστόσο, σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης λόγω παρατεταμένης ξηρασίας και επειδή ο πυθμένας της Υλίκης είναι καρστικοποιημένος με αποτέλεσμα να υπάρχει διαφυγή μεγάλης ποσότητας νερού (Katerinopoulou et al, 2009), ενεργοποιείται και η άντληση από την Υλίκη όπως συνέβη από τα τέλη του 2007 έως τα μέσα περίπου του 2009 (ΕΥΔΑΠ, 2012).

Το νερό αφού συλλεχθεί στους ταμιευτήρες φτάνει μέσω των υδραγωγείων στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού (MEN), όπου υποβάλλεται σε επεξεργασία που το καθιστά πόσιμο. Οι Μονάδες Επεξεργασίας Νερού της Αττικής είναι τέσσερις: (i) MEN Γαλασίου, (ii) MEN Αχαρνών, (iii) MEN Πολυδενδρίου και (iv) MEN Μάνδρας (Ασπρόπυργου). Στις παραπάνω μονάδες το νερό υποβάλλεται σε εσχάρωση, κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση και κατ' αυτόν τον τρόπο απαλλάσσεται από τα διάφορα στερεά που περιέχει καθώς επίσης

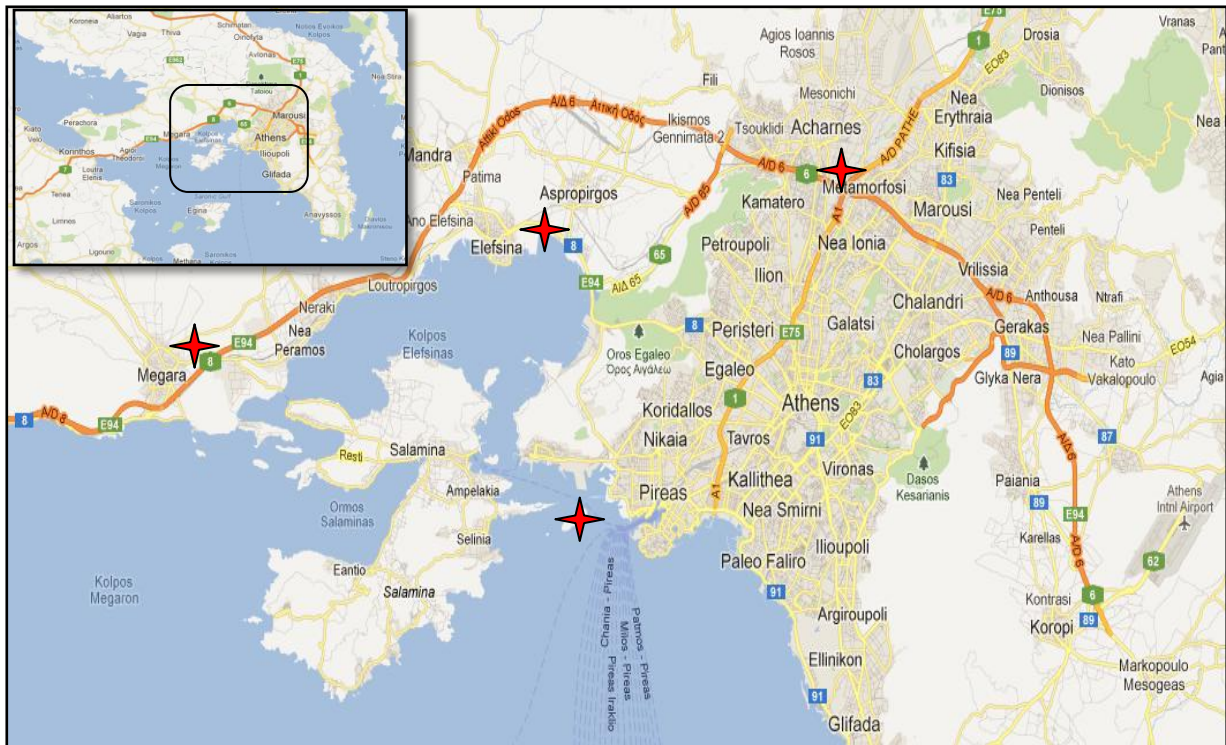
και από μικρόβια και μικροοργανισμούς. Οι τέσσερις ΜΕΝ έχουν αθροιστικά διυλιστική ικανότητα  $1.9 \text{ hm}^3$  νερού ημερησίως (ΕΥΔΑΠ, 2012).

#### 4.2 Αποχετευτικό δίκτυο

Το αποχετευτικό δίκτυο της Αττικής αποτελείται από αγωγούς όμβριων και ακαθάρτων. Τα όμβρια νερά καταλήγουν με φυσική ροή στη θάλασσα ενώ τα ακάθαρτα οδηγούνται πρώτα στα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων και στη συνέχεια στους υδάτινους αποδέκτες. Το αποχετευτικό δίκτυο της Αττικής είναι χωριστικό, δηλαδή υπάρχει διαχωρισμός των όμβριων υδάτων από τα ακάθαρτα, με εξαίρεση το κέντρο της Αθήνας όπου το δίκτυο είναι παντοροϊκό. Το συνολικό μήκος του δικτύου αποχέτευσης είναι  $5\,800 \text{ km}$  και καλύπτει το 92% των αποχετευτικών αναγκών της Αττικής (ΕΥΔΑΠ, 2012).

#### Υφιστάμενες Συνθήκες

Στην Αττική λειτουργούν συνολικά σήμερα έξι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων: στη Ψυττάλεια, τη Μεταμόρφωση, το Λαύριο, την Κερατέα, τα Βίλλια και τα Μέγαρα. Πέντε επιπλέον εγκαταστάσεις αναμένεται να λειτουργήσουν τα επόμενα χρόνια (Μονάδα Θριασίου – κατασκευάστηκε πρόσφατα, Μαρκοπούλου, Φώκαιας, Ραφήνας και στην περιοχή του αεροδρομίου Ελ. Βενιζέλου). Ο συνολικός εξυπηρετούμενος πληθυσμός υπερβαίνει σήμερα τα τέσσερα εκατομμύρια κατοίκων, ενώ οι πέντε μελλοντικές εγκαταστάσεις αναμένεται να εξυπηρετήσουν στην αρχική φάση λειτουργίας τους περισσότερους από 200 000 κατοίκους. Στα ακάθαρτα, που οδηγούνται προς βιολογικό καθαρισμό εκτός από οικιακά λύματα περιέχονται και βιομηχανικά απόβλητα. Η ποσότητα επεξεργασμένων λυμάτων, που εκρέει ετησίως ανέρχεται σε περίπου  $280 \text{ hm}^3$ , ενώ κατά τους θερινούς μήνες μειώνεται σε  $500\,000 - 600\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ . Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την επαναχρησιμοποίηση των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων στην Αθήνα, είναι κυρίως η Ψυττάλεια, ως το βασικό και μεγαλύτερο κέντρο επεξεργασίας στην Αττική, η Μεταμόρφωση δευτερευόντως και επικουρικά το Κέντρο των Μεγάρων και του Θριασίου (Σχήμα 4.2).



**Σχήμα 4.2** Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών.

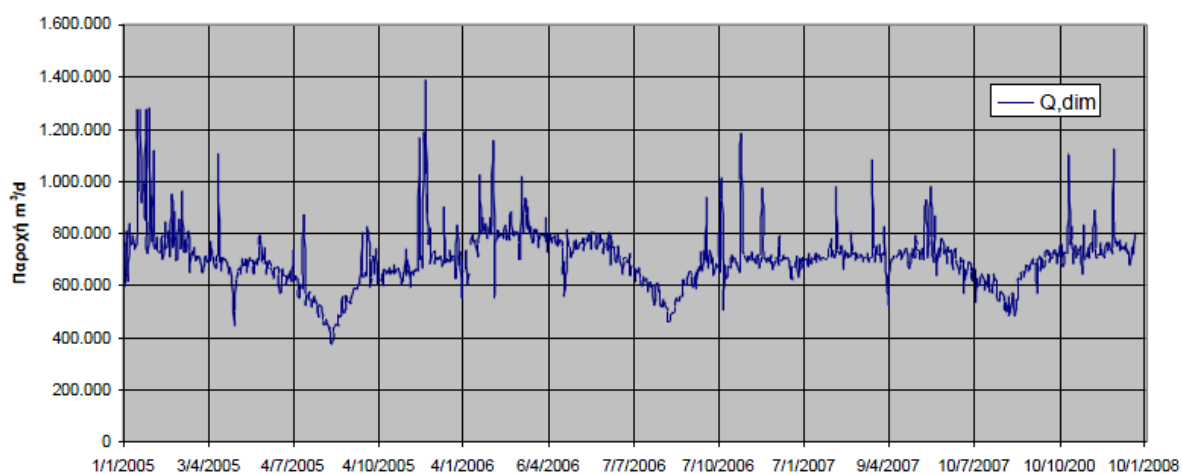
#### 4.2.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Ψυττάλειας

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ) είναι η κύρια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, με μέση παροχή εισερχομένων λυμάτων της τάξης των 730 000 m<sup>3</sup> ημερησίως και δυναμικότητα ισοδύναμου πληθυσμού 5 600 000 κατοίκων. Η συνολική επιφάνεια της λεκάνης απορροής του συστήματος αποχέτευσης είναι 500 000 εκτάρια.

Οι εγκαταστάσεις του ΚΕΛ Ψυττάλειας περιλαμβάνουν προεπεξεργασία λυμάτων στις εγκαταστάσεις του Ακροκεράμου, με απομάκρυνση των βαρέων στερεών, εσχάρωση, εξάμμωση και απόσπηση καθώς και προεπεξεργασία των λυμάτων της Σαλαμίνας στην Κυνόσουρα Σαλαμίνας. Τα προεπεξεργασμένα λύματα μεταφέρονται με υποθαλάσσιους αγωγούς στη νήσο Ψυττάλεια. Εκεί συνεχίζεται η επεξεργασία των λυμάτων στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης στις οποίες συλλέγεται η πρωτοβάθμια ιλύς. Στην συνέχεια τα επεξεργασμένα λύματα υφίστανται προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με το σύστημα της ενεργού ιλύος για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και τη σημαντική ελάττωση του φορτίου αζώτου, η οποία κρίνεται απαραίτητη καθώς η περιοχή

διάθεσης έχει χαρακτηριστεί ευαίσθητη. Αυτή η επεξεργασία συντελείται στη βιολογική βαθμίδα, που αποτελείται από τους βιοαντιδραστήρες και τις δεξαμενές τελικής καθίζησης, στις οποίες καθιζάνει η βιολογική ιλύς.

Η τελική εκροή του ΚΕΛΨ έχει αποδέκτη τον Σαρωνικό Κόλπο, στον οποίο διατίθεται μέσω υποθαλάσσιου συστήματος αγωγών βαθιάς διάχυσης (πλέον των 60 m). Μέσω της επεξεργασίας τα αιωρούμενα στερεά και το οργανικό φορτίο των λυμάτων μειώνονται κατά 93% περίπου και το ολικό άζωτο μειώνεται κατά 80% περίπου (Πίνακας 4.1). Στο ΚΕΛΨ λειτουργούν εγκαταστάσεις για την παραγωγή νερού χρήσης από τριτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα. Αυτές περιλαμβάνουν αμμοδιύλιστήρια δυναμικότητας 1500 m<sup>3</sup>/h και εγκατάσταση απολύμανσης με UV δυναμικότητας 300 m<sup>3</sup>/h.



**Σχήμα 4.3** Ημερήσια παροχή εισόδου το 2008 (Πηγή: Αδρακτάς κ.α., 2009).

**Πίνακας 4.1** Συγκεντρώσεις επεξεργασμένων λυμάτων στην έξοδο της εγκατάστασης της Ψυττάλειας (mg/l).

BOD	13
COD	44
TSS	18
NH3-N	0.8
NO2-N	0.1
NO3-N	6.4
Ολικός φώσφορος	0.5

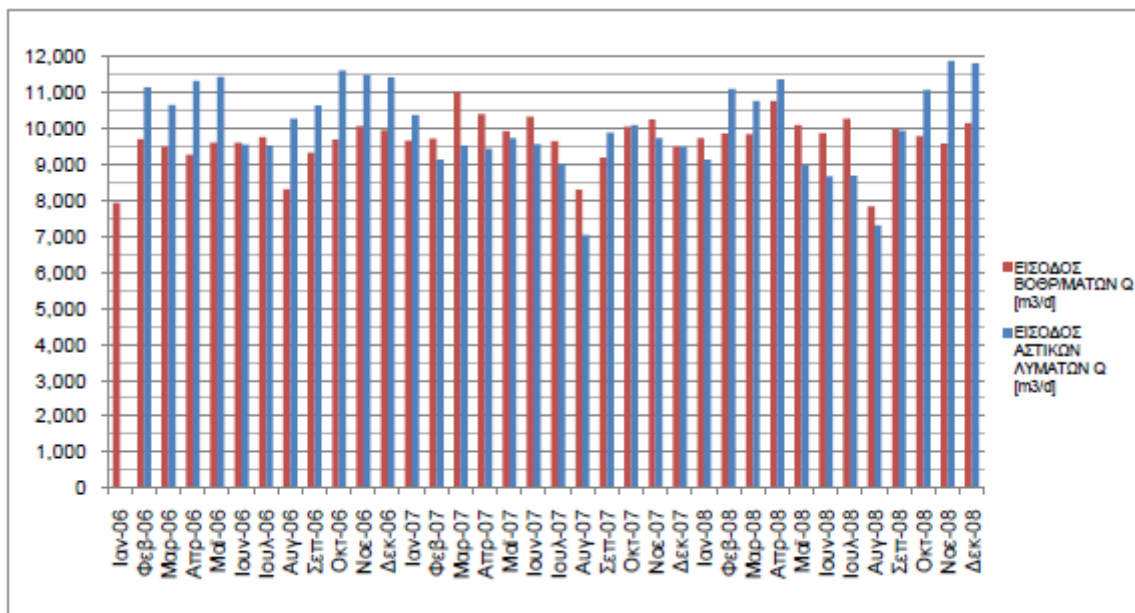
#### 4.2.2 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Μεταμόρφωσης

Αποτελεί τη μοναδική εγκατάσταση υποδοχής και επεξεργασίας οικιακών βοθρολυμάτων στο Νομό Αττικής εξυπηρετώντας τους Δήμους και τις Κοινότητες των βορείων προαστίων, που στερούνται αποχετευτικού δικτύου (Κρυονέρι, Άγιος Στέφανος, Άνοιξη, Δροσιά, Εκάλη, Διόνυσος, Καστρί, Ν. Ερυθραία, Ν. Κηφισιά). Με την αδιάλειπτη λειτουργία του ΚΕΛΜ απαλείφθηκαν οι ανεξέλεγκτες εκκενώσεις λυμάτων, κυρίως σε ρέματα, με αποτέλεσμα την αναβάθμιση και προστασία του περιβάλλοντος, όσον αφορά στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Τα βοθρολύματα που περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο δεν γίνονται δεκτά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας της Μεταμόρφωσης και διατίθενται σε ειδικό Φρεάτιο Βιομηχανικών Αποβλήτων (ΦΒΑ), από όπου καταλήγουν στο δίκτυο αποχέτευσης. Τα επεξεργασμένα λύματα διατίθενται στο ρέμα της Πύρνας.

Η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων ανέρχεται σε 24 000 m<sup>3</sup> βοθρολυμάτων ημερησίως και 20 000 m<sup>3</sup> ημερησίως αστικών λυμάτων, συνολικού οργανικού φορτίου 30 470 kg BOD ημερησίως, που αντιστοιχεί σε ισοδύναμο πληθυσμό 500 000 κατοίκων. Σύμφωνα με πρόσφατα λειτουργικά στοιχεία, το ΚΕΛΜ δέχεται ημερησίως 700 βυτιοφόρα φορτηγά μεταφοράς λυμάτων (μέσος ετήσιος όρος 550) που αντιστοιχούν σε 11 000 m<sup>3</sup> βοθρολυμάτων ημερησίως και περίπου 10 000 m<sup>3</sup> αστικών λυμάτων ημερησίως. Η επεξεργασία περιλαμβάνει προεπεξεργασία λυμάτων (εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση), πρωτοβάθμια καθίζηση, βιολογική επεξεργασία με σύστημα ενεργού ιλύος, δευτεροβάθμια καθίζηση και απολύμανση με χλώριο καθώς και επεξεργασία βιολογικής ιλύος (αναερόβια χώνευση και αφυδάτωση). Η απόδοση της εγκατάστασης είναι άνω του 97%. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εξερχόμενων λυμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

**Πίνακας 4.2** Συγκεντρώσεις στην έξοδο της εγκατάστασης της Μεταμόρφωσης (mg/l).

BOD	3.5
COD	47
SS	26
NH3-N	4.8
TN	23
Ολικός φώσφορος	4.6



**Σχήμα 4.4** Παροχές εισόδου αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων στο ΚΕΛΜ (Πηγή: Αδρακτάς κ.α., 2009).

#### 4.2.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Θριασίου

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Θριασίου έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για την εξυπηρέτηση της ευρύτερης αστικής περιοχής του Θριασίου Πεδίου συμπεριλαμβανομένων και επεξεργασμένων βιομηχανικών λυμάτων. Η δυναμικότητα της εγκατάστασης αντιστοιχεί σε 117 000 ισοδύναμο πληθυσμό. Η επεξεργασία των λυμάτων θα πραγματοποιείται κατά στάδια. Κατά σειρά προτεραιότητας αυτά είναι: ανύψωση και προεπεξεργασία (εσχάρωση, εξάμμωση) για την απομάκρυνση των στερεών και της άμμου, πρωτοβάθμια καθίζηση, βιολογική επεξεργασία με την μέθοδο της ενεργού ύλης (νιτροποίηση, απονιτροποίηση καθώς και βιολογική και χημική απομάκρυνση φωσφόρου), δυνατότητα ενίσχυσης της απομάκρυνσης φωσφόρου με την προσθήκη χημικών και διύλιση σε ταχυδιύλιστήρια άμμου και στη συνέχεια απολύμανση με χρήση ακτινοβολίας UV πριν από την διάθεσή των λυμάτων στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού. Τα λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα από το δίκτυο αποχέτευσης του Θριασίου Πεδίου συλλέγονται από τρεις κεντρικούς αποχετευτικούς αγωγούς που συμβάλλουν στο βορειανατολικό άκρο του γηπέδου του ΚΕΛΘ και με αγωγό διαμέτρου DN1000, κατευθύνονται προς το αντλιοστάσιο της εισόδου προκειμένου να ανυψωθούν προς τις εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας.

Η επεξεργασία της πρωτοβάθμιας ιλύος θα πραγματοποιείται κατά στάδια, που κατά σειρά είναι το σύστημα ζύμωσης – βαρυτικής πάχυνσης της ιλύος και κατάληξη στη δεξαμενή ανάμιξης. Στην ίδια δεξαμενή καταλήγει και η περίσσεια βιολογικής ιλύος αφού πρώτα υποστεί πάχυνση με τη μέθοδο της επίπλευσης (DAF). Στη συνέχεια το μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος οδηγείται στη μονάδα αναερόβια χώνευσης όπου και σταθεροποιείται περαιτέρω προκειμένου να καταλήξει στη μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης από όπου και απομακρύνεται.

Το βιοαέριο που παράγεται κατά την διαδικασία της χώνευσης αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μονάδας συμπαραγωγής, η δε παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της μονάδας χώνευσης και του κτιρίου Διοίκησης.

Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων θα γίνεται στον κόλπο της Ελευσίνας, με αγωγό συνολικού μήκους 1620 m περίπου. Η εκβολή θα γίνεται μέσω διαχυτήρα και στομίων διάχυσης, σε βάθος 14 m περίπου κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

#### *4.2.4 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Μεγάρων*

Η εγκατάσταση των Μεγάρων έχει σχεδιαστεί ώστε να δέχεται μέση ημερήσια παροχή 8 000 m<sup>3</sup>/d, η οποία προβλέπεται να φτάσει τα 12 000 m<sup>3</sup>/d σε ορίζοντα 20 χρόνων. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει μονάδα προεπεξεργασίας με μηχανικές σχάρες και αεριζόμενο εξαμμωτή - λιποσυλλέκτη. Στη συνέχεια τα λύματα υφίστανται βιολογική επεξεργασία σε σύστημα ενεργού ιλύος με παρατεταμένο αερισμό και απονιτροποίηση για την απομάκρυνση οργανικού φορτίου και αζώτου. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει επίσης δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης και μονάδα χλωρίωσης των επεξεργασμένων λυμάτων. Ωστόσο, υπάρχει ενδιαφέρον για τη δημιουργία μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας ώστε τα επεξεργασμένα λύματα να μπορούν να διατεθούν για την άρδευση των ελαιόδεντρων που βρίσκονται στην περιοχή.

### **4.3 Ζήτηση νερού ανά χρήση και γεωγραφική ενότητα**

Η ζήτηση του νερού εκτός από τις οικιακές χρήσεις και την πόση, προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από την ανάγκη για την κάλυψη ενός πλήθους χρήσεων: αρδευτικών, βιομηχανικών,



αναδασώσεων, ανάπλασης αστικών περιοχών, άρδευσης πάρκων και χώρων αναψυχής, άρδευσης νησίδων και πρανών αυτοκινητοδρόμων, πλυσίματος δρόμων και αναγκών καθαριότητας δήμων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι περιοχές της Αττικής στις οποίες προτείνεται να ικανοποιηθούν οι παραπάνω ανάγκες ως ένα βαθμό μέσω της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων, καθώς επίσης και η εκτίμηση της ζήτησης αυτής (Αδρακτάς κ.α., 2009).

#### *4.3.1 Γεωγραφικές ενότητες*

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων επιδιώκεται να πραγματοποιηθεί σε περιοχές, με μεγάλες αρδευτικές και βιομηχανικές κυρίως ανάγκες σε νερό, οι οποίες θα μπορούν να εξυπηρετηθούν από την Ψυττάλεια πρωτίστως, από όπου θα εκρέει και η μεγαλύτερη ποσότητα ανακτώμενου νερού, αλλά και από τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις όπως αυτή της Μεταμόρφωσης, του Θριασίου και των Μεγάρων. Με βάση τα παραπάνω δύο κριτήρια, οι περιοχές της Αττικής για τις οποίες μελετάται η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων είναι:

- (i) Παραλιακό Μέτωπο (Ελληνικό, Γλυφάδα, Άλιμος, Βούλα, Φάληρο)
- (ii) Σαλαμίνα
- (iii) Θριάσιο Πεδίο
- (iv) Μέγαρα
- (v) Περιοχή Πειραιά και γειτονικών Δήμων (Πέραμα, Κερατσίνι, Δραπετσώνα)
- (vi) Μεταμόρφωση – Νέα Φιλαδέλφεια – Νέα Ιωνία – Πεύκη
- (vii) Ελαιώνας
- (viii) Δυτική Αττική (Αγία Βαρβάρα, Αιγάλεω, Ρέντης, Περιστερί)

#### *4.3.2 Άρδευση γεωργικών εκτάσεων*

Οι βασικές περιοχές όπου οι αρδευτικές ανάγκες είναι σημαντικές και όπου είναι εφικτό να ικανοποιηθούν με ανακτώμενο νερό από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων προκύπτει ότι είναι το Θριάσιο Πεδίο, τα Μέγαρα και η Σαλαμίνα.

- Θριάσιο Πεδίο

Η κύρια αρδευτική δραστηριότητα στο Θριάσιο πεδίο αφορά κηπευτικά και αροτραίες καλλιέργειες. Σήμερα από τα 8 488 καλλιεργούμενα στρέμματα αρδεύονται συνολικά τα 3 581 (42.2%). Οι παραπάνω ανάγκες καλύπτονται στο σύνολό τους από χρήση γεωτρήσεων μέσου βάθους 120 m που βρίσκονται κυρίως στην περιοχή βορείως του δρόμου του NATO. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζεται η μηνιαία ζήτηση για την κάλυψη τόσο των σημερινών αρδευτικών αναγκών όσο και της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης στην περιοχή.

**Πίνακας 4.3** Μηνιαία ζήτηση νερού για άρδευση στο Θριάσιο Πεδίο (m<sup>3</sup>).

	Συντελεστής μηνιαίας κατανάλωσης	Ζήτηση αρδευόμενων εκτάσεων	Ζήτηση συνολικών γεωργικών εκτάσεων
Ιανουάριος	0	0	0
Φεβρουάριος	0	0	0
Μάρτιος	0	0	0
Απρίλιος	0.03	90 802	1016035
Μάιος	0.09	272 406	3048105
Ιούνιος	0.19	575 079	6434887
Ιούλιος	0.26	786 950	8805635
Αύγουστος	0.24	726 415	8128279
Σεπτέμβριος	0.14	423 742	4741496
Οκτώβριος	0.05	151 337	1693391
Νοέμβριος	0	0	0
Δεκέμβριος	0	0	0

- *Μέγαρα*

Το μεγαλύτερο μέρος των καλλιεργειών στα Μέγαρα είναι δενδρώδεις εκ των οποίων το 80% αποτελεί η καλλιέργεια της ελιάς, 7% τα αμπέλια και 4.5% η καλλιέργεια κηπευτικών. Το χαμηλό ποσοστό των αρδευόμενων εκτάσεων (6.3%), οφείλεται στην έλλειψη νερού, που υπάρχει στην περιοχή. Σε όσες καλλιέργειες πραγματοποιείται άρδευση η ζήτηση αυτή καλύπτεται από γεωτρήσεις έχοντας ως συνέπεια τη σημαντική πτώση του υδροφόρου ορίζοντα και την υφαλμύριση (Πίνακας 4.4).

**Πίνακας 4.4** Μηνιαία ζήτηση νερού για άρδευση στην περιοχή των Μεγάρων (m<sup>3</sup>).

	Συντελεστής μηνιαίας κατανάλωσης	Ζήτηση αρδευόμενων εκτάσεων	Ζήτηση συνολικών γεωργικών εκτάσεων
Ιανουάριος	0	0	0
Φεβρουάριος	0	0	0
Μάρτιος	0	0	0
Απρίλιος	0.03	322 938	1 066 023
Μάιος	0.09	968 814	3 198 169
Ιούνιος	0.19	2 045 274	6 751 479
Ιούλιος	0.26	2 798 796	9 238 866
Αύγουστος	0.24	2 583 504	8 528 184
Σεπτέμβριος	0.14	1 507 044	4 974 774
Οκτώβριος	0.05	538 230	1 776 705
Νοέμβριος	0	0	0
Δεκέμβριος	0	0	0

- *Σαλαμίνα*

Οι δενδρώδεις και κηπευτικές καλλιέργειες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των καλλιεργούμενων εκτάσεων (86%). Η κάλυψη των αναγκών σήμερα γίνεται με γεωτρήσεις, που όμως αποδίδουν νερό υποβαθμισμένης ποιότητας εξαιτίας της υφαλμύρισης. Η

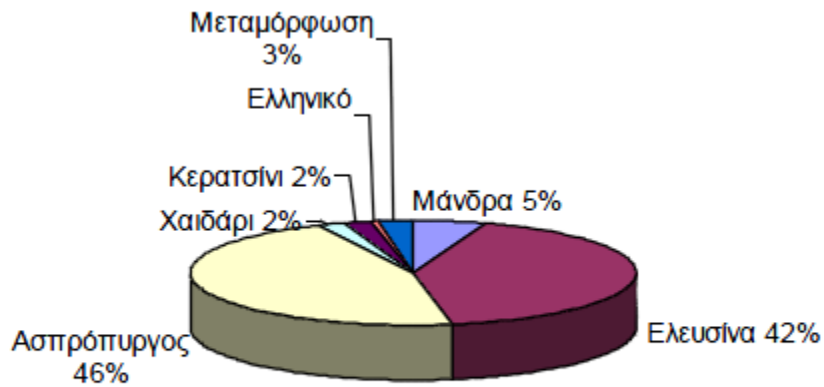
συνολική μηνιαία ζήτηση νερού για την κάλυψη των αναγκών παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.5.

#### 4.3.3 Βιομηχανική χρήση

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στον τομέα της βιομηχανίας αφορά κυρίως βιομηχανίες που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού για τα συστήματα ψύξης τους. Η ικανοποίηση αναγκών σε βιομηχανίες άλλου τύπου παραγωγής, όπως παραγωγής τροφίμων δεν εξετάζεται κυρίως για υγειονομικούς λόγους. Ο κύριος όγκος των βιομηχανικών μονάδων με συστήματα ψύξης, όπως είναι οι χαλυβουργίες και τα διυλιστήρια, βρίσκεται κυρίως στο Θριάσιο Πεδίο και στην ευρύτερη περιοχή της Δραπετσώνας και του Κερατσινίου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.5. Η ημερήσια βιομηχανική ζήτηση των περιοχών αυτών υπολογίζεται περίπου σε 95 000 m<sup>3</sup>.

**Πίνακας 4.5** Μηνιαία ζήτηση νερού για άρδευση στην περιοχή της Σαλαμίνας (m<sup>3</sup>).

	Συντελεστής μηνιαίας κατανάλωσης	Ζήτηση αρδευόμενων εκτάσεων	Ζήτηση συνολικών γεωργικών εκτάσεων
Ιανουάριος	0	0	0
Φεβρουάριος	0	0	0
Μάρτιος	0	0	0
Απρίλιος	0.03	31 542	31 647
Μάιος	0.09	94 626	94 941
Ιούνιος	0.19	199 766	200 431
Ιούλιος	0.26	273 364	274 274
Αύγουστος	0.24	252 336	253 176
Σεπτέμβριος	0.14	147 196	147 686
Οκτώβριος	0.05	52 570	52 745
Νοέμβριος	0	0	0
Δεκέμβριος	0	0	0



**Σχήμα 4.5** Κατανομή βιομηχανικής χρήσης στο Θριάσιο Πεδίο και στην ευρύτερη περιοχή του Πειραιά (Πηγή: Αδρακτάς κ.α., 2009).

#### 4.3.4 Αναδασώσεις

Οι περιοχές στις οποίες προτείνεται να πραγματοποιηθούν προγράμματα αναδάσωσης, είναι οι ορεινοί όγκοι Αιγάλεω και Ποικίλο (ενιαία ονομασία Αιγάλεω Όρος – Σχήμα 4.6), οι οποίοι συμβάλλουν σημαντικά στη διαμόρφωση των κλιματικών συνθηκών, στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στην αντιπλημμυρική προστασία του λεκανοπεδίου.

Στο πλαίσιο του προγράμματος έχει προταθεί η αναδάσωση σε δασικές και περιαστικές περιοχές των δύο ορεινών όγκων συνολικής έκτασης περίπου 50 000 στρεμμάτων στο Αιγάλεω και 20 000 στρεμμάτων στο Ποικίλο. Η αναδάσωση αναμένεται να διαρκέσει 15 – 20 χρόνια εκ των οποίων κατά τα πρώτα δύο, θα εφαρμοστεί τεχνητή άρδευση με ανακτώμενο νερό στις αναδασώμενες εκτάσεις. Η ζήτηση εκτιμάται 1 200 m<sup>3</sup> ανά έτος και στρέμμα.



**Σχήμα 4.6** Περιοχή αναδάσωσης στο όρος Αιγάλεω (Πηγή: [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com))

#### 4.3.5 Αναπλάσεις αστικών περιοχών

Οι αναπλάσεις στις οποίες μελετάται και κρίνεται συμφέρουσα η χρήση ανακτώμενου νερού είναι το Μητροπολιτικό Πάρκο Ελληνικού, ο Ελαιώνας, ο Ολυμπιακός πόλος Φαλήρου, το Πάρκο Σταύρου Νιάρχου και η ανάπλαση της ευρύτερης περιοχής του Κηφισού.

##### (i) Το Μητροπολιτικό Πάρκο του Ελληνικού

Μητροπολιτικό Πάρκο του Ελληνικού είναι το όνομα που δίνεται σε μια πρόταση αξιοποίησης του χώρου του πρώην αεροδρομίου στο Ελληνικό. Η έκταση του πρώην Διεθνούς Αεροδρομίου Ελληνικού είναι 5 300 στρέμματα, από τα οποία 4 010 στρέμματα προβλέπεται ότι θα καλύψει το Μητροπολιτικό Πάρκο, 1 000 στρέμματα θα αξιοποιηθούν για πολεοδομική ανάπτυξη και τα υπόλοιπα 290 αφορούν νέες υποδομές ή υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Ο καταμερισμός αυτός έχει συναντήσει αντιδράσεις από επιτροπές κατοίκων των γύρω προαστίων, που ζητούν τη διάθεση ολόκληρου του χώρου του πρώην αεροδρομίου για τη δημιουργία πάρκου.

Η πρόταση για την υλοποίηση του έργου επιλέχθηκε το 2003 μετά από διαγωνισμό που προκηρύχθηκε από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε σε συνεργασία με τη Διεθνή Ένωση Αρχιτεκτόνων και αφού κατατέθηκαν 159 προτάσεις αξιοποίησης. Σύμφωνα με τα σχέδια του Υπουργείου ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, το μητροπολιτικό πάρκο αυτό πρόκειται να είναι το μεγαλύτερο, που έγινε ποτέ στην Ελλάδα. Επίσης, ο πρώην κύριος διάδρομος προσγείωσης διατηρείται σαν χώρος κίνησης των πεζών. Όλα τα κτήρια του αεροδρομίου καθώς και αυτά της περιοχής της πρώην Αμερικανικής Βάσης θα κατεδαφισθούν, εκτός από το κτήριο του FIR. Στο έργο περιλαμβάνονται και επεκτάσεις του μετρό (δυο σταθμοί), η επέκταση της γραμμής του τραμ, καθώς και η βύθιση της λεωφόρου Ποσειδώνος, ώστε να επιτευχθεί η ενοποίηση του πάρκου με τις εγκαταστάσεις του Αγίου Κοσμά και με το Γκολφ της Γλυφάδας.

Αναλυτικά το πάρκο θα περιλαμβάνει:

- Τους ελεύθερους χώρους του πάρκου. Δηλαδή χώρους πρασίνου, υδάτινους χώρους και χώρους αναψυχής και περιπάτου.
- Εγκαταστάσεις άθλησης, όπως αθλητικές εγκαταστάσεις μπίτζμπολ, χόκεϊ και σόφτμπολ.
- Διάφορους χώρους υποδομής. Δηλαδή χώρους στάθμευσης και χώρους υποδομής της ΔΕΗ.

Σύμφωνα με το Σχέδιο του ΥΠΕΧΩΔΕ οι φυτεύσεις υψηλού πρασίνου θα καλύψουν 2 650 στρέμματα και θα φυτευτούν 40 000 έως 60 000 δένδρα. Η εκτίμηση της μηνιαίας κατανάλωσης νερού στην τελική φάση ανάπτυξης του έργου φαίνεται στον Πίνακα 4.6.

**Πίνακας 4.6** Εκτίμηση μηνιαίας ζήτησης νερού για τις ανάγκες του Μητροπολιτικού πάρκου του Ελληνικού (m<sup>3</sup>).

Ιανουάριος	0	Ιούλιος	113 400
Φεβρουάριος	0	Αύγουστος	102 600
Μάρτιος	27 000	Σεπτέμβριος	70 200
Απρίλιος	37 800	Οκτώβριος	27 000
Μάιος	70 200	Νοέμβριος	0
Ιούνιος	91 800	Δεκέμβριος	0



**Σχήμα 4.7** Σχέδιο γενικής διάταξης Μητροπολιτικού Πάρκου Ελληνικού (Πηγή: ΟΡΣΑ/ΥΠΕΧΩΔΕ)

(ii) Ελαιώνας

Ο Ελαιώνας είναι μια περιοχή η οποία εκτείνεται περίπου 5 km από τη μια πλευρά του και 2 km από την άλλη. Περικλείεται από τις οδούς Καβάλας, Κηφισού, Θηβών, Πειραιώς στο κέντρο του λεκανοπεδίου. Διοικητικά ανήκει σε 5 δήμους: Αθήνας, Αιγάλεω, Περιστερίου, Ταύρου, Ρέντη. Πρόκειται για μια κατά βάση αδόμητη περιοχή 9 500 στρεμμάτων με ορισμένες ρυπογόνες βιομηχανίες, μικρές οικογενειακές κατά κύριο λόγο βιοτεχνίες,



πρακτορεία μεταφορών και ελάχιστους κατοίκους. Η πρώτη μελέτη που υιοθετείται για τον Ελαιώνα είναι αυτή που προβλέπει το Προεδρικό Διάταγμα του 1991 (ΦΕΚ 74Δ/91) και η οποία προτείνει ανάμειξη βιομηχανικών και βιοτεχνικών χρήσεων με χρήσεις εμπορίου, χονδρεμπορίου και κατοικίας. Επίσης, αυξάνει τους συντελεστές εκμετάλλευσης της γης, ενώ προβλέπει ελάχιστους χώρους πρασίνου. Οι πολλές αντιδράσεις και προσφυγές των ενδιαφερομένων σχετικά με τις παραπάνω ρυθμίσεις, καθιστούν την εφαρμογή του εν λόγω σχεδίου αδύνατη τα επόμενα χρόνια.

Το 1994 το ΥΠΕΧΩΔΕ αναθέτει στον Οργανισμό Αθήνας σε συνεργασία με το ΕΜΠ τη διεξαγωγή μιας σειράς ερευνητικών προγραμμάτων και την εκπόνηση νέας Πολεοδομικής Μελέτης για τον Ελαιώνα, με σκοπό να προσδιοριστούν οι πραγματικές συνιστώσες του προβλήματος και να προωθηθεί ένας σχεδιασμός που να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της πόλης. Αποτέλεσμα των παραπάνω, όσον αφορά στο νομοθετικό πλαίσιο για τον Ελαιώνα, ήταν το Προεδρικό Διάταγμα του 1995 1049Δ/95, το οποίο τροποποίησε το αντίστοιχο του 1991. Σύμφωνα με αυτό το σχέδιο προτείνεται η αναδιάρθρωση των χρήσεων στο σύνολο της περιοχής και η δημιουργία μεγάλων χώρων πρασίνου. Αναλυτικά:

- Δημιουργούνται θύλακες μη οχλούσας βιομηχανίας και βιοτεχνίας, ενώ απομακρύνει τις αντίστοιχες οχλούσες και ιδιαίτερα ρυπογόνες δραστηριότητες.
- Ενισχύεται η δημιουργία μεγάλων και ενιαίων χώρων πρασίνου, εντάσσοντας στο δίκτυο αυτό και τους ιστορικούς χώρους, αναβαθμίζοντας ταυτόχρονα τον άξονα της Ιεράς Οδού και τους παρακείμενους αρχαιολογικούς χώρους του κέντρου της Αθήνας.
- Απελευθερώνονται χώροι για πράσινο περιορίζοντας τις κοινωφελείς δημόσιες χρήσεις, όπως ΔΕΗ, ΟΤΕ, ΟΑΣΑ, ΗΛΠΑΠ κτλ, αλλά και θεσμοθετώντας υπόγειους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων με φύτευση στο επίπεδο του δρόμου.
- Απομακρύνεται μεγάλο ποσοστό από τα πρακτορεία μεταφορών και τα υπόλοιπα τα οργανώνει και τα συγκεντρώνει σε θύλακες, έτσι ώστε να μειωθούν οι οχλήσεις που προκαλούν, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση και ο θόρυβος.
- Ενισχύονται οι περιοχές κατοικίας, π.χ. Μαρκόني, με φιλικές ως προς αυτήν χρήσεις, ενώ προβλέπονται και ζώνες μεικτών χρήσεων ανάπτυξης επιχειρησιακού κέντρου.

Ο συνολικός χρόνος εφαρμογής της μελέτης μέσα στον οποίο είναι υποχρεωτική και η απομάκρυνση των εγκαταστάσεων από την περιοχή, εκτιμάται σε 20 χρόνια. Οι περιοχές

πρασίνου καταλαμβάνουν 2 320 στρέμματα, που αποτελεί το 30% της περιοχής και αναμένεται να αυξηθούν μετά και την απομάκρυνση των μονάδων και την αντικατάστασή τους με φύτευση. Η μηνιαία ζήτηση όπως προκύπτει από τη μελέτη παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.7.

**Πίνακας 4.7** Εκτίμηση μηνιαίας ζήτησης νερού για τις ανάγκες της ανάπλασης του Ελαιώνα (m<sup>3</sup>).

Ιανουάριος	0	Ιούλιος	143 640
Φεβρουάριος	0	Αύγουστος	129 960
Μάρτιος	34 200	Σεπτέμβριος	88 920
Απρίλιος	47 880	Οκτώβριος	34 200
Μάιος	88 920	Νοέμβριος	0
Ιούνιος	116 280	Δεκέμβριος	0

(iii) Ολυμπιακός Πόλος Φαλήρου

Ο Ολυμπιακός Πόλος Φαλήρου βρίσκεται σε απόσταση 6 km από το κέντρο της Αθήνας και 24 km από το αεροδρόμιο «Ελ. Βενιζέλος». Αποτελεί τμήμα της παραλιακής ζώνης και εκτείνεται από το Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας έως την Ολυμπιακή μαρίνα του Αγίου Κοσμά. Με βάση το σχέδιο της ανάπλασης προβλέπεται να πραγματοποιηθούν τα παρακάτω έργα:

- (i) Οικολογικό πάρκο έκτασης (75 στρέμματα)
- (ii) Γήπεδα αθλοπαιδιών και χώρος στάθμευσης (30 στρέμματα)
- (iii) Βοτανικός κήπος (14 στρέμματα)
- (iv) Πάρκο νερού και αναψυχής (21 στρέμματα)
- (v) Παραλιακή αμμώδης ζώνη (25 στρέμματα)
- (vi) Γραμμικό πάρκο (40 στρέμματα)
- (vii) Δίκτυα υποδομής, δίκτυα πεζόδρομων και ποδηλατοδρόμων κτλ.

**Πίνακας 4.8** Εκτίμηση μηνιαίας ζήτησης νερού για την ανάπλαση στον Ολυμπιακό Πόλο Φαλήρου (m<sup>3</sup>).

Ιανουάριος	0	Ιούλιος	6 300
Φεβρουάριος	0	Αύγουστος	5 700
Μάρτιος	1 500	Σεπτέμβριος	3 900
Απρίλιος	2 100	Οκτώβριος	1 500
Μάιος	3 900	Νοέμβριος	0
Ιούνιος	5 100	Δεκέμβριος	0

Η άρδευση όλης αυτής της έκτασης πρασίνου κρίνεται ασύμφορο να πραγματοποιηθεί με πόσιμο νερό της ΕΥΔΑΠ και γι' αυτό επιλέχθηκε από τους μελετητές η λύση του ανακτώμενου νερού από επεξεργασμένα λύματα (Πίνακας 4.8).

(iv) Το Πάρκο Σταύρος Νιάρχος

Στο συνολικό σχεδιασμό ανάπλασης του Φαληρικού μετώπου προβλέπεται η κατασκευή στον χώρο του παλαιού Ιπποδρόμου του «Κέντρου Πολιτισμού - Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος», που περιλαμβάνει πάρκο έκτασης 170 000 m<sup>2</sup>, τη δημιουργία νέας Εθνικής Βιβλιοθήκης καθώς και την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων της Εθνικής Λυρικής Σκηνής. Η κατασκευή του Κέντρου προβλέπεται να ολοκληρωθεί το 2015. Το πάρκο που θα είναι χώρος πρασίνου θα αναπτυχθεί σε μια έκταση τουλάχιστον 120 στρεμμάτων και επομένως θα προσφέρει μια υπολογίσιμη έκταση πρασίνου στην πρωτεύουσα. Η δημιουργία του Πάρκου με τη φύτευση μεγάλου αριθμού δέντρων και καλλωπιστικών φυτών, θα επηρεάσει θετικά το μικροκλίμα της περιοχής και θα βελτιώσει αισθητικά την ποιότητα του περιβάλλοντος. Οι μηνιαίες αρδευτικές ανάγκες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9 έχουν προκύψει λαμβάνοντας υπόψιν παρεμφερείς ανάγκες σε νερό άλλων πάρκων. Το πάρκο λόγω της μικρής σχετικά απόστασης του από την Ψυττάλεια προτείνεται να τροφοδοτείται με ανακτώμενο νερό από τη συγκεκριμένη εγκατάσταση.

**Πίνακας 4.9** Εκτίμηση μηνιαίας ζήτησης νερού για το Πάρκο Σταύρος Νιάρχος (m<sup>3</sup>).

Ιανουάριος	0	Ιούλιος	5 040
Φεβρουάριος	0	Αύγουστος	4 560
Μάρτιος	1 200	Σεπτέμβριος	3 120
Απρίλιος	1 680	Οκτώβριος	1 200
Μάιος	3 120	Νοέμβριος	0
Ιούνιος	4 080	Δεκέμβριος	0

(v) Κηφισός ποταμός

Ο Κηφισός ποταμός πηγάζει κυρίως από την Πάρνηθα και την Πεντέλη συλλέγει όμως ύδατα και από το όρος Αιγάλεω καθώς και από μέρος του Υμηττού. Το μήκος του από το Κρυονέρι μέχρι το Φάληρο είναι περίπου 30 χιλιόμετρα, αλλά με το συνολικό μήκος των πολλών παραχειμμάτων του υπερβαίνει τα 150 χιλιόμετρα. Δίνει έτσι διέξοδο προς το Φαληρικό όρμο, όπου είναι οι εκβολές του, στο μεγαλύτερο μέρος των υδάτων του λεκανοπεδίου και γι' αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία από υδραυλική άποψη για την Πρωτεύουσα, αποτελεί όμως ταυτόχρονα ένα φυσικό ποτάμιο οικοσύστημα. Στο άνω τμήμα του ρου διατηρείται η φυσική του κοίτη παρά το γεγονός ότι ένα μεγάλο μέρος του έχει υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις όπως καταπατήσεις, οικοδόμηση, ρύπανση.

Το 1994 θεσπίστηκε ειδικό Προεδρικό Διάταγμα (ΦΕΚ 632 / Δ / 27-6-94) για την προστασία του. Σύμφωνα με αυτό ορίστηκε Α' Ζώνη Προστασίας με πλάτος 50 μέτρων εκατέρωθεν της μέσης γραμμής, όπου απαγορεύεται κάθε δόμηση και Β' Ζώνη Προστασίας που εκτείνεται πέραν της Α' Ζώνης, σε διαφορετικό κατά περιοχές πλάτος, όπου επιτρέπεται δόμηση με πολύ μικρό συντελεστή και ήπιες χρήσεις. Το Προεδρικό Διάταγμα έδωσε επίσης δεκαετή προθεσμία για την απομάκρυνση όλων των εγκαταστάσεων που βρίσκονται μέσα στη Ζώνη Προστασίας, σήμερα όμως αυτές εξακολουθούν να παραμένουν ύστερα από παράταση της προθεσμίας. Το σύνολο των εκτάσεων, που περιλαμβάνονται στις Ζώνες Προστασίας είναι 12 000 στρέμματα και αυτά αποτελούν εν δυνάμει, ένα μεγάλο φυσικό πάρκο με ελάχιστη δόμηση που συνδέει το περιαστικό πράσινο με την Πρωτεύουσα. Το 2002 με Προεδρικό



#### 4.3.6 Άρδευτικές ανάγκες νησίδων και πρανών αυτοκινητοδρόμων

Η χρήση ανακτώμενου νερού για την άρδευση νησίδων και πρανών αυτοκινητοδρόμων αφορά κυρίως την Αττική Οδό με μήκος περίπου 65 km και την Εθνική Οδό Αθηνών-Κορίνθου με μήκος 40 km. Οι ανάγκες της Αττικής Οδού, που σήμερα καλύπτονται από γεωτρήσεις εκτιμώνται σε 580 588 m<sup>3</sup> ετησίως ενώ της Εθνικής Οδού Αθηνών-Κορίνθου σε 24 480 m<sup>3</sup> ετησίως. Η Λεωφόρος Ποσειδώνος θα μπορούσε και αυτή δευτερευόντως να τροφοδοτείται με ανακτώμενο νερό, καλύπτοντας ένα μέρος από τα 11 138 m<sup>3</sup> που είναι η ετήσια ζήτησή της σε νερό, λαμβάνοντας υπόψιν και τη μικρή απόστασή της από τη κέντρο της Ψυττάλειας.

#### 4.3.7 Άρδευση αστικού πρασίνου

Μετά τα φαινόμενα έντονης λειψυδρίας στην Αττική, πολλοί δήμοι στράφηκαν σε νερό γεωτρήσεων χαμηλής ποιότητας για την άρδευση των δημοτικών χώρων πρασίνου. Ωστόσο λόγω της αδυναμίας κάλυψης των αναγκών, οι πράσινες εκτάσεις ποτίζονται ελάχιστα με συνέπεια να τείνουν να εκλείψουν και οι λιγοστοί πυρήνες πρασίνου.

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για αυτές τις ανάγκες (Πίνακας 4.10) αφορά κυρίως τους δήμους που βρίσκονται κοντά στις δύο μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, την Ψυττάλεια και τη Μεταμόρφωση: το δήμο του Πειραιά και τους γειτονικούς σε αυτόν (Κερασίни, Δραπετσώνα, Πέραμα), το παραλιακό μέτωπο (Φάληρο, Μοσχάτο, Καλλιθέα, Ελληνικό) και τη Νέα Ιωνία, τη Λυκόβρυση και τη Νέα Φιλαδέλφεια που βρίσκονται κοντά στη Μεταμόρφωση.

**Πίνακας 4.10** Εκτίμηση μηνιαίας ζήτησης νερού για την άρδευση αστικού πρασίνου (m<sup>3</sup>).

Ιανουάριος	0	Ιούλιος	2 841 855
Φεβρουάριος	0	Αύγουστος	2 571 202
Μάρτιος	676 632	Σεπτέμβριος	1 759 244
Απρίλιος	947 285	Οκτώβριος	676 632
Μάιος	1 759 244	Νοέμβριος	0
Ιούνιος	2 300 549	Δεκέμβριος	0

#### 4.3.8 Εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα

Οι κύριες μέθοδοι εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα είναι:

- η επιφανειακή διάχυση ή διήθηση
- οι γεωτρήσεις άμεσου εμπλουτισμού

Η βασική διαφορά αυτών των δύο μεθόδων, αφορά στην επιπρόσθετη επεξεργασία που πραγματοποιείται μέσω του εδάφους κατά την επιφανειακή διάχυση.

Τα πλεονεκτήματα της αποθήκευσης των αποβλήτων σε υπόγειους υδροφορείς είναι (Asano and Cotruvo, 2004):

- (i) Ο υδροφορέας μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικό σύστημα διανομής μειώνοντας την ανάγκη για την κατασκευή αγωγών και καναλιών για τη μεταφορά των επιφανειακών υδάτων.
- (ii) Το κόστος του τεχνητού εμπλουτισμού μπορεί να είναι μικρότερο από το κόστος των αντίστοιχων ταμιευτήρων.
- (iii) Το νερό που αποθηκεύεται στους ταμιευτήρες υφίσταται εξάτμιση, ρύπανση και υποβάθμιση της ποιότητάς του με δυσάρεστες οσμές και γεύσεις που οφείλονται στην παραγωγή αλγών, προβλήματα που μπορούν να αποφευχθούν με την επεξεργασία μέσω του εδάφους και την αποθήκευση στους υδροφορείς.
- (iv) Η χωροθέτηση επιφανειακών ταμιευτήρων μπορεί να μην είναι επαρκής ή να μην γίνεται αποδεκτή εξαιτίας περιβαλλοντικών λόγων.

Τα μειονεκτήματα που πρέπει ωστόσο να ληφθούν υπόψιν είναι:

- (i) Η ανάγκη για εκτεταμένες εδαφικές επιφάνειες για τις λεκάνες διήθησης
- (ii) Το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας των απαιτούμενων γεωτρήσεων και της απαιτούμενης προχωρημένης επεξεργασίας.
- (iii) Η πιθανή αύξηση του κινδύνου ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα. Η εξυγίανση του υδροφορέα είναι δύσκολη, δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία.

(iv) Η δυσκολία υλοποίησης και ελέγχου της απαγόρευσης χρήσης του υδροφορέα για ύδρευση.

Η εφαρμογή του εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα λύματα, κρίνεται απαραίτητη σε περιοχές με σημαντικό πρόβλημα όπως είναι το Θριάσιο Πεδίο, προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα του υπόγειου νερού και να παρεμποδίζεται η υφαλμύριση. Η πειραματική – πιλοτική εφαρμογή προτείνεται να ξεκινήσει σε αυτή την περιοχή σε 10 από τα 30 πηγάδια της περιοχής και να διαρκέσει 100 μέρες (Αδρακτάς κ.α., 2009). Η παροχή σε κάθε πηγάδι θα είναι της τάξης των 30 m<sup>3</sup>/h και επομένως η συνολική ποσότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί ανέρχεται σε 7 200 m<sup>3</sup> ημερησίως. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της πειραματικής αυτής εφαρμογής, θα μελετηθεί η επέκτασή της και σε άλλες περιοχές σε μόνιμη βάση.



## 5. Ανάλυση

### 5.1. Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων ανά ζώνες

Η δημιουργία οδικών χαρτών για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων στην Αθήνα στηρίζεται στη μελέτη της ζήτησης ανά χρήση συγκεκριμένων περιοχών της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας. Ως προς τη χρονική περίοδο της χρήσης, η συνολική ζήτηση, που προκύπτει από το σύνολο των αναγκών που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 4, διακρίνεται σε χειμερινή, ενδιάμεση και θερινή (Πίνακας 5.1). Η διάκριση αυτή οφείλεται στην ελαχιστοποίηση των αρδευτικών αναγκών κατά το χειμώνα, σε αντίθεση με τη βιομηχανία, που διατηρεί σταθερή τη ζήτησή της σε νερό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

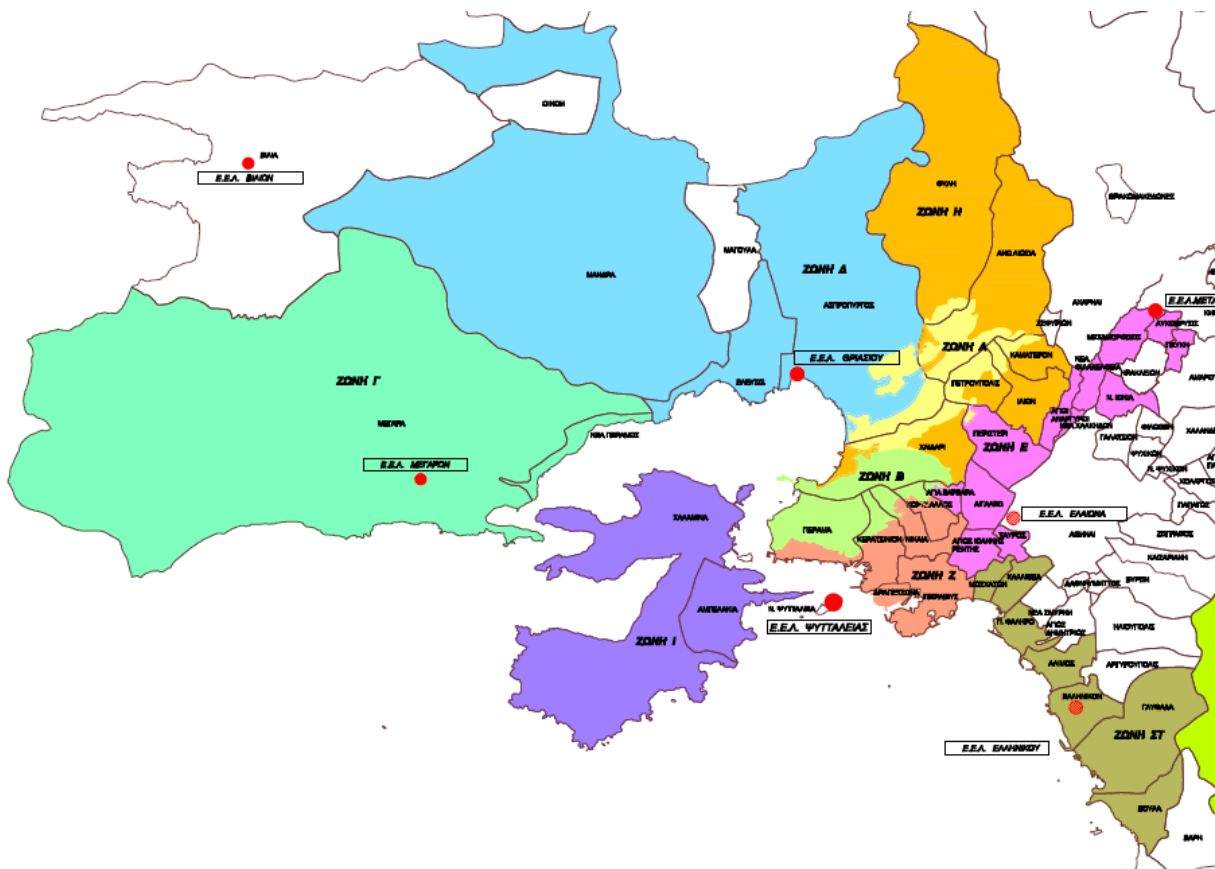
**Πίνακας 5.1** Εκτίμηση συνολικής ζήτησης νερού ανά χρήση (m<sup>3</sup>).

	Ετήσια ζήτηση	Μέγιστη Ημερήσια Ζήτηση Περιόδου		
		Χειμώνας	Ενδιάμεση	Θέρος
Γεωργία	21 766 500	0	65 300	188 643
Βιομηχανία	34 957 944	97 105	97 105	97 105
Αναδάσωση	15 613 004	0	44 758	112 166
Αστικό Πράσινο	9 812 103	0	229	68 685
Νησίδες	259 093	0	6	1 791
Σύνολο	82 408 644	97 105	207 398	468 390

Ως προς τις περιοχές εφαρμογής της επαναχρησιμοποίησης, έχει γίνει διαχωρισμός της περιοχής μελέτης σε ζώνες (Σχήμα 5.1). Οι ζώνες, που αποτελούν ουσιαστικά ενοποιήσεις γειτονικών Δήμων ανάλογα και με τις χρήσεις τους, είναι (Αδρακτάς κ.α., 2009):

- (i) Ζώνη Α: Άνω Λιόσια, Ασπρόπυργος, Χαϊδάρι, Πετρούπολη, Καματερό, Φυλή, Ίλιον
- (ii) Ζώνη Β: Πέραμα, Χαϊδάρι, Κερατσίνι, Νίκαια, Κορυδαλλός
- (iii) Ζώνη Γ: Μέγαρα, Ν. Πέραμος
- (iv) Ζώνη Δ: Ασπρόπυργος, Ελευσίνα, Μάνδρα

- (v) Ζώνη E: Μεταμόρφωση, Λυκόβρυση, Ν. Φιλαδέλφεια, Ν. Ιωνία, Αγ. Ανάργυροι, Νέα Χαλκηδόνα, Περιστερί, Αιγάλεω, Αγία Βαρβάρα, Ταύρος, Αγ. Ιωάννης Ρέντης
- (vi) Ζώνη ΣΤ: Μοσχάτο, Καλλιθέα, Π. Φάληρο, Άλιμος, Ελληνικό, Γλυφάδα, Βούλα
- (vii) Ζώνη Ζ: Δραπετσώνα, Πειραιάς, Πέραμα, Κερατσίνι, Νίκαια, Κορυδαλλός
- (viii) Ζώνη Η: Ανω Λιόσια, Χαϊδάρι, Πετρούπολη, Καματερό, Φυλή, Ίλιον
- (ix) Ζώνη Θ: Σαλαμίνα, Αμπελάκια



**Σχήμα 5.1** Ζώνες μελέτης για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Πηγή: Αδρακτάς κ.α., 2009)

**Πίνακας 5.2** Εκτίμηση της συνολικής ζήτησης νερού ανά ζώνη μελέτης (m<sup>3</sup>).

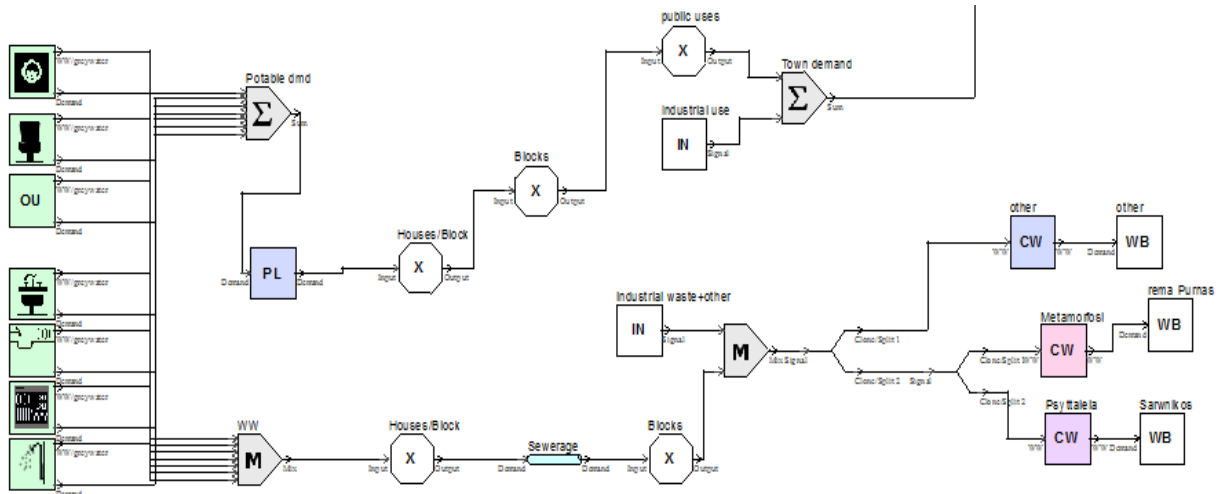
Ζώνες	Ημερήσια Ζήτηση (m <sup>3</sup> /d)	
	Χειμώνας	Θέρος
A	0	25 885
B	0	86 282
Γ	0	56 892
Δ	95 609	118 683
E	507	12 028
ΣΤ	0	36 712
Z	607	9 375
H	383	12 756
Θ	0	6 995

## 5.2 Οδικοί χάρτες

### 5.2.1 Σενάριο αναφοράς – Υπάρχον σύστημα

#### (i) Προσομοίωση στο UWOT

Το συνολικό σύστημα της Αθήνας, που περιγράφηκε στο τέταρτο κεφάλαιο προσομοιώθηκε στο UWOT. Οι βασικοί ταμιευτήρες που τροφοδοτούν την Αθήνα με νερό με βάση τα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ έχουν χωρητικότητες: 904 hm<sup>3</sup> ο Μόρνος σε συνδυασμό με τον Εύηνο, 595 hm<sup>3</sup> η Υλίκη και 43 hm<sup>3</sup> ο Μαραθώνας. Οι μέσες ετήσιες εισροές του Εύηνου, του Μόρνου, της Υλίκης και του Μαραθώνα είναι 274.1, 233.6, 267.9 και 18.7 hm<sup>3</sup> αντίστοιχα. Οι ιστορικές χρονοσειρές των εισροών σε αυτούς τους ταμιευτήρες έχουν μηνιαίο βήμα, που αποτελεί άλλωστε το βήμα της προσομοίωσης στο πρόγραμμα, και συγκεκριμένα ξεκινούν την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 1996 και τελειώνουν την 1<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου του 2010 (ΕΜΠ & ΕΥΔΑΠ). Στο εσωτερικό υδραγωγείο χρησιμοποιήθηκε ένας τύπος νοικοκυριού με τις συσκευές που αντιστοιχούν στο μέσο όρο των σπιτιών της Αθήνας (Rozos and Makropoulos, 2012) (Σχήμα 5.2). Τα ακάθαρτα απόβλητα αυτού του σπιτιού, αφού αναχθούν στη συνολική ποσότητα της πόλης, καταλήγουν στις δύο βασικές μονάδες επεξεργασίας, της Ψυττάλειας και της Μεταμόρφωσης.

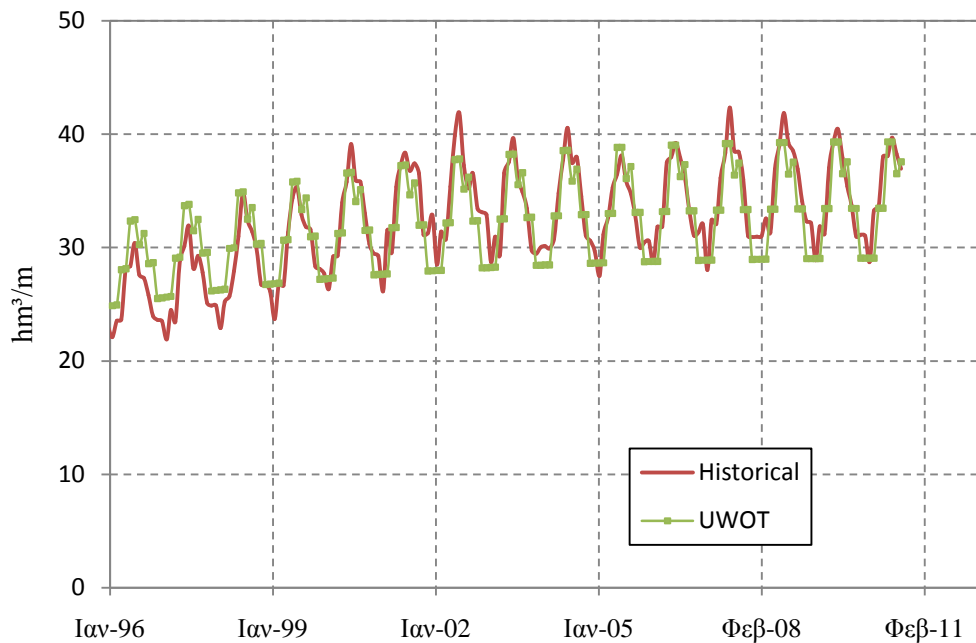


**Σχήμα 5.2** Προσομοίωση του υδρευτικού και αποχετευτικού δικτύου της Αθήνας στο UWOT.

Ωστόσο, επειδή μηνιαίες χρονοσειρές του πληθυσμού και της συχνότητας χρήσης των συσκευών, δεν υπάρχουν για την Αθήνα, κατασκευάστηκαν τέτοιες χρονοσειρές κάνοντας λογικές υποθέσεις και ελέγχοντας τελικά την προσαρμογή της ζήτησης του πόσιμου νερού, που προκύπτει από το πρόγραμμα, στα ιστορικά στοιχεία της ζήτησης που είναι γνωστή από τα διυλιστήρια (Σχήμα 5.3). Εκτός από τη συνολική ζήτηση στα διυλιστήρια, είναι γνωστός ο μέσος πληθυσμός, που εξυπηρετείται ετησίως αλλά και η κατανομή της ζήτησης σε οικιακές και μη οικιακές χρήσεις. Οι μη οικιακές χρήσεις αποτελούν το 35% της συνολικής ζήτησης χωρίς σημαντική εποχιακή διακύμανση (Efstratiadis et al., 2009).

Οι χρονοσειρές του πληθυσμού και συχνότητας χρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν (Rozos and Makropoulos, 2012), λαμβάνουν υπόψιν κάποιες διακυμάνσεις. Σε ότι αφορά στον πληθυσμό, η πρώτη διακύμανση είναι εποχιακή και αφορά τη μείωση του πληθυσμού λόγω των καλοκαιρινών διακοπών. Ο πληθυσμός μειώνεται στο 90% και 95% του μεγίστου το μήνα Αύγουστο και Σεπτέμβριο αντίστοιχα. Η δεύτερη διακύμανση αφορά στην αύξηση του πληθυσμού από 3.120 σε 3.260 εκατομμύρια από το 2001 μέχρι το 2010 (Efstratiadis et al., 2009). Σε ότι αφορά στη συχνότητα των χρήσεων, η πρώτη διακύμανση είναι εποχιακή και οφείλεται στη συχνότερη χρήση ορισμένων συσκευών κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών του χρόνου. Η δεύτερη διακύμανση αφορά στην κατά κεφαλήν αύξηση της κατανάλωσης,

που παρατηρείται από το 1996 και θα μπορούσε να οφείλεται σε κοινωνικο - οικονομικούς παράγοντες.



**Σχήμα 5.3** Σύγκριση ιστορικής χρονοσειράς και του μοντέλου για τη ζήτηση του πόσιμου νερού στην Αθήνα.

(ii) Κάλυψη αναγκών με γεωτρήσεις και αφαλατώσεις

Σήμερα, οι συνολικές ανάγκες σε νερό της περιοχής μελέτης δεν ικανοποιούνται αποκλειστικά με πόσιμο νερό της ΕΥΔΑΠ. Οι βιομηχανίες καταναλώνουν σε μεγάλο ποσοστό νερό γεωτρήσεων καθώς επίσης και θαλασσινό νερό αφού πρώτα υποστεί αφαλάτωση. Επίσης, πολλοί δήμοι χρησιμοποιούν γεωτρήσεις για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών είτε καλλιεργειών είτε άλλων αστικών χρήσεων. Νερό γεωτρήσεων καταναλώνεται ακόμα για την άρδευση νησίδων και πρανών αυτοκινητοδρόμων.

- Για τις ανάγκες άρδευσης των καλλιεργειών στις περιοχές του Θριάσιου Πεδίου, των Μεγάρων και της Σαλαμίνας (§4.3.2) χρησιμοποιούνται γεωτρήσεις βάθους 120 m στο Θριάσιο και 150-250 m στα Μέγαρα (Αδρακτάς κ.α., 2009). Για τη Σαλαμίνα λήφθηκε μέσο βάθος γεωτρήσεων 100 m και για τα Μέγαρα 180 m.

- Για την άρδευση των νησίδων και των πρανών της Αττικής Οδού (§4.3.6) υπολογίστηκε η παροχή των γεωτρήσεων μέσου βάθους 150 m για το διάστημα 5 μηνών το χρόνο, από 15/4 έως 15/9 (Αττικές Διαδρομές ΑΕ).
- Για τις αστικές χρήσεις (άρδευση πρασίνου κ.λ.π.) έγινε η παραδοχή, λόγω έλλειψης στοιχείων, ότι το ποσοστό των συνολικών αναγκών (§4.3.7) που καλύπτονται σήμερα με γεωτρήσεις (μέσου βάθους περίπου 100 m) είναι περίπου το 30%. Αυτή η παραδοχή στηρίζεται στη σημερινή έλλειψη νερού, που παρουσιάζεται σε πολλούς δήμους με αποτέλεσμα το πράσινο σε πολλά πάρκα και χώρους αναψυχής να τείνει να εκλείψει.
- Σε ότι αφορά τις βιομηχανίες υπολογίστηκαν αναλυτικά οι γεωτρήσεις και αφαλατώσεις, που πραγματοποιούνται στις τέσσερις μεγάλες υδροβόρες βιομηχανίες του Θριασίου Πεδίου: Χαλυβουργική ΑΕ, Χαλυβουργία Ελλάδος, ΕΛΠΕ Ασπροπύργου και ΕΛΠΕ Ελευσίνας (Αδρακτάς κ.α., 2009). Η Χαλυβουργική ΑΕ χρησιμοποιεί περίπου 500 000 m<sup>3</sup> υφάλμυρου νερού γεωτρήσεων ετησίως αφού πρώτα το αφαλατώσει. Η Χαλυβουργία Ελλάδος χρησιμοποιεί 1200 m<sup>3</sup> ημερησίως υφάλμυρου νερού γεωτρήσεων ενώ τα ΕΛΠΕ Ασπροπύργου αφαλατώνουν 800 m<sup>3</sup> θαλασσινού νερού ημερησίως. Τέλος, τα ΕΛΠΕ Ελευσίνας αφαλατώνουν περίπου 850 000 m<sup>3</sup> ετησίως υφάλμυρου νερού, που προκύπτει από γεωτρήσεις.

Για τον υπολογισμό της ενέργειας άντλησης, που απαιτείται στις γεωτρήσεις χρησιμοποιήθηκε η Σχέση (5.1) ενώ για την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης λήφθηκε η κατανάλωση 4 kWh/m<sup>3</sup> για το θαλασσινό νερό (1025kg/m<sup>3</sup>) και 0.95 kWh/m<sup>3</sup> για το υφάλμυρο νερό (1012 kg/m<sup>3</sup>) (Fane).

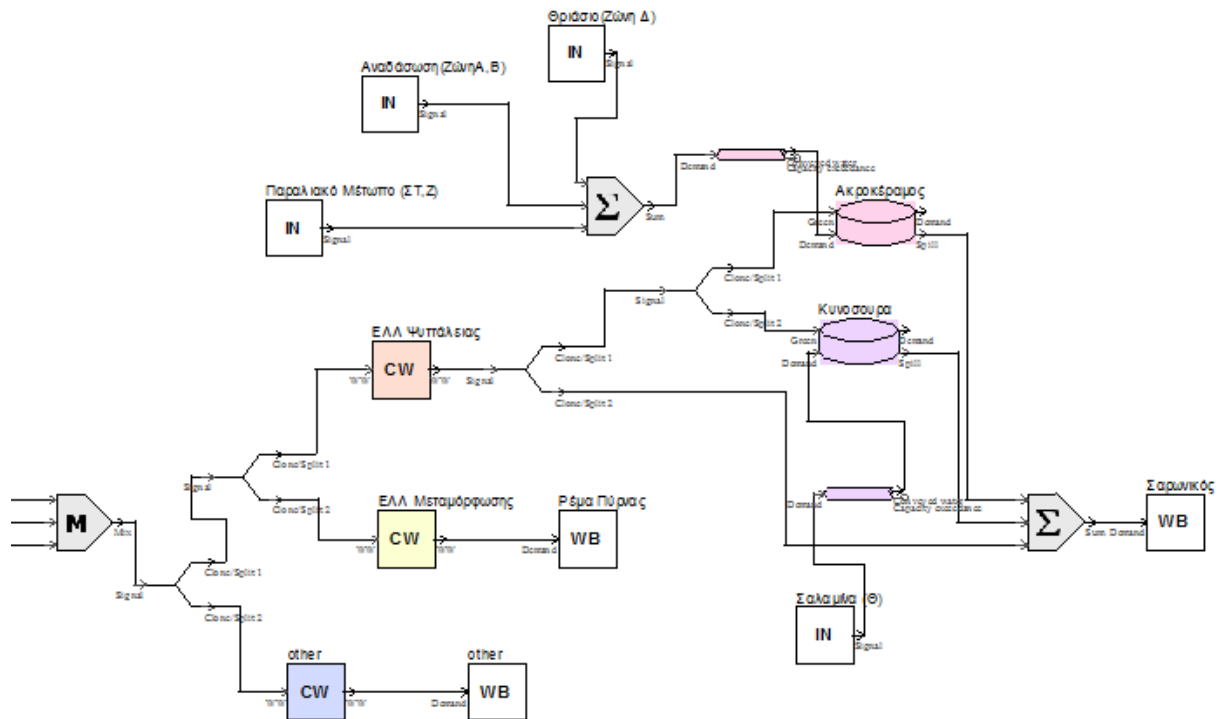
$$E = \frac{\rho g V H}{n} \quad (5.1)$$

### 5.2.2 Οδικός Χάρτης 1

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, για τη δημιουργία ενός οδικού χάρτη απαιτείται αρχικά η μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης, ο καθορισμός των στόχων σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα και ο προσδιορισμός των ενδιάμεσων σταδίων. Ο οδικός χάρτης 1 αποτελεί μια πρώτη, συντηρητική και ταυτόχρονα ρεαλιστική προσέγγιση στην εφαρμογή της

επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων στην Αθήνα. Υπολογίζεται ότι θα διαρκέσει τουλάχιστον μία 20ετία η ολοκλήρωσή του με βάση παρόμοια προγράμματα άλλων χωρών. Λαμβάνοντας υπόψιν την υφιστάμενη κατάσταση στην οποία δεν υπάρχει καθόλου επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων και με δεδομένη τη δυσκολία, που έχει παρουσιαστεί σε άλλες χώρες εφαρμογής παρόμοιων σχεδίων να αντικατασταθούν οι συμβατικές πηγές νερού με ανακτώμενο, τίθεται ως στόχος η κάλυψη των υπολογισμένων αναγκών της περιοχής μελέτης σε ποσοστό περίπου 30%. Οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζεται ο οδικός χάρτης είναι:

- (i) Βασικός πυλώνας του σχεδίου είναι η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της Ψυττάλειας κυρίως διότι λόγω της δυναμικότητάς της, θα διατίθεται το μεγαλύτερο μέρος της παροχής του ανακτώμενου νερού από αυτή αλλά και εξαιτίας της εγγύτητάς της στην περιοχή μελέτης.
  - (ii) Η εγκατάσταση της Μεταμόρφωσης εντάσσεται και εκείνη στο σχέδιο προκειμένου να αξιοποιηθεί η υψομετρική της θέση (+180m).
  - (iii) Οι εγκαταστάσεις των Μεγάρων και του Θριασίου συνυπολογίζονται σε προχωρημένα στάδια του προγράμματος.
  - (iv) Για κάθε φάση του οδικού χάρτη εξετάζεται η ικανοποίηση των αναγκών κάθε ζώνης για κάθε εποχή του έτους (χειμερινή, ενδιάμεση, θερινή).
- Με βάση τα παραπάνω επιλέγεται σε πρώτη φάση (Σχήμα 5.4) η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων από την Ψυττάλεια που θα ανέρχεται συνολικά σε 55 000 m<sup>3</sup> την ημέρα κατά την θερινή περίοδο και σε 18 600 m<sup>3</sup> κατά τη χειμερινή περίοδο (Πίνακας 5.3). Οι παροχές αυτές θα εξυπηρετούν τις ανάγκες για αναδάσωση στο όρος Αιγάλεω (Ζώνη Α και Β), τις βιομηχανικές χρήσεις στο Θριάσιο πεδίο και στην περιοχή του Κερατσινίου και της Δραπετσώνας (Ζώνες Δ και Ζ αντίστοιχα) καθώς και τις αρδευτικές ανάγκες είτε καλλιεργειών στο Θριάσιο και στη Σαλαμίνα (Ζώνες Δ και Θ αντίστοιχα), είτε αστικού πρασίνου και αναπλάσεων στο παραλιακό μέτωπο (Ζώνη ΣΤ) και στην Ζώνη Ζ.



Σχήμα 5.4 Πρώτη φάση του οδικού χάρτη 1.

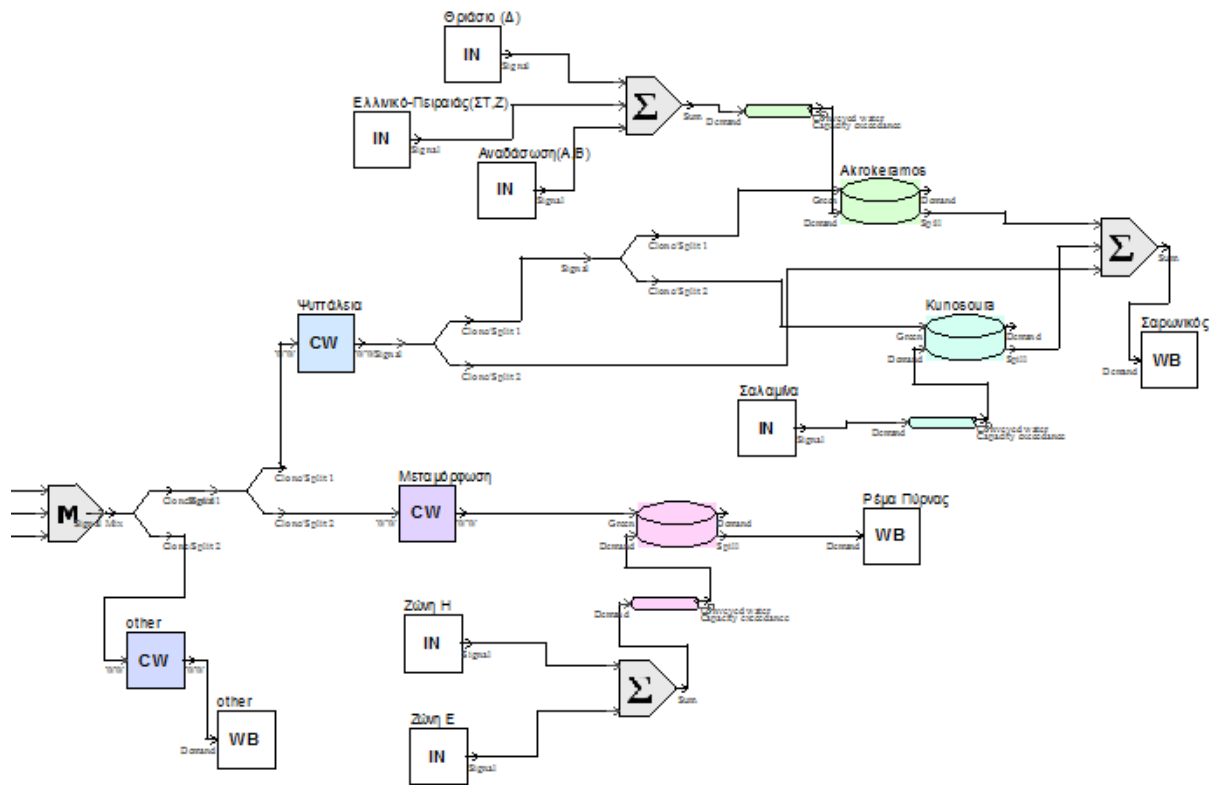
Πίνακας 5.3 Πρώτη φάση οδικού χάρτη 1: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα της ΕΕΛ της Ψυττάλειας ( $m^3$ ).

	Χειμερινή	Θερινή
Ζώνη Α	0	3000
Ζώνη Β	0	11000
Ζώνη Δ	18000	21000
Ζώνη Θ	0	3000
Ζώνη ΣΤ	0	8000
Ζώνη Ζ	600	9000
Σύνολο	18600	55000

- Σε δεύτερη φάση (Σχήμα 5.5) προστίθεται στο σύστημα ένα μέρος της εκροής της εγκατάστασης της Μεταμόρφωσης, αφού πρώτα έχει υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία, το οποίο ανέρχεται περίπου σε  $25\ 000\ m^3$  την ημέρα κατά τη θερινή περίοδο και σε  $880\ m^3$  το χειμώνα (Πίνακας 5.4). Συγκεκριμένα, τροφοδοτούνται με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα λύματα οι περιοχές, που βρίσκονται κοντά στην



εγκατάσταση, όπως η Λυκόβρυση, η Μεταμόρφωση, η Ν. Φιλαδέλφεια κ.λ.π. (Ζώνη E) καθώς και η περιοχή, που περιλαμβάνει τα Άνω Λιόσια, τη Φυλή, το Ίλιον κ.λ.π. (Ζώνη H).



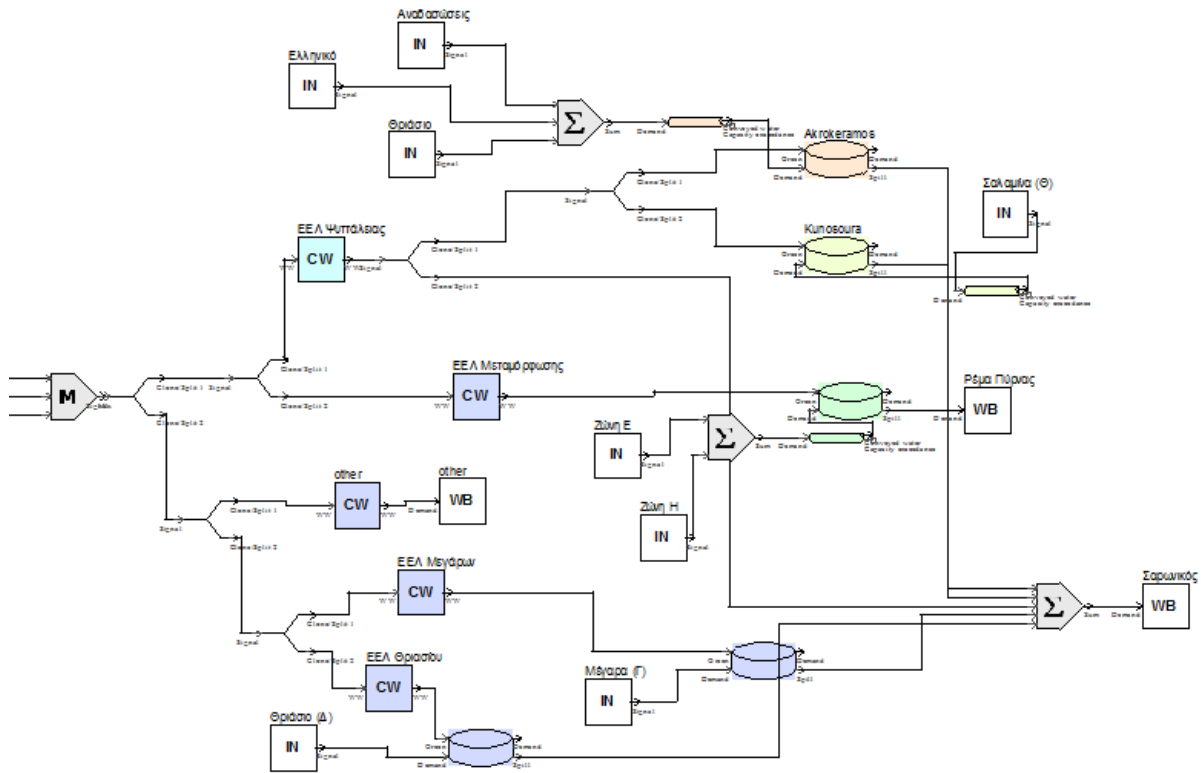
Σχήμα 5.5 Δεύτερη φάση του οδικού χάρτη 1.

**Πίνακας 5.4** Δεύτερη φάση οδικού χάρτη 1: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα της ΕΕΛ της Μεταμόρφωσης (m<sup>3</sup>).

	Χειμερινή	Θερινή
Ζώνη E	500	11900
Ζώνη H	380	12700
Σύνολο	880	24600

- Σε τρίτη φάση προστίθενται στο σύστημα οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας του Θριασίου και των Μεγάρων (Σχήμα 5.6) καλύπτοντας τις τοπικές ανάγκες των

συγκεκριμένων περιοχών, κυρίως τις βιομηχανικές του Θριασίου, δεδομένης και της θέσης της εγκατάστασης πλησίον πολλών βιομηχανιών και των αρδευτικών αναγκών των Μεγάρων (Ζώνες Δ και Γ αντίστοιχα). Οι ποσότητες που επαναχρησιμοποιούνται συνολικά είναι περίπου 18 000 m<sup>3</sup> ημερησίως το καλοκαίρι και 13 000 m<sup>3</sup> το χειμώνα (Πίνακας 5.5).



Σχήμα 5.6 Τρίτη φάση του οδικού χάρτη 1.

Πίνακας 5.5 Τρίτη φάση οδικού χάρτη 1: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα της της ΕΕΛ του Θριασίου και των Μεγάρων (m<sup>3</sup>).

	Χειμερινή	Θερινή
Ζώνη Δ	13000	13000
Ζώνη Γ	0	5000
Σύνολο	13000	18000

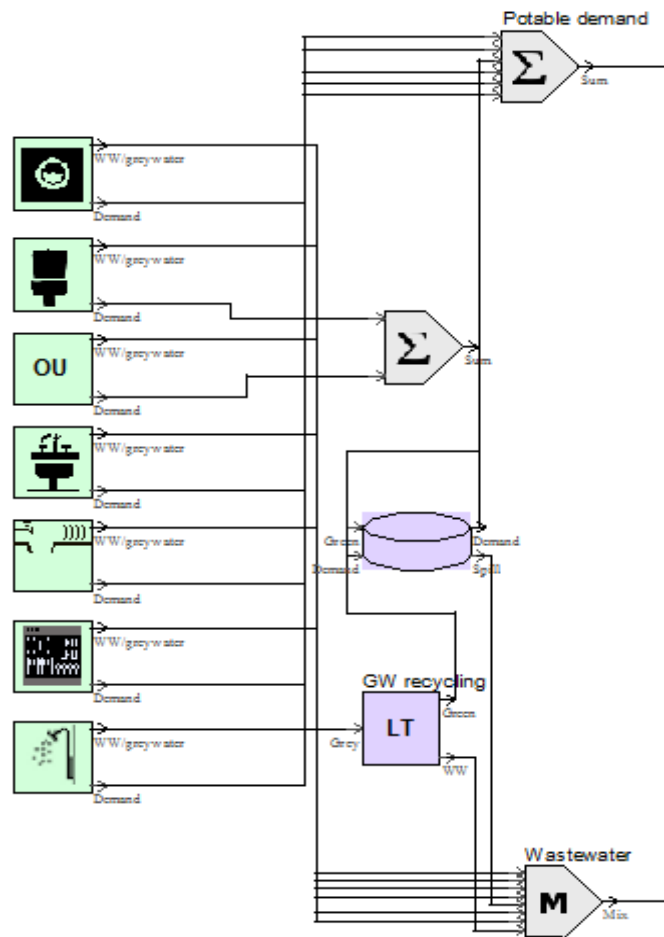
- Σε τέταρτη φάση αυξάνεται η δυναμικότητα κυρίως της εγκατάστασης της Ψυτάλειας και δευτερευόντως του Θριασίου και των Μεγάρων. Σε αυτή τη φάση

υπολογίζεται ότι θα έχουν ολοκληρωθεί οι αναδασώσεις στα όρη Αιγάλεω και Πουκίλλο (Ζώνες Α και Β), οπότε οι αυξημένες παροχές θα τροφοδοτούν τις υπόλοιπες ζώνες. Η θερινή ημερήσια παροχή της Ψυττάλειας αυξάνεται σε 107 000 m<sup>3</sup> από 55 000 m<sup>3</sup> και του Θριασίου και των Μεγάρων σε 36 000 m<sup>3</sup> από 18 000 m<sup>3</sup> (Πίνακας 5.6). Η εγκατάσταση της Μεταμόρφωσης συνεχίζει να τροφοδοτεί τις ζώνες Ε και Η όπως και στη δεύτερη φάση.

**Πίνακας 5.6** Τέταρτη φάση οδικού χάρτη 1: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα στο σύνολο των ζωνών (m<sup>3</sup>).

	Χειμερινή	Θερινή
Ζώνη Δ	40000	80000
Ζώνη Θ	0	3000
Ζώνη ΣΤ	0	15000
Ζώνη Ζ	600	9000
Ζώνη Δ	26000	26000
Ζώνη Γ	0	10000
Ζώνη Ε	500	11900
Ζώνη Η	380	12700
Σύνολο	67480	167600

- Σε πέμπτη φάση εντάσσεται στο σύστημα της Αθήνας ανακύκλωση του γκρίζου νερού σε οικιακό επίπεδο. Επιλέγεται το σύστημα AquaCycle 900 από τη βιβλιοθήκη τεχνολογίας του προγράμματος, το οποίο επεξεργάζεται τις εκροές από τις ντουζιέρες και τις μπανιέρες και τροφοδοτεί με αυτές τις παροχές κυρίως το καζανάκι της τουαλέτας και δευτερευόντως εξωτερικές χρήσεις όπως πότισμα κήπων (Σχήμα 5.7). Η ανακύκλωση του γκρίζου νερού εφαρμόζεται στα τρία από τα δώδεκα σπίτια ενός μπλοκ (περίπου στο 25% των κατοικιών).



Σχήμα 5.7 Οικία με ανακύκλωση γκρίζο νερού στο UWOT.

Σε όλες τις φάσεις που προσομοιώνονται στο πρόγραμμα εισάγονται μηνιαίες χρονοσειρές για τη ζήτηση της κάθε περιοχής-ζώνης, οι οποίες προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψιν τις ημερήσιες θερινές, ενδιάμεσες και χειμερινές ζητήσεις. Οι εκροές της Ψυττάλειας διαχωρίζονται προς δύο προορισμούς: (i) τον Ακροκέραμο στο Κερατσίνι, όπου σήμερα γίνεται η προεπεξεργασία των λυμάτων πριν την είσοδό τους στην Ψυττάλεια, απ' όπου θα τροφοδοτούνται το παραλιακό μέτωπο, η ευρύτερη περιοχή του Πειραιά και το Θριάσιο πεδίο και (ii) στην Κυνόσουρα της Σαλαμίνας για την τροφοδοσία του νησιού. Οι παραπάνω διαδρομές των επεξεργασμένων λυμάτων έχουν προσομοιωθεί στο UWOT με δύο δίκτυα, ένα που ξεκινά από τον Ακροκέραμο και ένα από την Κυνόσουρα (Σχήμα 5.6). Για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών, που απαιτούνται για την παροχή του ανακτώμενου νερού προς αυτές τις περιοχές, αφού εκτιμήθηκαν προσεγγιστικά τα υψόμετρα των συγκεκριμένων ζωνών (Α, Β, Δ, Ζ, ΣΤ και Θ), υπολογίστηκε ένα μέσο υψόμετρο για κάθε

δίκτυο συνεκτιμώντας ταυτόχρονα και το μέγεθος της παροχής που προορίζεται για κάθε περιοχή (80m για το δίκτυο που ξεκινά από την Κυνόσουρα και 70m για το δίκτυο του Ακροκεράμου). Το μήκος των δικτύων εκτιμήθηκε σε 7 και 41 km αντίστοιχα. Για τις εκροές από την ΕΕΛ της Μεταμόρφωσης δεν απαιτείται ενέργεια καθώς η εγκατάσταση βρίσκεται σε υψόμετρο +180m. Το μήκος του δικτύου της Μεταμόρφωσης λήφθηκε 30 km (Αδρακτάς κ.α., 2009). Σε ότι αφορά στα δίκτυα από τις ΕΕΛ του Θριασίου και των Μεγάρων οι ενεργειακές ανάγκες αμελήθηκαν αφενός διότι οι εκροές τους είναι αρκετά μικρές συγκριτικά με αυτές της Ψυττάλειας και αφετέρου διότι η ΕΕΛ του Θριασίου κατασκευάζεται παραλιακά και πλησίον των τεσσάρων μεγάλων υδροβόρων βιομηχανιών που θα εξυπηρετεί (Χαλυβουργική ΑΕ, Χαλυβουργία Ελλάδος, Χάλυψ και τα διυλιστήρια Ασπροπύργου).

Συνοπτικά ο οδικός χάρτης 1 αποτελείται από τις παρακάτω φάσεις (βήματα) (Πίνακας 5.7) όπου αναφέρονται οι μέγιστες θερινές παροχές ανακτώμενου νερού από επεξεργασμένα λύματα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των λυμάτων (ΕΕΛ).

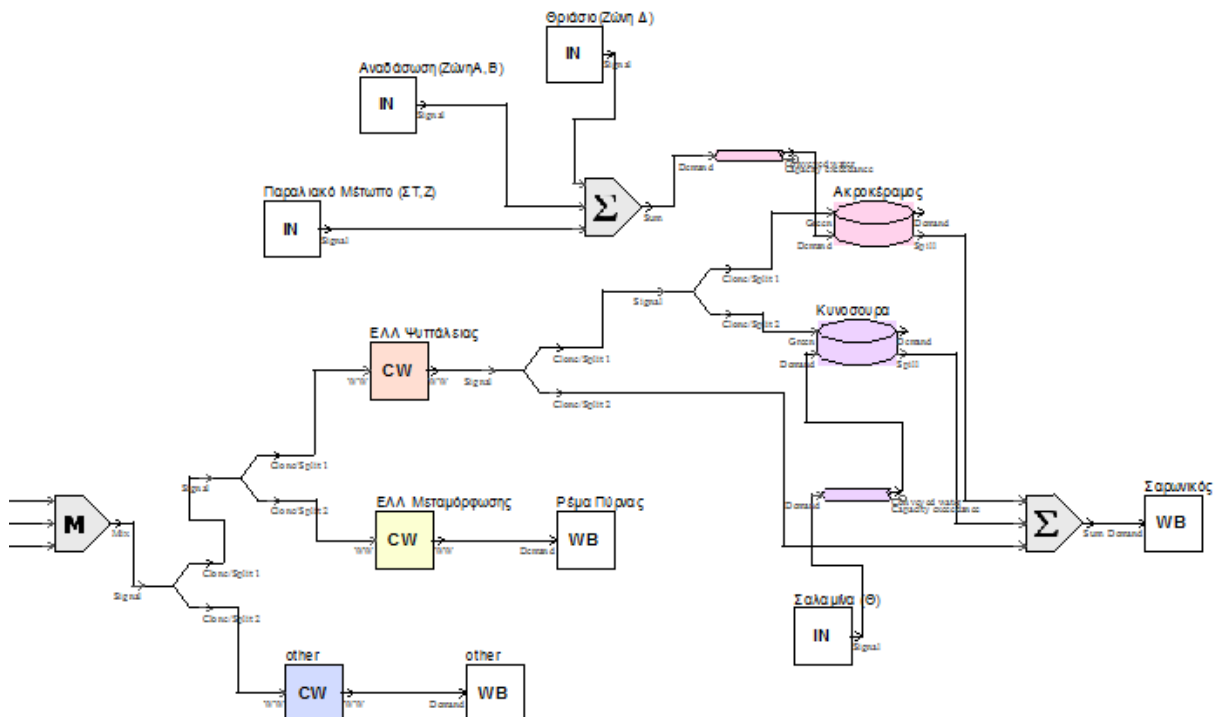
**Πίνακας 5.7** Ημερήσιες παροχές ανακτώμενου από λύματα νερού κατά τα επιμέρους στάδια του οδικού χάρτη 1.

Οδικός Χάρτης 1 (Roadmap 1)	
βήμα 1	55.000 m <sup>3</sup> /d ανακτώμενο νερό από την ΕΕΛ της Ψυττάλειας
βήμα 2	25.000 m <sup>3</sup> /d ανακτώμενο νερό από την ΕΕΛ της Μεταμόρφωσης
βήμα 3	18.000 m <sup>3</sup> /d ανακτώμενο νερό από τις ΕΕΛ του Θριασίου και των Μεγάρων
βήμα 4	αύξηση της δυναμικότητας της ΕΕΛ της Ψυττάλειας (107.000 m <sup>3</sup> /d) και των ΕΕΛ του Θριασίου και των Μεγάρων (36.000 m <sup>3</sup> /d)
βήμα 5	εφαρμογή ανακύκλωσης γκρίζου νερού στο 25% των οικιών

### 5.2.3 Οδικός χάρτης 2

Ο οδικός χάρτης 2 αποτελεί ένα σχέδιο λιγότερο συντηρητικό συγκριτικά με τον οδικό χάρτη 1. Οι περιοχές-ζώνες που εξυπηρετούνται με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων καθώς και τα δίκτυα με τα οποία συνδέονται είναι τα ίδια με τον οδικό χάρτη 1 με τη διαφορά ότι οι παροχές του ανακτώμενου νερού από επεξεργασμένα λύματα είναι αυξημένες σε όλες τις φάσεις του οδικού χάρτη 2. Αναλυτικά οι φάσεις του οδικού χάρτη 2 είναι:

- Σε πρώτη φάση χρησιμοποιείται ένα μέρος των εκροών της Ψυτάλειας (Σχήμα 5.8), αφού πρώτα έχουν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία, το οποίο ανέρχεται σε 75 000 m<sup>3</sup> ημερησίως το καλοκαίρι και 23 600 m<sup>3</sup> το χειμώνα (Πίνακας 5.8). Σε αυτή τη φάση εκτός από τις βιομηχανικές και αρδευτικές ανάγκες των ζωνών Δ, Θ, ΣΤ και Ζ, πραγματοποιείται και αναδάσωση στα όρη Αιγάλεω και Ποικίλλο (Ζώνη Α και Β αντίστοιχα).



Σχήμα 5.8 Πρώτη φάση οδικού χάρτη 2.

**Πίνακας 5.8** Πρώτη φάση οδικού χάρτη 2: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα της ΕΕΛ της Ψυττάλειας (m<sup>3</sup>).

	Χειμερινή	Θερινή
Ζώνη Α	0	3000
Ζώνη Β	0	11000
Ζώνη Δ	23000	41000
Ζώνη Θ	0	3000
Ζώνη ΣΤ	0	8000
Ζώνη Ζ	600	9000
Σύνολο	23600	75000

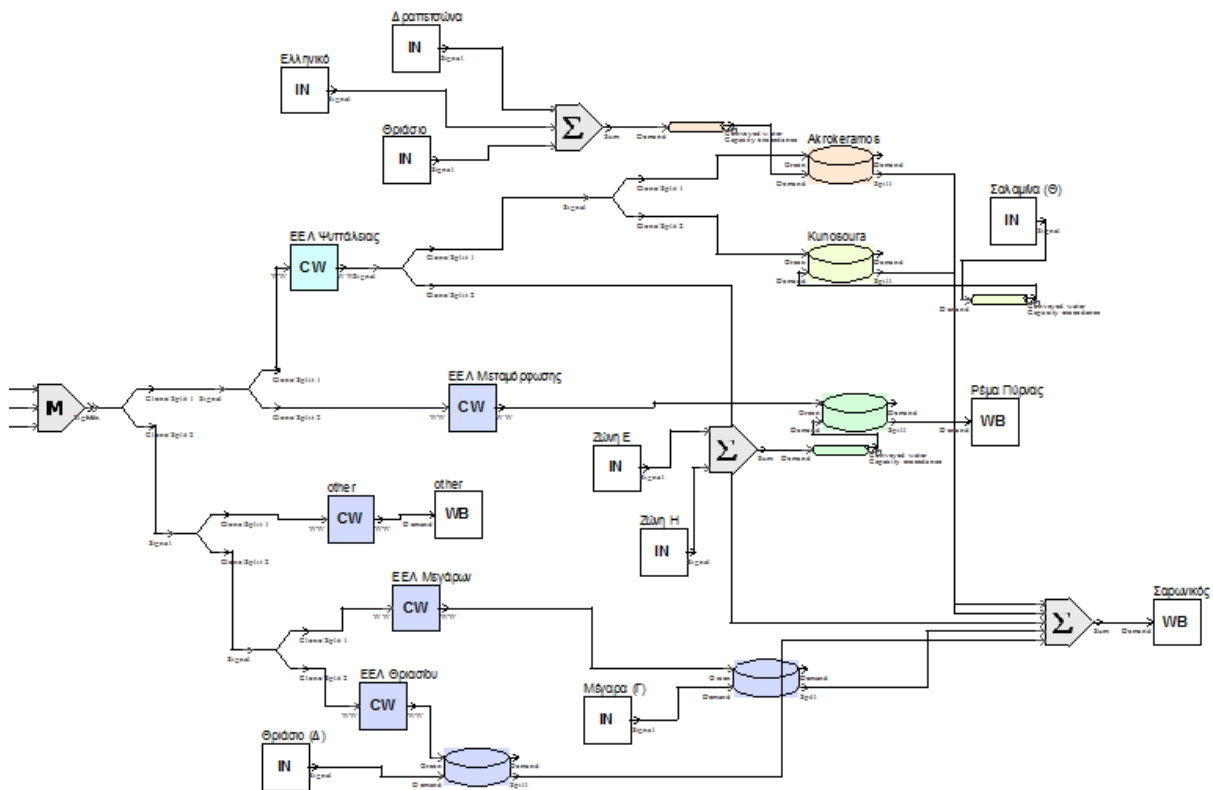
- Σε δεύτερη φάση προστίθεται η εγκατάσταση της Μεταμόρφωσης όπως και στον οδικό χάρτη 1. Η δυναμικότητα αυτή της εγκατάστασης δεν αυξάνεται καθώς καλύπτει τις ανάγκες των περιοχών που εξυπηρετεί (Πίνακας 5.9). Επομένως, οι παροχές σε ανακτώμενο νερό είναι της τάξης των 25 000 m<sup>3</sup> ημερησίως το καλοκαίρι και 880 m<sup>3</sup> το χειμώνα.

**Πίνακας 5.9** Δεύτερη φάση οδικού χάρτη 2: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα της ΕΕΛ της Μεταμόρφωσης (m<sup>3</sup>).

	Χειμερινή	Θερινή
Ζώνη Ε	500	11900
Ζώνη Η	380	12700
Σύνολο	880	24600

- Στην τρίτη φάση αυξάνεται η δυναμικότητα της Ψυττάλειας σε 107 000 m<sup>3</sup> ημερησίως και προστίθενται στο σύστημα οι εγκαταστάσεις των Μεγάρων και του Θριασίου (Σχήμα 5.9) με συνολική μέγιστη θερινή δυναμικότητα 36 000 m<sup>3</sup> ημερησίως (Πίνακας 5.10). Οι ζώνες που εξυπηρετούνται συνολικά σε αυτή τη φάση από τις τέσσερις εγκαταστάσεις είναι το Θριάσιο, η Σαλαμίνα, η ευρύτερη περιοχή του Πειραιά, το παραλιακό μέτωπο, τα Μέγαρα και οι περιοχές πλησίον της

Μεταμόρφωσης. Οι αναδασώσεις σε αυτή τη φάση υπολογίζεται ότι έχουν ολοκληρωθεί (Ζώνες Α και Β).



Σχήμα 5.9 Τρίτη φάση οδικού χάρτη 2.

Πίνακας 5.10 Τρίτη φάση οδικού χάρτη 2: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα των ΕΕΛ της Ψυττάλειας, Μεταμόρφωσης, Θριάσιου και Μεγάρων (m<sup>3</sup>).

	Χειμερινή	Θερινή
Ζώνη Δ	40000	80000
Ζώνη Θ	0	3000
Ζώνη ΣΤ	0	15000
Ζώνη Ζ	600	9000
Ζώνη Δ	26000	26000
Ζώνη Γ	0	10000
Ζώνη Ε	500	11900
Ζώνη Η	380	12700
Σύνολο	67480	167600



- Στην τέταρτη φάση αυξάνεται περαιτέρω η δυναμικότητα της εγκατάστασης της Ψυττάλειας σε 135 000 m<sup>3</sup> ημερησίως κατά τους θερινούς μήνες (Πίνακας 5.11). Οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις συμμετέχουν στο σύστημα όπως στην τρίτη φάση.

**Πίνακας 5.11** Τέταρτη φάση οδικού χάρτη 2: Ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα της ΕΕΛ της Ψυττάλειας (m<sup>3</sup>).

	Χειμερινή	Θερινή
Δ	50000	90000
Θ	0	6000
ΣΤ	0	30000
Z	600	9000
Σύνολο	50600	135000

- Ομοίως με τον οδικό χάρτη 1, ως τελικό στάδιο του σχεδίου εφαρμόζεται ανακύκλωση γκρίζου νερού σε ένα ποσοστό των οικιών της Αθήνας. Συνοπτικά, παρουσιάζονται οι πέντε φάσεις του οδικού χάρτη 2 στον Πίνακα 5.12 όπου περιλαμβάνονται οι μέγιστες θερινές ημερήσιες παροχές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των λυμάτων.

**Πίνακας 5.12** Ημερήσιες παροχές ανακτώμενου από λύματα νερού κατά τα επιμέρους στάδια του οδικού χάρτη 2.

Οδικός Χάρτης 2 (Roadmap 2)	
βήμα 1	75.000 m <sup>3</sup> /d ανακτώμενο νερό από την ΕΕΛ της Ψυττάλειας
βήμα 2	25.000 m <sup>3</sup> /d ανακτώμενο νερό από την ΕΕΛ της Μεταμόρφωσης
βήμα 3	αύξηση της δυναμικότητας της ΕΕΛ της Ψυττάλειας (107.000 m <sup>3</sup> /d) και προσθήκη των ΕΕΛ του Θριασίου και των Μεγάρων (36.000 m <sup>3</sup> /d)
βήμα 4	αύξηση της δυναμικότητας της ΕΕΛ της Ψυττάλειας (135.000 m <sup>3</sup> /d)
βήμα 5	εφαρμογή ανακύκλωσης γκρίζου νερού στο 25% των οικιών

### 5.2.4 Οδικός χάρτης 3

Ο Οδικός χάρτης 3 διαφοροποιείται σε σχέση με τους άλλους δύο χάρτες ως προς την ανακύκλωση του γκρίζου νερού σε οικιακό επίπεδο. Επιλέγεται η σταδιακή εφαρμογή αυτής της ανακύκλωσης σε δύο στάδια: (i) στη Φάση 3 όπου εφαρμόζεται ανακύκλωση νερού σε ένα από τα δώδεκα σπίτια που αποτελούν ένα μπλοκ σπιτιών στο UWOT (houses/block) και (ii) στη Φάση 5 όπου εφαρμόζεται σε τρία από τα δώδεκα συνολικά σπίτια ενός μπλοκ και επομένως σε ποσοστό 25% (Πίνακας 5.13). Οι παροχές των επεξεργασμένων λυμάτων, που επαναχρησιμοποιούνται στην περιοχή μελέτης, είναι όμοιες με αυτές του οδικού χάρτη 1.

**Πίνακας 5.13** Ημερήσιες παροχές ανακτώμενου από λύματα νερού κατά τα επιμέρους στάδια του οδικού χάρτη 3.

Οδικός Χάρτης 3 (Roadmap 3)	
βήμα 1	55.000 m <sup>3</sup> /d ανακτώμενο νερό από την ΕΕΛ της Ψυττάλειας
βήμα 2	25.000 m <sup>3</sup> /d ανακτώμενο νερό από την ΕΕΛ της Μεταμόρφωσης και 18.000 m <sup>3</sup> /d από τις ΕΕΛ του Θριασίου και των Μεγάρων
βήμα 3	εφαρμογή ανακύκλωσης γκρίζου νερού στο 8.5% των οικιών
βήμα 4	αύξηση της δυναμικότητας της ΕΕΛ της Ψυττάλειας (107.000 m <sup>3</sup> /d) και των ΕΕΛ του Θριασίου και των Μεγάρων (36.000 m <sup>3</sup> /d)
βήμα 5	εφαρμογή ανακύκλωσης γκρίζου νερού στο 25% των οικιών

## 5.3 Αποτελέσματα

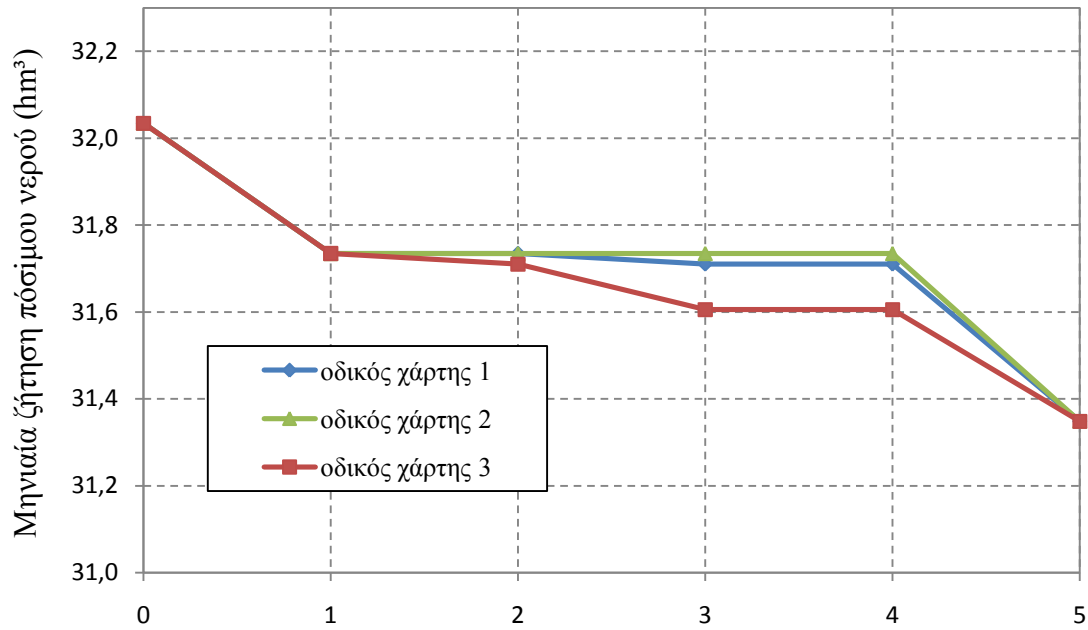
### 5.3.1 Μεταβολή της ζήτησης του πόσιμου νερού στην Αθήνα

Λόγω της χρήσης ανακτώμενου νερού από επεξεργασμένα λύματα παρατηρείται μείωση της ζήτησης του πόσιμου νερού της ΕΥΔΑΠ από 32.03 hm<sup>3</sup> μηνιαίως, που είναι η σημερινή κατανάλωση, σε 31.35 hm<sup>3</sup> (Σχήμα 5.10). Η μείωση αυτή οφείλεται αρχικά στην αντικατάσταση πόσιμου νερού με ανακτώμενο από επεξεργασμένα λύματα κυρίως στις βιομηχανίες. Οι μεγάλες υδροβόρες βιομηχανίες, που βρίσκονται στο Θριάσιο Πεδίο και που καταναλώνουν σημαντική ποσότητα νερού της ΕΥΔΑΠ, είναι η Χαλυβουργική ΑΕ, η

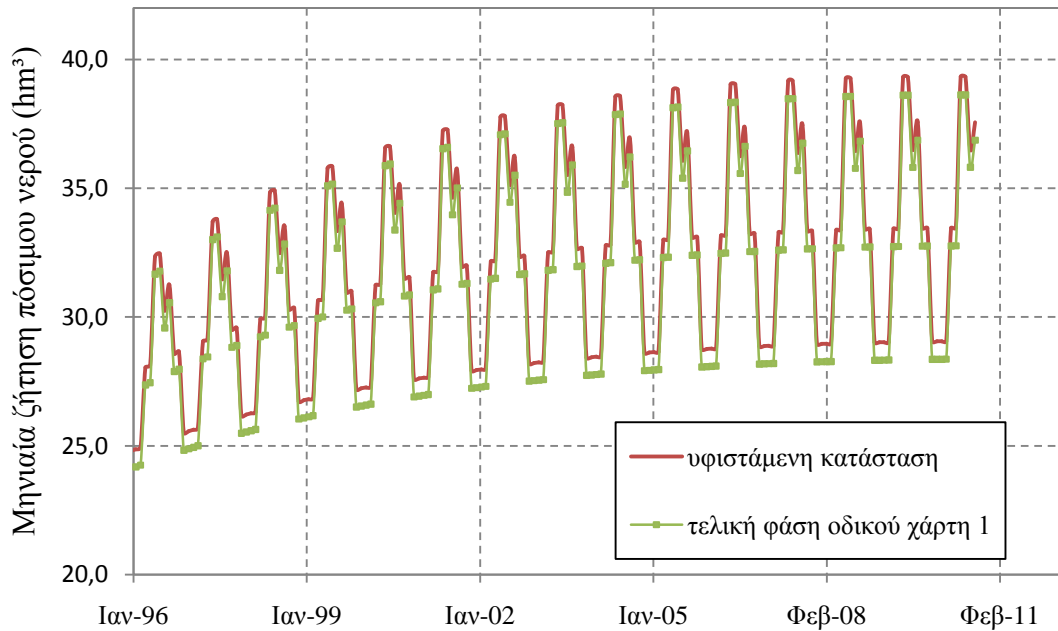
Χαλυβουργία Ελλάδος, τα Ελληνικά Πετρέλαια (ΕΛΠΕ) του Ασπροπύργου και της Ελευσίνας. Η συνολική ποσότητα πόσιμου νερού που καταναλώνουν σήμερα οι τέσσερις βιομηχανίες ανέρχεται σε 5378 m<sup>3</sup> ημερησίως (Αδρακτάς κ.α., 2009). Επιπλέον, εκτιμώντας ότι και στην περιοχή της Δραπετσώνας και του Κερατσινίου οι βιομηχανίες καταναλώνουν πόσιμο νερό σε ποσοστό 30% της συνολικής τους κατανάλωσης (περίπου 15 000 m<sup>3</sup> ημερησίως), προκύπτει ότι η συνολική κατανάλωση πόσιμου νερού από τις βιομηχανίες ανέρχεται σε περίπου 10 000 m<sup>3</sup> ημερησίως. Αυτή η κατανάλωση μπορεί να ικανοποιηθεί με ανακτώμενο νερό από το πρώτο κιάλας στάδιο του κάθε οδικού χάρτη και γι' αυτό παρατηρείται η μείωση της ζήτησης του πόσιμου νερού από την υφιστάμενη κατάσταση μέχρι και το πρώτο στάδιο. Η μείωση της ζήτησης ενδέχεται στην πραγματικότητα να είναι λίγο μεγαλύτερη καθώς αφενός θεωρήθηκε ότι οι αστικές χρήσεις, όπως η άρδευση πρασίνου, σήμερα ικανοποιούνται κυρίως με γεωτρήσεις και επομένως δεν επηρεάζουν τη ζήτηση του πόσιμου νερού της ΕΥΔΑΠ και αφετέρου κατά τον υπολογισμό της βιομηχανικής κατανάλωσης πόσιμου νερού ελήφθησαν κυρίως οι μεγάλες υδροβόρες βιομηχανίες.

Στους οδικούς χάρτες 1 και 2 παρατηρείται επίσης μείωση της ζήτησης στο τελικό στάδιο 5, όπου εφαρμόζεται η ανακύκλωση γκρίζου νερού στις οικίες ενώ στον οδικό χάρτη 3 εμφανίζεται επιπλέον μείωση ήδη από το στάδιο 3 όπου η ανακύκλωση του γκρίζου νερού εφαρμόζεται σε ποσοστό 8.5% των οικιών για να αυξηθεί σε 25% στο στάδιο 5.

Η μείωση της ζήτησης του πόσιμου νερού από την υφιστάμενη κατάσταση μέχρι την ολοκλήρωση του οδικού χάρτη 1 εμφανίζεται επίσης και στις μηνιαίες χρονοσειρές που προκύπτουν από την προσομοίωση στο UWOT κατά την περίοδο 1-1-1996 μέχρι 1-9-2010 (Σχήμα 5.11).



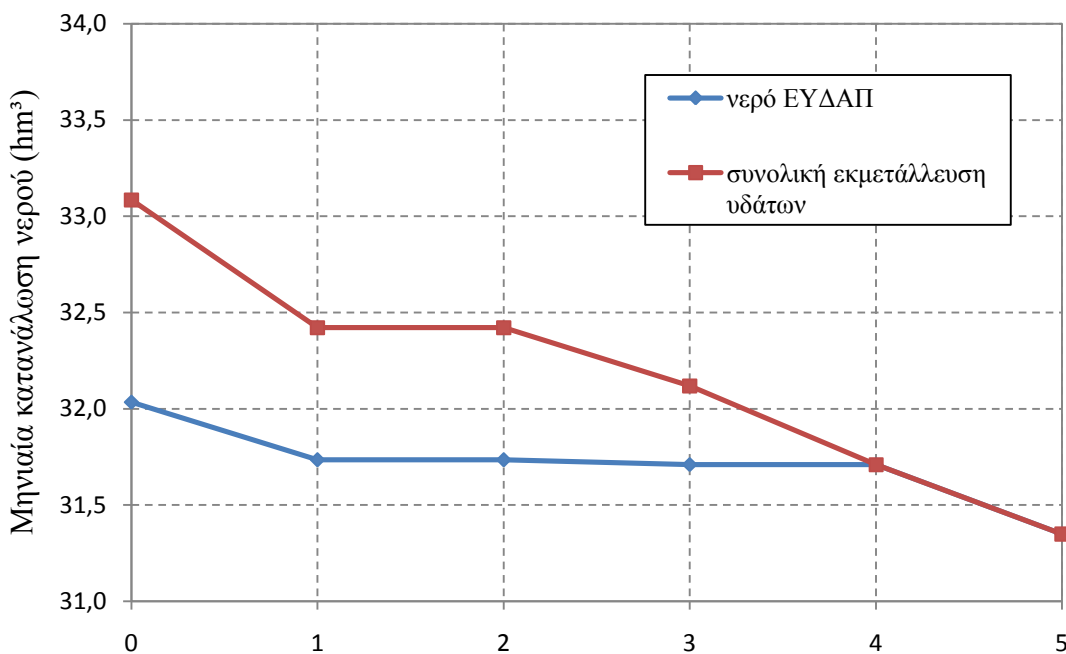
Σχήμα 5.10 Ζήτηση πόσιμου νερού (ΕΥΔΑΠ) κατά τα πέντε στάδια των οδικών χαρτών.



Σχήμα 5.11 Χρονοσειρές ζήτησης πόσιμου νερού στην υφιστάμενη κατάσταση και στο τελικό στάδιο του οδικού χάρτη 1.

### 5.3.2 Μεταβολή της συνολικής εκμετάλλευσης υδάτων

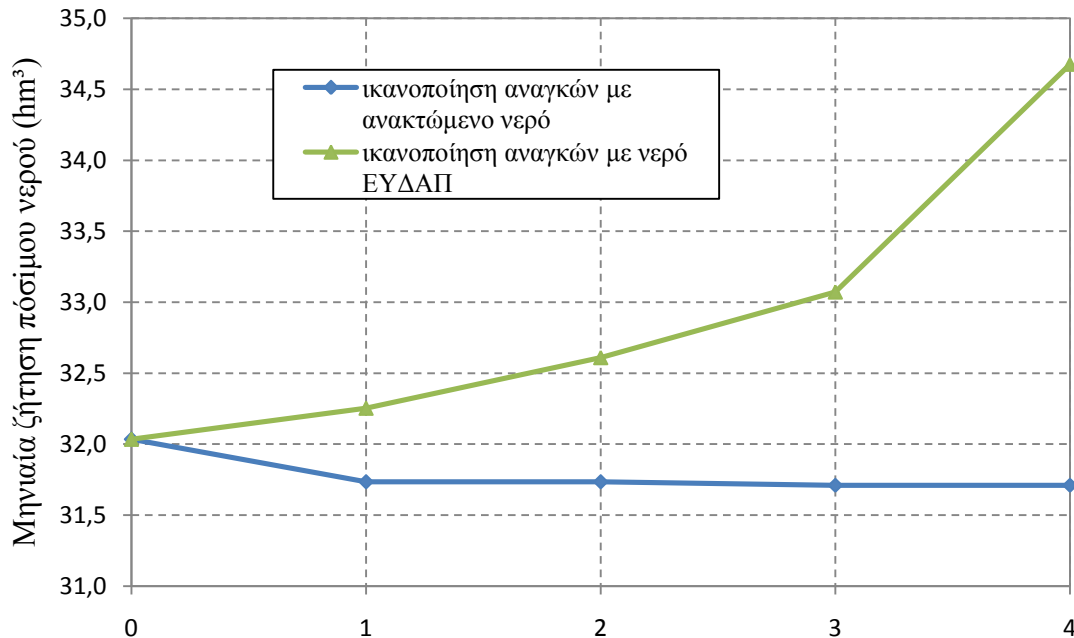
Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζεται η μείωση τόσο της ζήτησης του πόσιμου νερού όσο και της συνολικής εκμετάλλευσης ύδατος από το περιβάλλον (που περιλαμβάνει το πόσιμο νερό της ΕΥΔΑΠ, τις γεωτρήσεις και το θαλασσίνο νερό που χρησιμοποιούνται στην περιοχή μελέτης) κατά τις φάσεις του οδικού χάρτη 1. Παρατηρείται ότι η μείωση στη συνολική ποσότητα του νερού, που αφαιρείται από το περιβάλλον (abstractions) και που οφείλεται στην αντικατάστασή του με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα λύματα, είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη μείωση μόνο του πόσιμου νερού.



**Σχήμα 5.12** Μεταβολή πόσιμου και συνολικής ποσότητας υδάτων που αντλούνται από το περιβάλλον κατά τα στάδια του οδικού χάρτη 1.

Στη συνέχεια συγκρίνεται η περίπτωση κάλυψης των αναγκών, είτε των υφιστάμενων (άρδευση καλλιεργειών και βιομηχανία) είτε των μελλοντικών (αναπλάσεις και αναδασώσεις) στην πρώτη περίπτωση με το σχέδιο της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων και στη δεύτερη περίπτωση αποκλειστικά με πόσιμο νερό της ΕΥΔΑΠ. Όπως φαίνεται στο

Σχήμα 5.13 λόγω της χρήσης του ανακτώμενου νερού από τα λύματα μία αρκετά μεγάλη ποσότητα νερού (περιοχή ανάμεσα στις δύο καμπύλες) διατίθενται τελικά στο περιβάλλον και στα οικοσυστήματα (ecosystem services), η οποία διαφορετικά θα αντλούνταν από τους υδατικούς πόρους λόγω της μεγάλης αύξησης της ζήτησης του νερού.



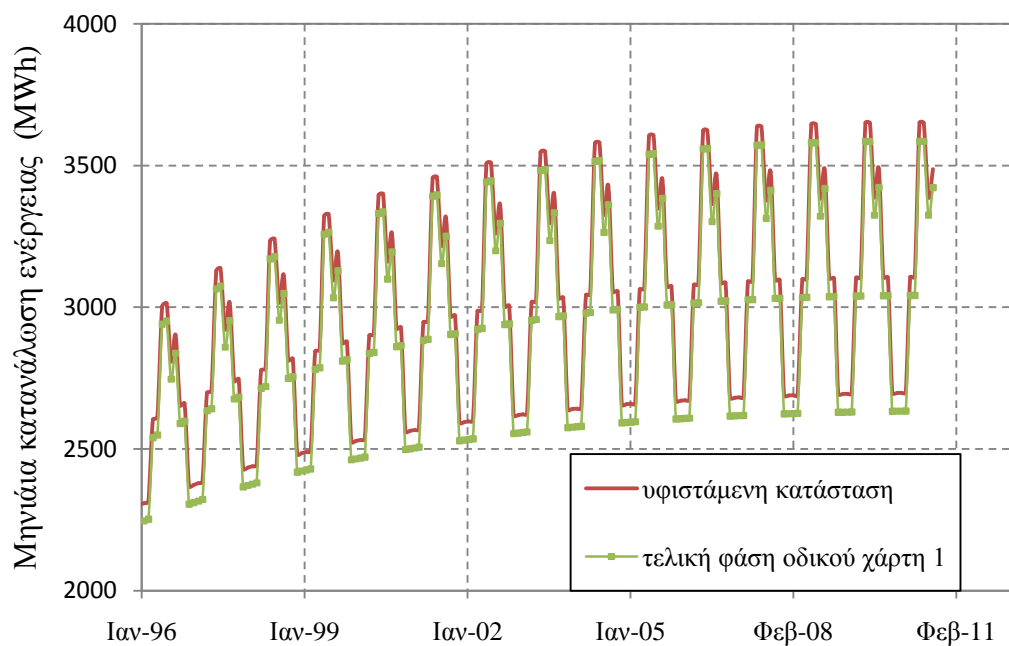
**Σχήμα 5.13** Ζήτηση πόσιμου νερού (ΕΥΔΑΠ) για την ικανοποίηση υφιστάμενων και μελλοντικών αναγκών με ανακτώμενο νερό ή αποκλειστικά με πόσιμο.

### 5.3.3 Μεταβολή ενεργειακών αναγκών για την άντληση του πόσιμου και του ανακτώμενου νερού από λύματα

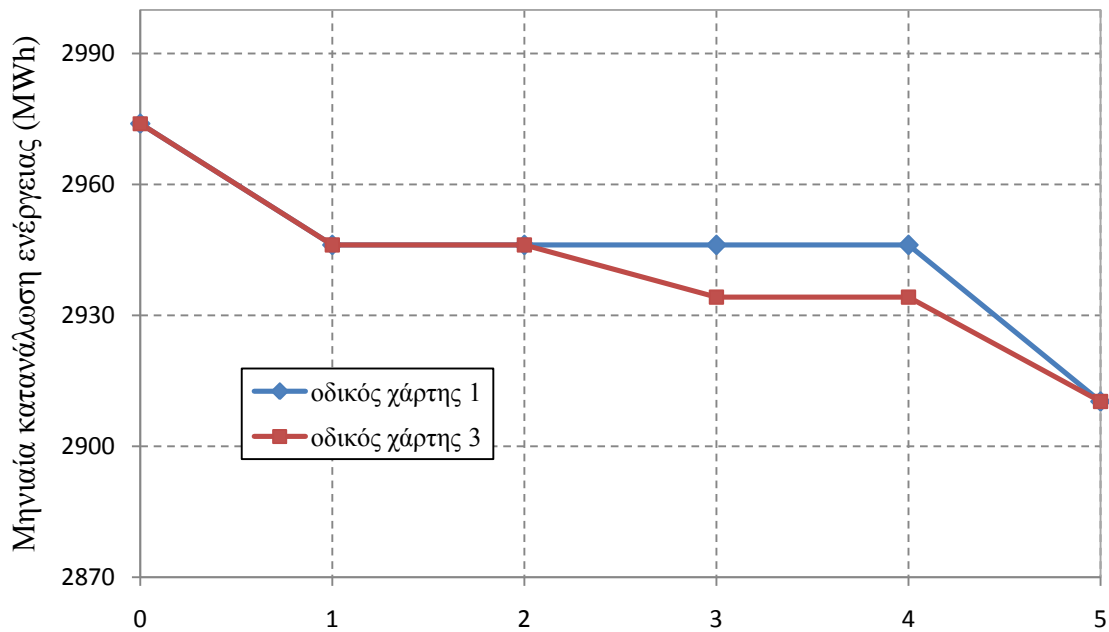
Λόγω της μείωσης στη ζήτηση του πόσιμου νερού της ΕΥΔΑΠ εξαιτίας της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων, σημειώνεται μείωση και στην ενέργεια που απαιτείται για την άντληση του νερού στο εξωτερικό υδραγωγείο του συστήματος της Αθήνας. Αυτή η ενέργεια περιλαμβάνει τόσο την άντληση από τη λίμνη της Υλίκης που είναι ενεργοβόρα όσο και από τις βοηθητικές γεωτρήσεις της Μαυροσουβάλας και των Βασιλικών. Στο Σχήμα 5.14 παρουσιάζεται η μείωση στη μηνιαία χρονοσειρά της ενέργειας, που καταναλώνεται στο εξωτερικό υδραγωγείο κατά την εφαρμογή της τελικής φάσης του οδικού χάρτη 1 συγκριτικά με την ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα.

Η παραπάνω μείωση της ενέργειας φαίνεται αναλυτικά κατά τα στάδια εφαρμογής του οδικού χάρτη 1 και του οδικού χάρτη 3 (Σχήμα 5.15). Η περαιτέρω μείωση που εμφανίζεται από το στάδιο 3 του οδικού χάρτη 3, οφείλεται στην εφαρμογή της ανακύκλωσης του γκρίζου νερού στις οικίες που μειώνει σημαντικά τη ζήτηση του νερού και επομένως την ενέργεια άντλησής του.

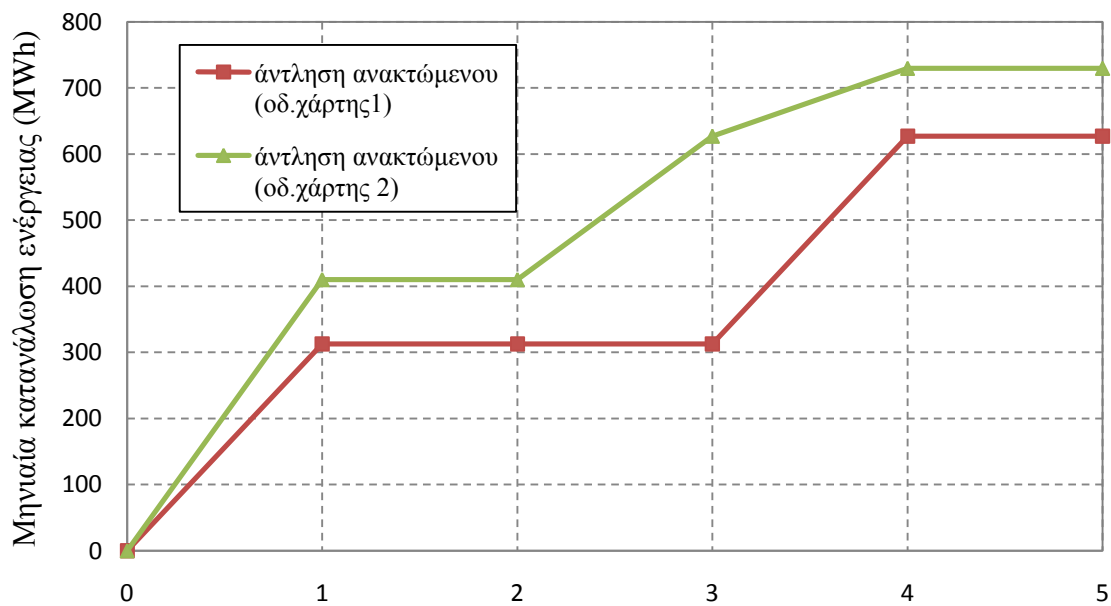
Η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση του ανακτώμενου νερού από τα επεξεργασμένα λύματα και την παροχή του στις ζώνες της περιοχής μελέτης αυξάνεται συνεχώς κατά τα στάδια των οδικών χαρτών 1 και 2 (Σχήμα 5.16). Η αύξηση αυτή οφείλεται στην σταδιακά αυξανόμενη παροχή ανακτώμενου νερού που διατίθενται προς χρήση. Η μεταβολή στο διάγραμμα του οδικού χάρτη 2 είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του οδικού χάρτη 1 καθώς σε όλα τα στάδιά του η παροχή ανακτώμενου νερού είναι αρκετά μεγαλύτερη (196 000 m<sup>3</sup> μέγιστη θερινή ημερήσια παροχή στην τελική φάση) συγκριτικά με τον οδικό χάρτη 1 (168 000 m<sup>3</sup> μέγιστη θερινή ημερήσια παροχή στην τελική φάση).



**Σχήμα 5.14** Χρονοσειρές καταναλισκόμενης ενέργειας για την άντληση πόσιμου νερού στο εξωτερικό υδραγωγείο.



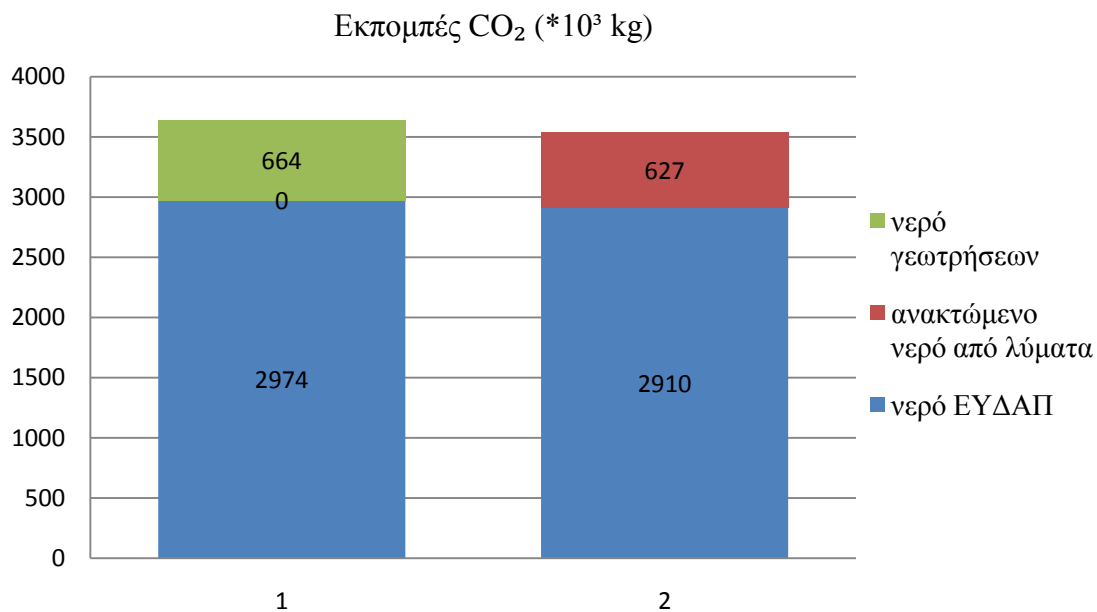
**Σχήμα 5.15** Απαιτούμενη ενέργεια για την άντληση πόσιμου νερού στο εξωτερικό υδραγωγείο κατά τα στάδια των οδικών χαρτών.



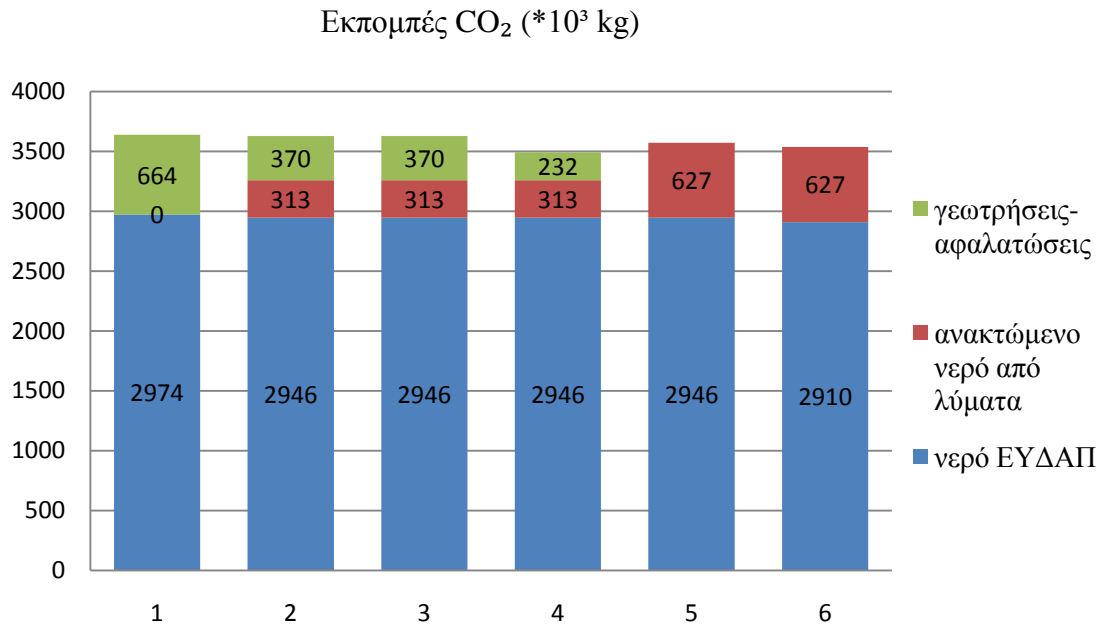
**Σχήμα 5.16** Απαιτούμενη ενέργεια για την άντληση του ανακτώμενου νερού από τα λύματα κατά τα στάδια των οδικών χαρτών.



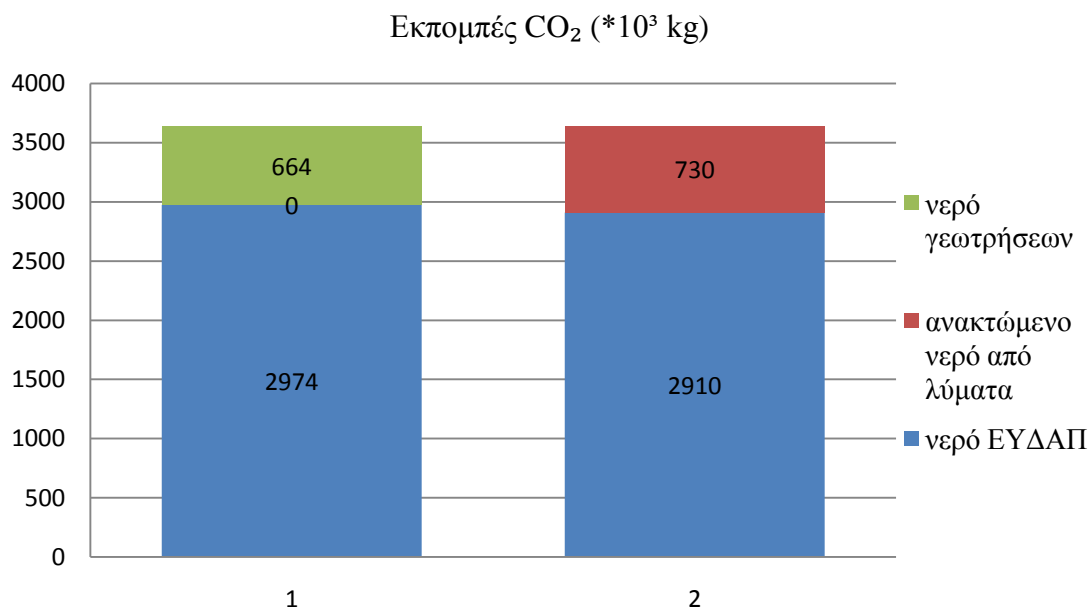
Η εκτίμηση του ισοζυγίου του συνολικού ενεργειακού κόστους μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και της τελικής φάσης του οδικού χάρτη 1 παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.17. Η ενέργεια που καταναλώνεται αποδίδεται σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) με βάση το μέσο συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub> του συνολικού συστήματος παραγωγής της ΔΕΗ, που αντιστοιχεί σε 1 kg CO<sub>2</sub>/kWh (ΔΕΗ, 2009). Στην υφιστάμενη κατάσταση το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται οφείλεται στην άντληση του πόσιμου νερού της ΕΥΔΑΠ και στην άντληση νερού από γεωτρήσεις κυρίως από τις βιομηχανίες και τους δήμους. Με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων καταναλώνεται αποκλειστικά ενέργεια από την ΕΥΔΑΠ τόσο για την άντληση του πόσιμου νερού από το εξωτερικό υδραγωγείο όσο και για την άντληση του ανακτώμενου νερού από τα λύματα. Παρατηρείται ότι το ισοζύγιο είναι τελικά θετικό καθώς η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα είναι μικρότερη από αυτή που καταναλώνεται στην τελική φάση του σχεδίου σε αντίθεση με το ισοζύγιο της υφιστάμενης κατάστασης και του οδικού χάρτη 2 (Σχήμα 5.19) που είναι μεν αρνητικό αλλά κατά μικρό ποσοστό, λόγω της ενέργειας που απαιτείται για την άντληση των αυξημένων παροχών ανακτώμενου νερού.



**Σχήμα 5.17** Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για αντλήσεις στην υφιστάμενη κατάσταση (1) και στο τέλος του οδικού χάρτη 1 (2).



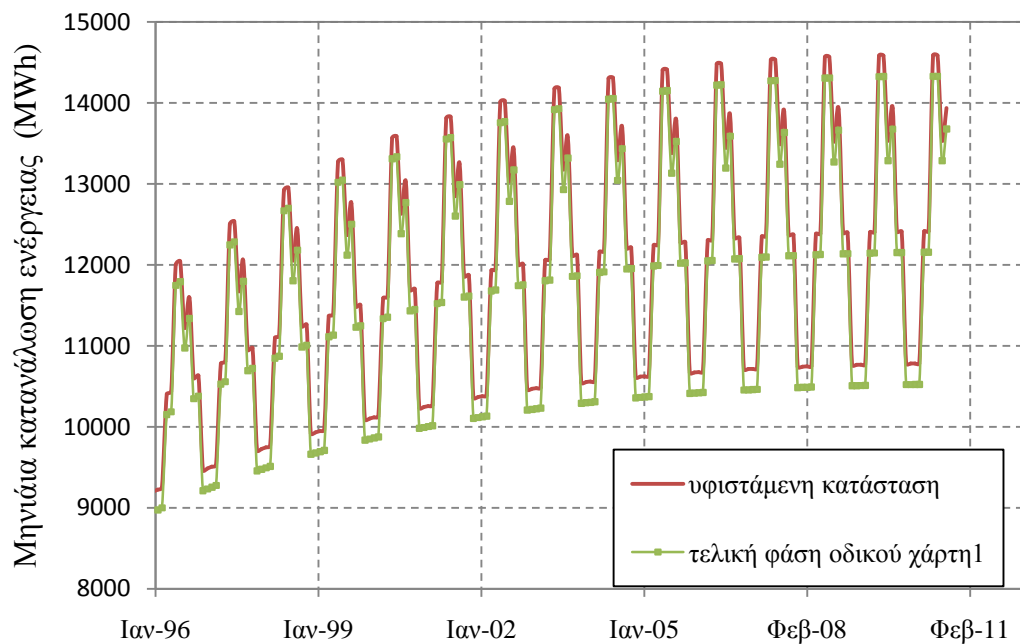
**Σχήμα 5.18** Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια αντλήσεων στην υφιστάμενη κατάσταση (1) και κατά τα στάδια του οδικού χάρτη 1 (2-6).



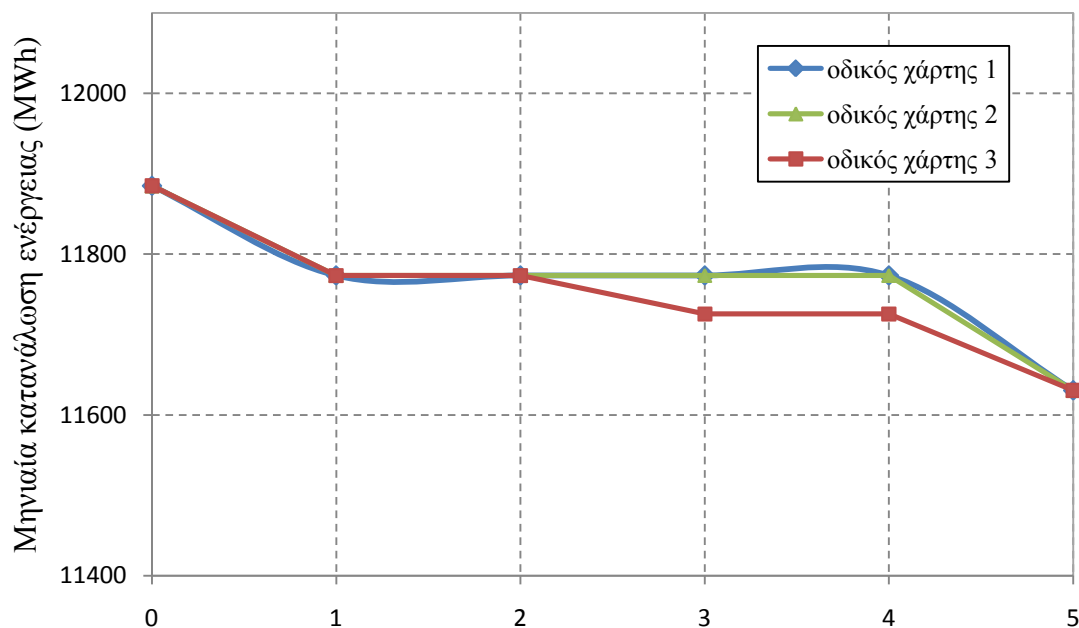
**Σχήμα 5.19** Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για αντλήσεις στην υφιστάμενη κατάσταση (1) και στο τέλος του οδικού χάρτη 2 (2).

### 5.3.4 Μεταβολή ενεργειακών αναγκών για την επεξεργασία πόσιμου νερού και ανακτώμενου νερού από λύματα

Η απαιτούμενη ενέργεια για τον καθαρισμό του πόσιμου νερού της ΕΥΔΑΠ στα διωλιστήρια μειώνεται ως αναμενόταν εφόσον ελαττώνεται η συνολική ζήτηση του πόσιμου νερού, η οποία σε ένα ποσοστό αναπληρώνεται από την ανάκτηση επεξεργασμένου από τα λύματα νερού (Σχήμα 5.20). Και στους τρεις οδικούς χάρτες η συνολική μείωση στην καταναλισκόμενη ενέργεια είναι η ίδια (από 11 885 MWh σε 11630 MWh), διαφοροποιείται όμως η επιμέρους διακύμανση της μείωσης ανάλογα με τον εφαρμοζόμενο οδικό χάρτη (Σχήμα 5.21). Η επιμέρους κατανομή της μείωσης της ενέργειας βρίσκεται σε αντιστοιχία με τη μείωση της ζήτησης σε πόσιμο νερό (Σχήμα 5.10).



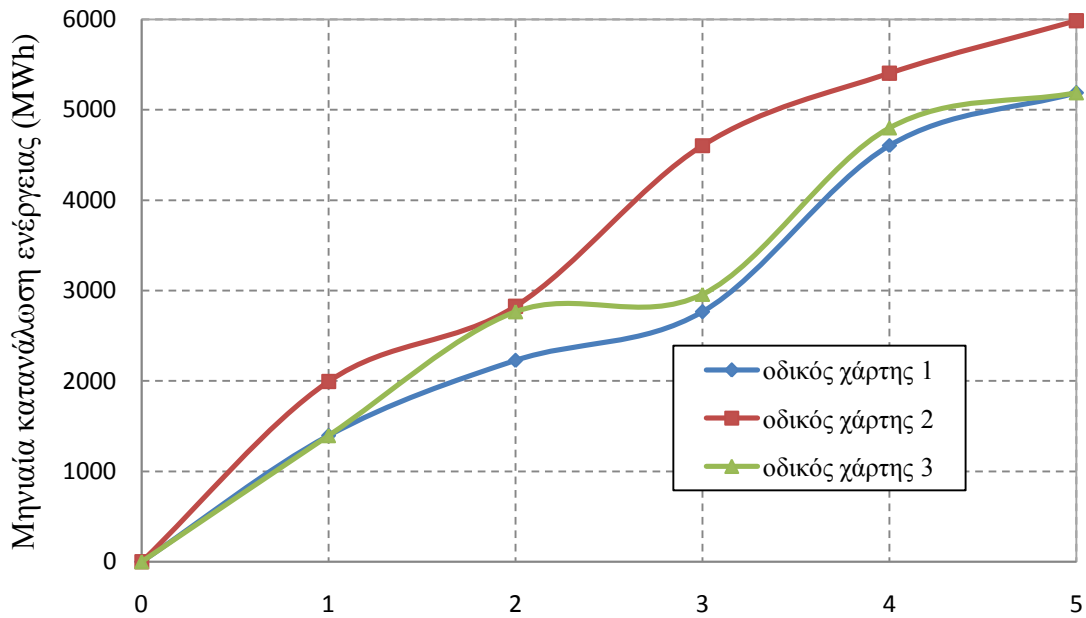
**Σχήμα 5.20** Χρονοσειρές απαιτούμενης ενέργειας για την επεξεργασία του πόσιμου νερού στα διωλιστήρια.



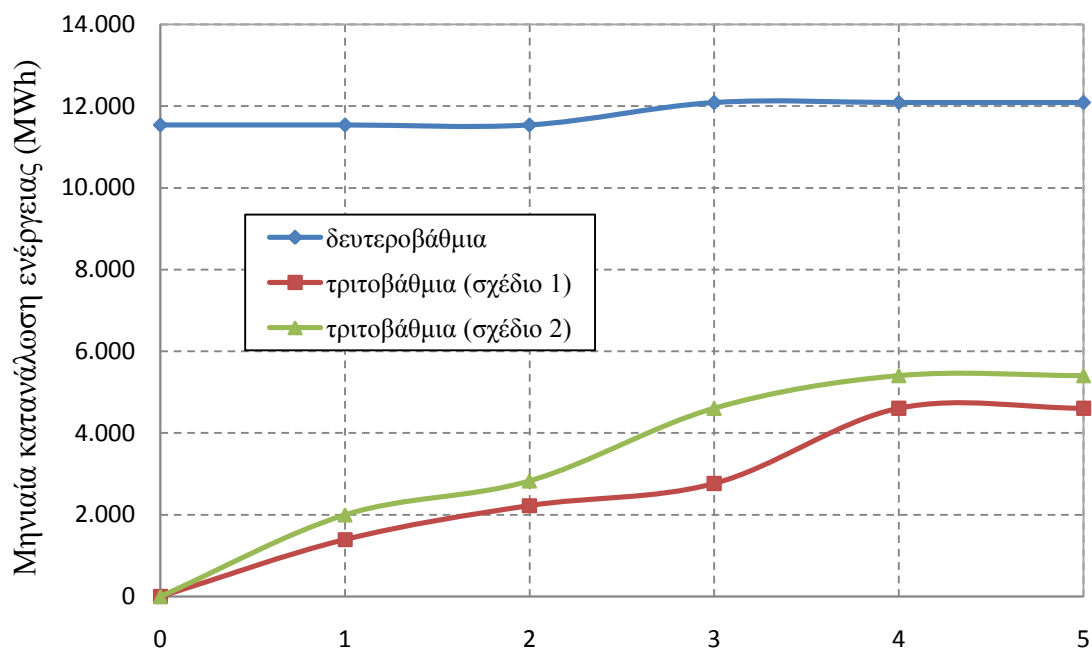
**Σχήμα 5.21** Μεταβολή ενέργειας για την επεξεργασία του πόσιμου νερού στα διυλιστήρια κατά τα στάδια των οδικών χαρτών.

Η συνολική ενέργεια για την επεξεργασία των εκροών ώστε να πληρούνται τα απαιτούμενα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων καταναλώνεται στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων στις ΕΕΛ αλλά και στην επεξεργασία του γκρίζου νερού στα συστήματα ανακύκλωσης στις οικίες. Η κατανάλωση ενέργειας για τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, που έχει ληφθεί  $0.5 \text{ kWh/m}^3$  (Fane), είναι σχεδόν σταθερή με εξαίρεση την τρίτη φάση των οδικών χαρτών όπου προστίθεται στο σύστημα η εγκατάσταση επεξεργασίας του Θριασίου με αποτέλεσμα να αυξάνεται σε μικρό βαθμό η ενέργεια (Σχήμα 5.23). Η ενέργεια που απαιτείται για την τριτοβάθμια επεξεργασία με σύστημα μεμβρανών, που έχει ληφθεί ίση με  $0.9 \text{ kWh/m}^3$  (Fane), αυξάνεται σταδιακά εφόσον σε κάθε φάση των οδικών χαρτών παρέχεται μεγαλύτερη παροχή ανακτώμενου νερού στην περιοχή μελέτης. Η μεγαλύτερη αύξηση της ενέργειας παρατηρείται στον οδικό χάρτη 2 (αυξημένες παροχές) και η μικρότερη στον οδικό χάρτη 1 (συντηρητικό σχέδιο). Η ενέργεια στον οδικό χάρτη 3 είναι ελαφρώς μεγαλύτερη της αντίστοιχης του οδικού χάρτη 1 από την τρίτη φάση και μετά καθώς στην ενέργεια της τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων προστίθεται και η ενέργεια που καταναλώνεται στα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού (Σχήμα 5.22). Αυτή η ενέργεια, παρότι αποτελεί μικρό ποσοστό της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας (Σχήμα 5.24),

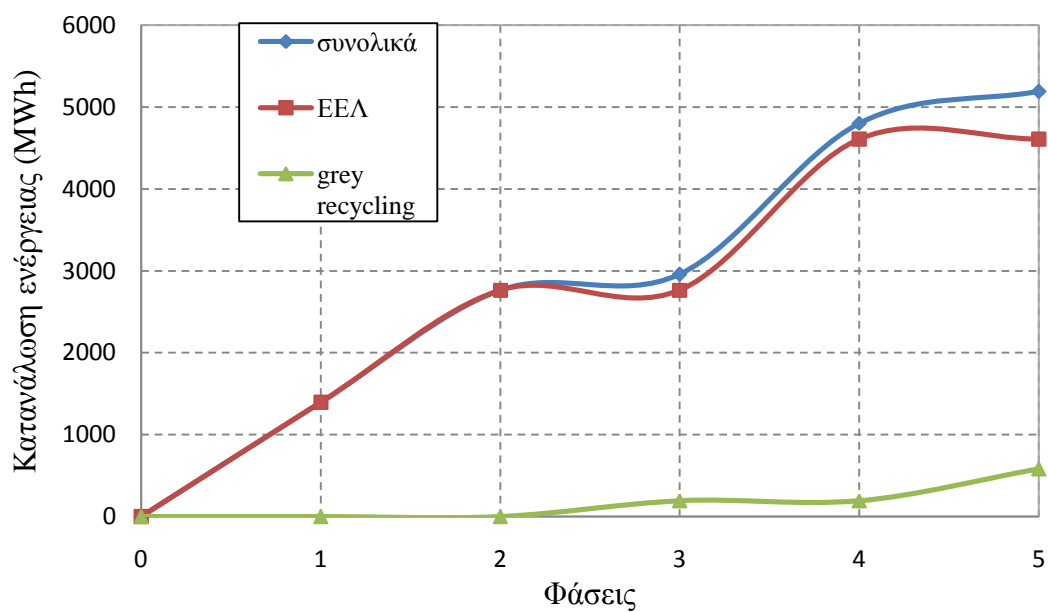
καταναλώνεται στις οικίες (decentralized) και όχι στο κεντρικό σύστημα επεξεργασίας των λυμάτων που αποτελούν οι ΕΕΛ.



**Σχήμα 5.22** Απαιτούμενη ενέργεια για την τριτοβάθμια επεξεργασία του ανακτώμενου από λύματα νερού κατά τα στάδια των οδικών χαρτών.



**Σχήμα 5.23** Απαιτούμενη ενέργεια για τη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων κατά τα στάδια των οδικών χαρτών.



**Σχήμα 5.24** Απαιτούμενη ενέργεια για την τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων κατά τα στάδια του οδικού χάρτη 3.

## 6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

### 6.1 Συμπεράσματα

(i) Περιβαλλοντικά οφέλη

- Η μείωση της ζήτησης του πόσιμου νερού, αν και σε μικρό ποσοστό, είναι ιδιαίτερα σημαντική αν ληφθεί υπόψη ότι οι υδατικές πηγές του υδρευτικού συστήματος της Αθήνας βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από αυτή.
- Με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων η συνολική ποσότητα υδάτων που αφαιρείται από το περιβάλλον (abstractions) μειώνεται σημαντικά, είτε πρόκειται για γλυκό νερό προερχόμενο από υδατικούς πόρους όπως ποτάμια, λίμνες και υπόγειοι υδροφορείς είτε για υφάλμυρο και αλμυρό νερό προερχόμενο από γεωτρήσεις και τη θάλασσα.
- Με τη μείωση του αντλούμενου από τους υπόγειους υδροφορείς νερού, όχι μόνο δεν θα επιδεινωθεί η ποιότητα του υφάλμυρου νερού στις περιοχές που εντοπίζεται σήμερα το πρόβλημα της υφαλμύρισης (Θριάσιο Πεδίο, Μέγαρα και Σαλαμίνα) αλλά αντιθέτως θα βελτιωθεί η ποιότητά του λόγω του εμπλουτισμού του με ανακτώμενο νερό.
- Εκτός όμως από την κάλυψη κατά ένα ποσοστό της σημερινής ζήτησης με ανακτώμενο νερό από επεξεργασμένα λύματα, το τελευταίο θα εξυπηρετήσει μελλοντικές ανάγκες, όπως αναδασώσεις και αναπλάσεις που έχουν σχεδιαστεί να υλοποιηθούν στα επόμενα χρόνια. Με αυτόν τον τρόπο, όχι μόνο θα μειώνεται προοδευτικά η άντληση νερού από το περιβάλλον για την κάλυψη των υφιστάμενων αναγκών αλλά θα διατίθεται σε αυτό και επιπλέον ποσότητα ανακτώμενου νερού που θα συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη των υφιστάμενων οικοσυστημάτων και στη δημιουργία νέων. Συνεπώς, οι κάτοικοι θα επωφεληθούν από τις βελτιωμένες υπηρεσίες των οικοσυστημάτων αυτών (ecosystem services).
- Η μείωση της συνολικής εκμετάλλευσης των υδάτων, η βελτίωση των υπηρεσιών και των αγαθών των φυσικών οικοσυστημάτων καθώς επίσης και η αυξημένη αποδοτικότητα του νερού, που οφείλεται στην επαναχρησιμοποίησή του, εναρμονίζονται με τις επιδιώξεις του Blueprint που προωθείται από την Ευρωπαϊκή

Ένωση (Blueprint to safeguard Europe's water resources) και με το οποίο επιδιώκεται η βιώσιμη ισορροπία μεταξύ ζήτησης και διάθεσης νερού και η εξασφάλιση ποιοτικής και επαρκούς ποσότητας νερού.

(ii) Ενεργειακό κόστος

- Το ενεργειακό κόστος που υπολογίζεται για την άντληση νερού από το εξωτερικό υδραγωγείο (ΕΥΔΑΠ) και από τις γεωτρήσεις βιομηχανιών και δήμων σήμερα είναι μεγαλύτερο του ενεργειακού κόστους που υπολογίζεται για την άντληση πόσιμου και ανακτώμενου νερού με την εφαρμογή του οδικού χάρτη 1. Αντίθετα, στην περίπτωση εφαρμογής του οδικού χάρτη 2 το παραπάνω ισοζύγιο είναι αρνητικό. Ωστόσο, στη δεύτερη αυτή περίπτωση η διαφορά του ενεργειακού ισοζυγίου είναι σχετικά μικρή και αντισταθμίζεται από τα περιβαλλοντικά οφέλη που αποδίδονται κυρίως στη μεγαλύτερη ποσότητα ανακτώμενου νερού που παρέχεται. Σε κάθε περίπτωση, η απαιτούμενη ενέργεια για την άντληση πόσιμου νερού από την ΕΥΔΑΠ βαίνει μειούμενη λόγω της μείωσης της ζήτησης.
- Αν ληφθεί υπόψη και το ενεργειακό κόστος που απαιτείται για την τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων στο συνολικό, τότε το ισοζύγιο της ενέργειας προκύπτει αρνητικό σε κάθε περίπτωση. Ωστόσο, δεν έχει συνυπολογιστεί η σημαντική μείωση του περιβαλλοντικού κόστους που οφείλεται στην εκτεταμένη επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων.
- Πρόσθετα, επισημαίνεται ότι ενώ σήμερα το ανωτέρω ενεργειακό κόστος παραλαμβάνεται από την ΕΥΔΑΠ και δευτερευόντως από ορισμένους μεγάλους καταναλωτές (βιομηχανίες και δήμοι), μετά την εφαρμογή οποιουδήποτε οδικού χάρτη το κόστος αυτό αποδίδεται αποκλειστικά στην ΕΥΔΑΠ. Επιπλέον, αν στο ενεργειακό κόστος της άντλησης προστεθεί και το κόστος της επεξεργασίας του νερού και των λυμάτων το οποίο σήμερα επιβαρύνει κατά κύριο λόγο την ΕΥΔΑΠ και δευτερευόντως ορισμένες βιομηχανίες που εφαρμόζουν αφαλάτωση, κατά την εφαρμογή οποιουδήποτε οδικού χάρτη το κόστος αυτό επιβαρύνει αρχικά την ΕΥΔΑΠ (επεξεργασία πόσιμου και ανακτώμενου νερού) και στο τελικό στάδιο ένα μικρό ποσοστό επιβαρύνει τους καταναλωτές μέσω των συσκευών ανακύκλωσης



γκρίζου νερού. Ωστόσο, το αποτέλεσμα αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανταπόκριση όλων των ενδιαφερόμενων (stakeholders) του συστήματος της Αθήνας.

(iii) Αξιολόγηση κινδύνου

- Λαμβάνοντας υπόψη ότι το υδροσύστημα της Αθήνας λειτουργεί στα όρια της αξιοπιστίας του για την παρούσα ζήτηση και ότι η εξασφάλιση αξιόπιστης λειτουργίας του σε επίπεδο της τάξης του 99%, που είναι και η επιθυμητή, είναι δύσκολη με την υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου (Μακρόπουλος κ.α., 2010), είναι προφανές ότι ακόμα και μία μικρή μείωση στη ζήτηση του νερού θα ανακουφίσει τη λειτουργία του συστήματος. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι το ανακτώμενο από επεξεργασμένα λύματα νερό, σε αντίθεση με τις εισροές στους ταμιευτήρες που επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες όπως οι βροχοπτώσεις και η παρατεταμένη ξηρασία, αποτελεί μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή.

(iv) Αξιολόγηση οδικών χαρτών

- Εφόσον ως βασικό κριτήριο αξιολόγησης ληφθεί υπόψη το ενεργειακό κόστος άντλησης και τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων, ο πρώτος οδικός χάρτης υπερτερεί του δεύτερου επειδή στον πρώτο χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα ανακτώμενου νερού απ' ότι στον δεύτερο. Επιπλέον, συγκρινόμενος με τον τρίτο οδικό χάρτη, κυμαίνεται στο ίδιο ενεργειακό επίπεδο.
- Αν ως κριτήριο συγκριτικής αξιολόγησης ληφθούν υπόψη τα οφέλη που αποκομίζονται από τα φυσικά οικοσυστήματα, τότε έχουμε σαφή υπεροχή του δεύτερου οδικού χάρτη όπου η παροχή ανακτώμενου νερού είναι μεγαλύτερη.
- Επειδή η ποσότητα του πόσιμου νερού που θα αντικατασταθεί με ανακτώμενο είναι μικρή και μπορεί να καλυφθεί και από του τρεις οδικούς χάρτες στις αρχικές φάσεις του, η μείωση της ζήτησης του νερού προκύπτει ίδια και στους τρεις. Ωστόσο, με τη χρήση του τρίτου οδικού χάρτη επιτυγχάνεται μείωση της ζήτησης και σε ενδιάμεσα στάδια λόγω της ανακύκλωσης του γκρίζου νερού σε αυτά.

## 6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Προτείνεται να επεκταθεί η μελέτη της επαχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων στην περιοχή μελέτης και σε ότι αφορά στις ποιοτικές παραμέτρους του ανακτώμενου νερού καθώς επίσης και σε άλλες υπαίθριες περιοχές της Αττικής (Μεσόγεια, Μαραθώνας κ.λ.π.) όπου υπάρχουν υδροβόρες καλλιέργειες και έχουν προγραμματισθεί εκτεταμένες αναδασώσεις. Στις περιοχές αυτές θα αξιοποιούνται οι εκροές από υφιστάμενες ή νέες ΕΕΛ. Υπολογίζοντας αφενός το συνολικό περιβαλλοντικό όφελος από τη χρήση του ανακτώμενου νερού και το αντίστοιχο ενεργειακό ισοζύγιο και αφετέρου με τη βοήθεια ανάλυσης κόστους- οφέλους προκειμένου να εξετασθεί και οικονομικά η αξιοποίηση αυτή, θα αναδειχθεί η περιβαλλοντική και οικονομική διάσταση ενός τόσο σημαντικού έργου που θα συμβάλει στην αναβάθμιση της Αττικής.
- Προτείνεται να μελετηθεί και να καταρτισθεί πρόγραμμα κατασκευής δικτύου από νέες ή υφιστάμενες ΕΕΛ, το οποίο αφού συνδεθεί με το υφιστάμενο δημοτικό δίκτυο αρκετών Δήμων της Αττικής, θα εξυπηρετεί τις αρδευτικές ανάγκες τους με ανακτώμενο νερό. Έτσι θα εγκαταλειφθούν με την πάροδο του χρόνου οι χρησιμοποιούμενες σήμερα από τους Δήμους γεωτρήσεις, θα τονωθεί το εγκαταλελειμμένο από τους περισσότερους Δήμους αστικό πράσινο, θα δοθεί η δυνατότητα δημιουργίας νέων ζωνών πρασίνου και θα εξυπηρετηθεί καλύτερα η πλήση των δημοτικών οδών και λοιπών κοινόχρηστων χώρων.
- Προτείνεται η μελέτη για τη δημιουργία αγοράς σχετικά με την χρήση ανακτώμενου νερού με τη λήψη μέτρων και χορήγηση κινήτρων που θα έχουν ως αποτέλεσμα το αυξανόμενο ενδιαφέρον μεγάλων καταναλωτών (βιομηχανίες, Δήμοι κ.λ.π.) να εγκαταλείψουν τη χρήση συμβατικών πηγών νερού και να στραφούν στη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων. Παρόμοια κίνητρα προτείνεται να μελετηθούν και για τους μικρούς καταναλωτές σχετικά με την αγορά και εγκατάσταση στις οικίες συσκευών ανακύκλωσης των γκρίζων οικιακών λυμάτων. Το ανακτώμενο από την ανακύκλωση αυτή νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κυρίως στις τουαλέτες αλλά και για την άρδευση κήπων και την πλήση εξωτερικών χώρων.

## 7. Αναφορές

- Αδρακτάς, Δ., Βασιλοπούλου, Μ., Βιτάλη, Ζ., Ανδρεαδάκης, Ν., & Ανθόπουλος, Α. (2009). Στρατηγικό σχέδιο (Masterplan) για την επαναχρησιμοποίηση των εκροών των ΕΕΛ στην Αττική. Υδροηλεκτρική Ε.Π.Ε., Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων.
- Ανδρεαδάκης, Α., Μαμάης, Δ., & Γαβαλάκη, Ε. (2005). *Απολύμανση Λυμάτων*. Καρδίτσα, 14-15 Οκτ: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας.
- ΔΕΗ. (2009). Πειβάλλον, ο κόσμος μας! Η ΔΕΗ στο δρόμο της βιώσιμης ανάπτυξης. Αθήνα, 2009.
- ΕΜΠ, & ΕΥΔΑΠ. (n.d.). *Υδρολογικά δεδομένα*. Ανάκτηση 09/2012, από ΕΥΔΑΠ: <http://itia.ntua.gr/eydap/db>
- ΕΥΔΑΠ. (2012). *Επεξεργασία Λυμάτων*. Ανάκτηση 09/2012, από ΕΥΔΑΠ: [http://www.eydap.gr/index.asp?a\\_id=156](http://www.eydap.gr/index.asp?a_id=156)
- ΚΥΑ 145116/2011. Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
- Angelakis, A. N., Marecos Do Monte, M. H., Bontoux, L., & Asano, T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the mediterranean basin: Need for guidelines. *Water Research* 33: 2201-2217.
- Apostolidis, N., Hertle, C., & Young, R. (2011). Water Recycling in Australia. *Water*: 869-881.
- Asano, T., & Cotruvo, J. A. (2004). Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research* (38) 8: 1941-1951.
- Bahri, A., & Brissaud, F. (2004). Setting up microbiological water reuse guidelines for the Mediterranean. *Water Science and Technology* 50( 2): 39-46.

- Blumenthal, U. J., Mara, D. D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., & Stott, R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization* : 1104-1116.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29: 293-301.
- Butler, D., & Memon, F. (2006). Water demand management . IWA Publishing, London, March 2006.
- Christova-Boal, D., Eden, R. E., & McFarlane, S. (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination* 106: 391-397.
- Crook, J., Johnson, L. J., & Thompson, K. (2001). California's new water recycling criteria and their effect on operating agencies. Proc. AWWA Annual Conference, Washington , DC, 17-21 June 2001.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393-408.
- Efstratiadis, A., Karavokiros, G., & Mamassis, N. (2009). Masterplan of the Athens water resource system - Year 2009, Maintenance, upgrading and extension of the Decision Support System for the management of the Athens water resource system. Report 1, 116 pages, Department of Water Resources and Environmental Engineering - National Technical University of Athens, Athens, April 2009.
- Efstratiadis, A., Koutsoyiannis, D., & Xenos, D. (2004). Minimising water cost in the water resource management of Athens. *Urban Water Journal* 1(1): 3-15.
- Elmitwalli, T. A., & Otterpohl, R. (2007). Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research* 41(6): 1379 - 1387.

- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* 4: 85 - 104.
- EU. (2012). *A blueprint to safeguard Europe's waters*. Ανάκτηση 10/2012, από European Commission: <http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint>
- EU. (1991). *Urban Waste Water Directive Overview*. Ανάκτηση 10/2012, από European Commission: [http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/index_en.html)
- Fane, T. Harvesting Water from Compromised Sources. Membranes and the Water Cycle. Presentation at AWA (Australia Water Association) Speciality Conference: Membranes and Desalination.
- Fatta, D., Anayiotou, S., & Papadopoulos, I. (2005). An overview of the water and wastewater management practices in Cyprus. *Crops* .
- Friedler, E. (2001). Water - an integral part of water resources management: Israel as a case study. *Water Policy* (3): 29-39.
- Gardner, T., & Millar, G. (2003). The Performance of a Greywater System at the Healthy Home in South East Queensland - Three Years of Data. *UNE: Proceedings of Onsite 03 Conference: Future Directions for On-site systems, Best Management Practice* .
- Gikas, P., & 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* .
- Goldsim. (n.d.). Monte Carlo Simulation Software for Decision and Risk Analysis. available online at [www.goldsim.com](http://www.goldsim.com).
- Hansen, A. M., & Kjellerup, M. (n.d.). Vandbesparende foranstaltninger. Teknisk Forlag, Copenhagen, 1994.

- Hein, A., Neskovic, M., Hochstrat, R., & Smith, H. (2012). Roadmap guideline: A manual to organise transition planning in Urban Water Cycle Systems. *Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow* .
- Hydronomeas. (2012). available online at <http://itia.ntua.gr/el/softinfo/4/>.
- Inbar, Y. (2007). New standards for treated wastewater reuse in Israel. *Springer*: 291-296.
- Jefferson, B., Laine, A., Diaper, C., Parsons, S., Stephenson, T., & Judd, S. J. (2000). Water recycling technologies in the UK. *Proceedings of the Technologies for the Urban Water Recycling Conference* , Cranfield University.
- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., & Judd, S. (1999). Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*: 285-292.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. (2004). Greywater characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology* 50(2): 157-164.
- Jeppesen, B., & Solley, D. (1994). *Domestic Greywater Reuse: Overseas Practice and its Applicability to Australia*. Melbourne: Urban Water Research Association of Australia.
- Karpiscak, M. M., Foster, K. E., & Schmidt, N. (1990). Residential water conservation: Casa Del Agua. *Water Research* 26 (6): 939-948.
- Katerinopoulou, A., Kagia, K., Karapiperi, M., Kassela, A., Paschalis, A., Tsarouchi, G. M., Markonis, Y., Papalexiou, S.M., and Koutsoyiannis, D. (2009). Reservoir yield-reliability relationship and frequency of multi-year droughts for scaling and non-scaling reservoir inflows. European Geosciences Union Assembly 2009, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, Vienna, 8063, European Geosciences Union.
- Kostoff, R. N., & Schaller, R. R. (2001). Science and Technology Roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management* 48(2): 132-143.

- Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8: 468-479.
- Last, E., & Mackay, R. (2010). City Water Balance - A New Tool For Scoping Intergrated Urban Water Management Options. IAHR European Congress, 2010.
- Law, I. B. (2003). Advanced reuse - From Windhoek to Singapore and beyond. *Water* , 31-36.
- Makropoulos, C. K., & Butler, D. (2010). Distributed Water Infrastructure for Sustainable Communities. *Water Resources Management* 24(11): 2795-2816.
- Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., & Butler, D. (2008). Decision Support for Sustainable Option Selection in Integrated Urban Water Management. *Environmental Modelling and Software* 23(12): 1448 - 1460.
- Manero, A., & Mujeriego Sahuquillo, R. (2011). Comparative water management practices in California and Spain. *Universitat Politècnica de Catalunya* , 51-75.
- Mitchell, G. (2005). Aquacycle User Guide, aquacycle a daily urban water balance model. revision 1.2.1, February 2005.
- Mitchell, V. G., Mein, R., & McMahon, T. (2001). Modelling the urban water cycle. *Journal of Environmental Modelling and Software* 16(7): 615-629.
- Nolde, E. (1999). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin. *Urban Water*: 275-284.
- Palmquist, H., & Jonsson, H. (n.d.). Urine, faeces, greywater and biodegradable solid waste as potential fertilizers. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation "Ecosan-Closing the loop* , Luebeck, Germany, 2003.
- Papaiacovou, I. (2001). Case study - wastewater reuse in Limassol as an alternative water source. *Desalination* (138): 55-59.

- Randcliffe, J. C. (2006). Future directions for water recycling in Australia. *Desalination* 187: 77-87.
- ReVelle, C. (1999). *Optimizing Reservoir Resources - Including a New model for Reservoir Reliability*. John Wiley, New York, 1999.
- RIBASIM. (2012). River Basin Planning and Management. <http://www.wldelft.nl/soft/ribasim/int/index.html>.
- Rozos, E., & Makropoulos, C. (2012). Assessing the combined benefits of water recycling technologies by modelling the total urban water cycle. *Urban Water* 9(1).
- Rozos, E., & Makropoulos, C. (2012). Source to Tap Urban Water Cycle Modelling. *Environmental Modelling and Software* , (in press).
- Rozos, E., Makropoulos, C., & Butler, D. Design robustness of local water-recycling schemes. *Journal of Water Resources Planning and Management - ASCE* 136(5): 531-538.
- Rubin, B. (2001). *Efficient use of limited water resources: Making Israel a Model State*. BESA Books.
- Teijon, G., Tamoh, K., Soler, M., & Candela, L. (2009). Treated wastewater reuse for a seawater intrusion hydraulic barrier implementation in the Liobregat delta aquifer (Barcelona, Spain). First phase. *Options Méditerranéennes* A(88): 171-177.
- Thompson, M., & Powell, D. (2003). Case Study-Kranji High Grade Water Reclamation Plant, Singapore. *IMSTEC* .
- Vieira, J., Cunha, M. C., Nunes, L., Monteiro, J. P., Ribeiro, L., Stigter, T., και συν. (2011). Optimization of the Operation of Large-Scal Multisource Water-Supply Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 137(150).
- WHO. (1989). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture: Report of a WHO Scientific Group. WHO Technical Report Series 778, WHO, Geneva.



