



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗ  
ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΛΙΑΤΣΙΚΑΣ ΠΕΤΡΟΥΛΑΣ**

*ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023*

«Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή της προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.»



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών**

**ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗ  
ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΛΙΑΤΣΙΚΑΣ ΠΕΤΡΟΥΛΑΣ**

***ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :***

Πέτρος Γκίκας, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Κωνσταντίνος Χρυσικόπουλος, Καθηγητής

Στέλιος Ροζάκης, Καθηγητής

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθ. Πέτρο Γκίκα, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτωρ Ανθούλα Μάναλη για τις χρήσιμες συμβουλές της και την βοήθεια της κατά την συγγραφή της εργασίας μου.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τον καθ. Κωνσταντίνο Χρυσικόπουλο και τον καθ. Στέλιο Ροζάκη, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, για την συμβολή τους στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα από καρδιάς να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη όλων αυτών των ετών και κυρίως την ξαδέρφη μου Δήμητρα Πλιάτσικα για τις συμβουλές της και την βοήθεια της.

Τέλος, το πιο μεγάλο ευχαριστώ θέλω να το δώσω τους φίλους μου για όλα όσα ζήσαμε σε όλη αυτή την πορεία της φοιτητικής ζωής, για την συμπαράσταση και την κατανόηση στις δύσκολες και πιεστικές στιγμές.

## Περίληψη

Το νερό ως απαραίτητο αγαθό για την επιβίωση του ανθρώπου αποτελεί πόλο έλξης μελέτης με σκοπό την προστασία, διατήρηση και ορθή διαχείριση των υδάτων. Συγκεκριμένα στην παρούσα διπλωματική εργασία το ενδιαφέρον εστιάζεται στις μεθόδους τιμολόγησης του ανακτημένου νερού και σε διεθνή τιμολογιακές πολιτικές ανακτημένου νερού προς επαναχρησιμοποίηση.

Η επαναχρησιμοποίηση νερού είναι ένας ρηξικέλευθος τρόπος εξοικονόμησης και μείωσης σπατάλης νερού. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό είναι μέσω της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) όπου το λύμα θα υποστεί βάση νομοθεσίας πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία για να προκύψει ένα τελικό προϊόν (ανακτημένο νερό) το οποίο δεν απορρίπτεται στον αποδέκτη π.χ. θάλασσα καθώς το υγρό αυτό προέρχεται από το ρεύμα επαναχρησιμοποίησης της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται επιπλέον τρόποι απολύμανσης για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος και για την επίτευξη ποιοτικών χαρακτηριστικών εντός νομοθετικών ορίων. Το ανακτημένο νερό ύστερα από την επεξεργασία θα μπορεί να διατεθεί σε διάφορες χρήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, για βιομηχανική χρήση, για χώρους αναψυχής, για εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα κ.α. Για την εφαρμογή του ανακτημένου νερού ακολουθούνται οδηγίες και κανονισμοί που έχουν οριστεί σε τοπικό και σε παγκόσμιο επίπεδο. Πιο αναλυτικά, γίνεται αναφορά στις οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, σε κανονισμούς και διατάξεις ανά ήπειρο και σε Ευρωπαϊκές νομοθεσίες, συμπεριλαμβανομένου και την περίπτωση της Ελλάδας με τον Κανονισμός ΕΕ 2020/741 – επαναχρησιμοποίηση υδάτων.

Το τελευταίο και πιο σημαντικό κομμάτι της εργασίας αυτής είναι η ανάδειξη μεθοδολογιών για την τιμολόγηση του νερού συμπεριλαμβανομένου την έννοια της κοστολόγησης και αναλύοντας το συνολικό κόστος του νερού. Αναφορικά, το συνολικό κόστος του νερού αποτελείται από τρία κόστη το χρηματοοικονομικό, το κόστος φυσικών πόρων και το περιβαλλοντικό κόστος. Με βάση αυτή και με την βοήθεια της οικονομικής ανάλυσης και την μεθόδους ανάλυσης κόστους – ωφέλειας λήφθηκαν υπόψη οι παράγοντες και όλα όσα πρέπει να υπολογιστούν ώστε να προκύψει ένα όσο τον δυνατόν λειτουργικό τιμολόγιο. Επίσης δόθηκε προσοχή στη έννοια και στην εύρεση υπολογισμού του περιβαλλοντικού κόστους. Τέλος, αναφέρονται περιπτώσεις ανά τον κόσμο με έντονο ενδιαφέρον ως προς την τιμολογιακή πολιτική που χρησιμοποιούν αναλόγως με την χρήση ανακτημένου νερού (άρδευση, ύδρευση και βιομηχανία). Τα τιμολόγια που εφαρμόζουν παρουσιάζουν κοινά στοιχεία με βάση τις μεθόδους τιμολόγησης που υπάρχουν αλλά στην πλειοψηφία η κάθε περιοχή προσαρμόζει τα τιμολόγια στα δικά της δεδομένα, ακολουθώντας την νομοθεσία και την οικονομική κατάσταση. Αυτές οι περιοχές παρουσιάζουν σοβαρές ελλείψεις νερού και υδατικά προβλήματα όπως λειψυδρία και ξηρασία. Οι περιοχές που έλαβαν χώρα είναι η επαρχία Sindh στο Πακιστάν, το Ισραήλ, πόλεις της Αυστραλίας, η Σιγκαπούρη, η Βαλένθια και η Tarragona της Ισπανίας, η Καλιφόρνια το Όστιν και το South Orange στις ΗΠΑ, το Αμμάν στην Ιορδανία.

Λέξεις - κλειδιά: λύματα, νομοθεσία-κανονισμοί, επαναχρησιμοποίηση νερού, ανακτημένο νερό, μεθοδολογία τιμολόγησης, τιμολογιακή πολιτική.

## Abstract

Water, as an essential commodity for human survival, is an attraction for studies aimed at the protection, conservation, and proper management of water. Specifically, in this thesis the focus is on pricing methods for reclaimed water and international pricing policies for reclaimed water for reuse.

Water reuse is a radical way to save and reduce water waste. The way in which this is achieved is through the wastewater treatment plant (WWTP) where the wastewater will undergo primary, secondary and tertiary treatment based on legislation to produce a final product (reclaimed water) which is not discharged to the receiving body e.g. the sea as this liquid comes from the reuse stream of the wastewater treatment plant. Additional disinfection methods are often used to protect public health and the environment and to achieve quality characteristics within legal limits. The reclaimed water after treatment can be used for various purposes such as irrigation, water supply, industrial use, recreation, groundwater recharge, etc. For the application of reclaimed water, guidelines and regulations that have been set at local and global level are followed. In more detail, reference is made to World Health Organization guidelines, regulations, and provisions per continent and European legislation, including the case of Greece with Regulation EU 2020/741 - water reuse.

The last and most important part of this work is the demonstration of methodologies for water pricing including the concept of costing and analyzing the total cost of water. In this respect, the total cost of water consists of three costs: financial, natural resource and environmental costs. Based on this and with the help of the economic analysis and the cost-benefit analysis methods, the factors and everything that needs to be calculated to obtain an operational invoice that is as operational as possible were considered. Attention was also paid to the concept and to finding a calculation of environmental costs. Finally, cases around the world with a strong interest in the pricing policies used depending on the use of reclaimed water (irrigation, water supply and industry) are mentioned. The tariffs they apply have common elements based on the pricing methods that exist, but most of the time each region adapts the tariffs to its own data, following the legislation and the economic situation. These areas have severe water shortages and water problems such as water scarcity and drought. The regions where the events took place are Sindh province in Pakistan, Israel, cities in Australia, Singapore, Valencia and Tarragona in Spain, California, Austin and South Orange in the USA, Amman in Jordan.

**Keywords:** wastewater, legislation-regulations, water reuse, reclaimed water, pricing methodology, pricing policy.

# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	4
Περίληψη .....	5
Abstract .....	6
Κατάλογος Συντομογραφιών .....	9
Κατάλογος Πινάκων.....	10
Κατάλογος Εικόνων.....	11
Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	12
<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>13</b>
1.1 Ανακυκλωμένο νερό .....	13
1.2 Ανάγκες επαναχρησιμοποίησης νερού .....	14
1.3 Προβλήματα έλλειψης νερού.....	18
<b>2. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων .....</b>	<b>20</b>
2.1 Υγρά Απόβλητα .....	20
2.2 Συμβατικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων .....	20
2.2.1 Προεπεξεργασία και Πρωτοβάθμια Επεξεργασία .....	20
2.2.2 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία.....	22
2.2.3 Τριτοβάθμια Επεξεργασία .....	22
2.2.4 Τρόποι Απολύμανσης .....	26
2.2.5 Επεξεργασία Ιλύος .....	29
2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού.....	30
2.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά .....	30
2.3.2 Χημικά χαρακτηριστικά.....	32
2.3.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά.....	33
<b>3. Επαναχρησιμοποίηση νερού από επεξεργασία υγρών αποβλήτων.....</b>	<b>35</b>
3.1 Ιστορική αναδρομή .....	35
3.2 Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης νερού .....	36
3.2.1 Άρδευση γεωργικών εκτάσεων και χώροι πρασίνου .....	36
3.2.2 Βιομηχανική χρήση.....	37
3.2.3 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων .....	38
3.2.4 Ανακύκλωση νερού για ύδρευση (πόσιμο νερό) .....	38
3.2.5 Χώροι αναψυχής και περιβαλλοντικές χρήσεις .....	39
<b>4. Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας.....</b>	<b>40</b>
<b>5. Νομοθεσία και Κανονισμοί για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων .....</b>	<b>41</b>
5.1 Οδηγίες Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) .....	41
5.2 Διεθνείς Νομοθεσίες .....	43
5.2.1 Αμερική .....	43
5.2.2 Ασία .....	46
5.2.3 Αφρική.....	52
5.2.4 Ωκεανία .....	55
5.3 Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες.....	57

5.3.1 Κανονισμός ΕΕ 2020/741 – επαναχρησιμοποίηση υδάτων .....	57
5.3.2 Χώρες της Ευρώπης .....	60
5.3.3 Η περίπτωση της Ελλάδας .....	71
<b>6. Μεθοδολογία τιμολόγησης και περιβαλλοντικό κόστος νερού .....</b>	<b>76</b>
<b>7. Τιμολογιακή πολιτική ανακτημένου νερού προς επαναχρησιμοποίηση σε διάφορες χώρες-περιοχές του κόσμου .....</b>	<b>95</b>
<b>8. Συμπεράσματα-Προτάσεις .....</b>	<b>107</b>
<b>9. Βιβλιογραφία.....</b>	<b>108</b>
9.1 Ξενόγλωσση.....	108
9.2 Ελληνόγλωσση.....	110



## Κατάλογος Συντομογραφιών

<b>BOD</b>	Biochemical Oxygen Demand (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)
<b>COD</b>	Chemical Oxygen Demand (Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)
<b>DALYs</b>	Disability-adjusted life years (Έτη ζωής προσαρμοσμένα στην αναπηρία)
<b>DNA</b>	Deoxyribonucleic Acid (Δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ)
<b>DNPU</b>	Direct Non-potable Water Use (Άμεση Μη Πόσιμη Χρήση Νερού)
<b>EEC</b>	European Economic Community (Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα)
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος)
<b>IPU</b>	Indirect Potable Water Use (Έμμεση Πόσιμη Χρήση Νερού)
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης)
<b>MBRs</b>	Membrane Biological Reactors (Βιολογικοί Αντιδραστήρες Μεμβρανών)
<b>MENA</b>	Middle East and North Africa (Μέση Ανατολή και Βόρεια Αφρική)
<b>MF</b>	Microfiltration (Μικροδιήθηση)
<b>MLSS</b>	Mixed Liquor Suspended Solids (Μικτό υγρό αιωρούμενων στερεών)
<b>NF</b>	Nanofiltration (Νανοδιήθηση)
<b>NTU</b>	Nephelometric Turbidity Unit (Νεφελομετρική Μονάδα Θολότητας)
<b>PAC</b>	Polyaluminum Chloride (Χλωριούχο Πολυαργίλιο)
<b>RD</b>	Royal Decree (Βασιλικό Διάταγμα)
<b>RNA</b>	Ribonucleic Acid (ΡΙβονουκλεϊκό Οξύ)
<b>RO</b>	Reverse Osmosis (Αντίστροφη Ώσμωση)
<b>SS</b>	Suspended Solids (Αιωρούμενα Στερεά)
<b>TDS</b>	Total Dissolved Solids (Ολικά Διαλυμένα Στερεά)
<b>THM</b>	Tri-Halo-Methanes (Τριαλογονομένα Μεθάνια)
<b>TSS</b>	Total Suspended Solids (Ολικά Αιωρούμενα Στερεά)
<b>UF</b>	Ultrafiltration (Υπερδιήθηση)
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency (Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών)
<b>UV</b>	Ultra Violet (Υπεριώδης Ακτινοβολία)
<b>WHO</b>	World Health Organization (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας)
<b>WWTP</b>	Wastewater Treatment Plant (Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων)
<b>ΔΔΚ</b>	Δεξαμενή Δευτεροβάθμιας Καθίζησης
<b>ΔΠΚ</b>	Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης
<b>ΕΕ</b>	Ευρωπαϊκή Ένωση
<b>ΕΕΛ</b>	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
<b>ΕΠΕ</b>	Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
<b>ΕΟΚ</b>	Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
<b>ΙΠ</b>	Ισοδύναμος Πληθυσμός
<b>ΚΥΑ</b>	Κοινή Υπουργική Απόφαση
<b>ΛΑΠ</b>	Λεκάνες Απορροής Ποταμών
<b>ΠΔ</b>	Προεδρικό Διάταγμα
<b>ΠΟΥ</b>	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
<b>ΥΠΕΚΑ</b>	Υπουργείο Περιβάλλοντος Και Ενέργειας
<b>Φ.Ε.Κ.</b>	Φύλλα Εφημερίδας της Κυβέρνησης

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1.1</b> Περιορισμένη και Απεριόριστη Άρδευση (Smith, 2012).....	16
<b>Πίνακας 1.2</b> Περιορισμένη και Απεριόριστη αστική και περιαστική χρήση (Smith, 2012).....	17
<b>Πίνακας 1.3</b> Άμεση και Έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση (Smith, 2012).....	17
<b>Πίνακας 2.1</b> Γενικό χαρακτηριστικό των διεργασιών μεμβράνης (Hakami et al., 2020).....	25
<b>Πίνακας 5.1</b> Μέγιστες συγκεντρώσεις για διάφορα χημικά στοιχεία και οργανικές ενώσεις, στο έδαφος αναφορικά με την ανθρώπινη υγεία (WHO, 2006).....	42
<b>Πίνακας 5.2</b> Κατευθυντήριες γραμμές για την χρήση επεξεργασμένων λυμάτων στην γεωργία (Hamdy, 2005).....	43
<b>Πίνακας 5.3</b> Η ΕΡΑ πρότεινε ρυθμιστικές κατευθυντήριες γραμμές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων άρδευσης (Ritter, 2021).....	44
<b>Πίνακας 5.4</b> Κανονιστικό πλαίσιο σημαντικών Πολιτειών των ΗΠΑ για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Sanz and Gawlik, 2014).....	45
<b>Πίνακας 5.5</b> Πρότυπα ποιότητας για το ανακτημένο νερό στην Ιαπωνία (Takeuchi and Tanaka, 2020).....	46
<b>Πίνακας 5.6</b> Κανονιστικό Πλαίσιο Ιαπωνίας (Sanz and Gawlik, 2014).....	47
<b>Πίνακας 5.7</b> Ποιότητα του NEWater του 2000 (Smith, 2012).....	49
<b>Πίνακας 5.8</b> Κανονιστικό πλαίσιο Κίνας (Sanz and Gawlik, 2014).....	50
<b>Πίνακας 5.9</b> Πολιτικές ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού σε εθνικό επίπεδο στην Κίνα (Lyu et al., 2015).....	51
<b>Πίνακας 5.10</b> Κανονιστικό πλαίσιο στην Νότιο Αφρική (Sanz and Gawlik, 2014).....	53
<b>Πίνακας 5.11</b> Κανονιστικό πλαίσιο για διάφορες περιοχές της Ωκεανίας (Sanz and Gawlik, 2014).....	56
<b>Πίνακας 5.12</b> Κατηγορίες ποιότητας του ανακτημένου νερού και επιτρεπόμενη γεωργική χρήση και μέθοδος άρδευσης (EUROPA, 2020).....	59
<b>Πίνακας 5.13</b> Απαιτήσεις ποιότητας του ανακτημένου νερού για γεωργική άρδευση (EUROPA, 2020).....	60
<b>Πίνακας 5.14</b> Γενική απογραφή του Κανονιστικού Πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων στα διάφορα μέλη κράτη της ΕΕ (Gancheva et al., 2018).....	63
<b>Πίνακας 5.15</b> Προβλεπόμενες χρήσεις για την επαναχρησιμοποίηση νερού περιλαμβάνονται στα πρότυπα των κρατών μελών της ΕΕ (Sanz and Gawlik, 2014).....	66
<b>Πίνακας 5.16</b> Προβλεπόμενες χρήσεις για επαναχρησιμοποίηση νερού που περιλαμβάνονται στα πρότυπα των κρατών μελών της ΕΕ (Sanz and Gawlik, 2014).....	68
<b>Πίνακας 5.17</b> Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ( <a href="https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrisimopoiisi-epexergasmenon-ygron-arovlito.html">https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrisimopoiisi-epexergasmenon-ygron-arovlito.html</a> ).....	73
<b>Πίνακας 7.1</b> Τιμές πόσιμου και ανακτημένου νερού στο Ισραήλ (Aharoni, 2010). ....	97
<b>Πίνακας 7.2</b> Τιμή νερού ανάλογα με την ποιότητα του στην πόλη Brisbane της Αυστραλίας.....	98
<b>Πίνακας 7.3</b> Τιμές νερού ανάλογα με τη χρήση του στην ευρεία περιοχή του Σίδνεϊ ( <a href="https://www.sydneywater.com.au/">https://www.sydneywater.com.au/</a> ).....	98
<b>Πίνακας 7.4</b> Τιμή νερού ανάλογα με το είδος νερού στην Σιγκαπούρη ( <a href="https://www.pub.gov.sg/">https://www.pub.gov.sg/</a> ).....	100
<b>Πίνακας 7.5</b> Τιμολόγηση νερού σε συνθήκες CAP και Non CAP στο Όστιν του Τέξας.....	101
<b>Πίνακας 0.2</b> Βαθμίδες τιμολογίου συγκριτικά με τον συνολικό προϋπολογισμό του νερού ανάλογα με τη χρήση στο South Orange των ΗΠΑ.....	102

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1.1</b> Κατανομή νερού στον πλανήτη Γη ( <a href="https://www.slideshare.net/elokab/ss-7398738">https://www.slideshare.net/elokab/ss-7398738</a> ).....	13
<b>Εικόνα 1.2</b> Ο ρόλος της επαναχρησιμοποίησης, ανάκτησης και των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης στον κύκλο νερού μέσω του υδρολογικού κύκλου (Metcalf and Eddy, 2003).....	14
<b>Εικόνα 1.3</b> Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού (Gikas and Tchobanoglous, 2009).....	15
<b>Εικόνα 1.4</b> Συστημικές ροές στον κύκλο του νερού με έμφαση στις αστικές και περιαστικές χρήσεις και στην επαναχρησιμοποίηση (ανακύκλωση) (Κασσελά, 2018).....	16
<b>Εικόνα 2.1</b> Κάτοψη και τομή κυκλικής δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) (Νταράκας, 2010).....	21
<b>Εικόνα 2.2</b> Κροκίδωση (προσθήκη κροκιδωτικού) - Συσσωμάτωση - Καθίζηση Συσσωματωμάτων (Βλυσίδης, 2021).....	23
<b>Εικόνα 2.3</b> Εσωτερική όψη αυτοκαθαριζόμενου αμμόφιλτρου ανοδικής ροής.....	24
<b>Εικόνα 2.4</b> Τεχνολογία μεμβρανών MBRs ( <a href="https://www.thembrsite.com/directories/membrane-products/berghof-b-smart-mbr/">https://www.thembrsite.com/directories/membrane-products/berghof-b-smart-mbr/</a> ).....	26
<b>Εικόνα 2.5</b> Χλωρίωση – Οζόνωση (Γκίκας, 2020).....	28
<b>Εικόνα 2.6</b> Σύστημα υπεριώδους ακτινοβολία UV (Γκίκας, 2020).....	29
<b>Εικόνα 6.1</b> Χάρτης τιμολογίων παγκοσμίως μέσω της πλατφόρμας IBNet ( <a href="https://tariffs.ib-net.org/">https://tariffs.ib-net.org/</a> ).....	92
<b>Εικόνα 7.1</b> Συνολικός όγκος επαναχρησιμοποίησης νερού το 2018 στην Σιγκαπούρη και διάφορα WRP (water reclamation plant) ( <a href="https://www.pub.gov.sg/">https://www.pub.gov.sg/</a> ).....	99
<b>Εικόνα 0.1</b> Τρόπος υπολογισμού του νερού για εσωτερικούς χώρους.....	103
<b>Εικόνα 0.2</b> Τρόπος υπολογισμού του νερού για εξωτερικούς χώρους.....	103

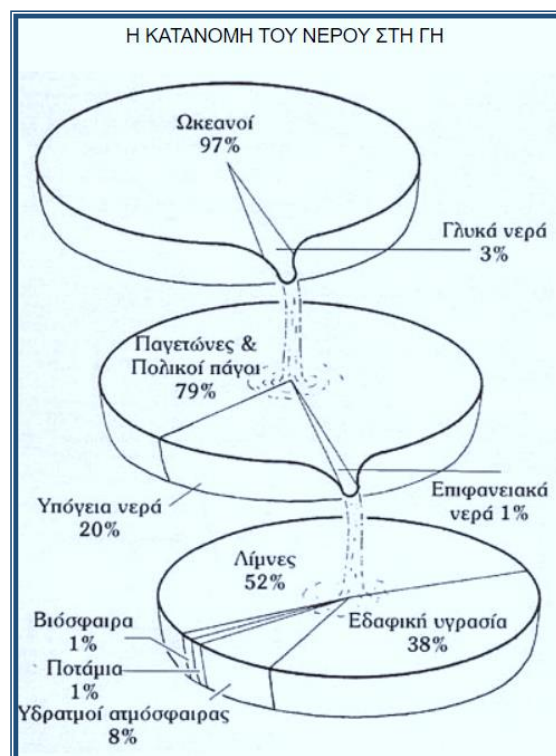
## Κατάλογος Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 5.1</b> Οργάνωση Κυβερνητικής Δομής για την εφαρμογή και επιβολή του Νόμου Johkasou (Gaulke, 2006).....	47
<b>Διάγραμμα 5.2</b> Προβλεπόμενη παροχή νερού ανά κλάδους έως το 2030 για τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (EPA, 2012).....	52
<b>Διάγραμμα 5.3</b> WSI% (λόγος αφαίρεσης/διαθεσιμότητας): WSI κάτω από 10%, χαμηλό. WSI από 10% έως 20%, μέτρια. WSI από 20% έως 40%, υψηλό και WSI πάνω από 40%, σοβαρό (Angelakis and Gikas, 2014).....	61
<b>Διάγραμμα 5.4</b> Επαναχρησιμοποίηση νερού στην Ευρώπη (Angelakis and Gikas, 2014).....	62
<b>Διάγραμμα 5.5</b> Βασικά σημεία τροποποίησης της ΚΥΑ145116/2011 και της ΚΥΑ191002/2013 (ΦΕΚ Β 2220) ( <a href="https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrisimopoiisi-epexergasmenon-ygron-apovlition.html">https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrisimopoiisi-epexergasmenon-ygron-apovlition.html</a> ).....	72
<b>Διάγραμμα 6.1</b> Οικονομικός μηχανισμός εξισορρόπησης για την ζήτηση και την προσφορά νερού (Wu, 2011).....	78
<b>Διάγραμμα 6.2</b> Γενικές αρχές για την αξία του νερού (Rogers et al., 2001).....	78
<b>Διάγραμμα 6.3</b> Γενικές αρχές για το κόστος του νερού (Rogers et al., 2001).....	79
<b>Διάγραμμα 6.4</b> Είδη κόστους νερού (European Commission, 2003).....	79
<b>Διάγραμμα 6.5</b> Χρήση οριακών κόστη και οφέλη για το μέγεθος του έργου βελτιστοποίηση (Metcalf and Eddy, 2003).....	87
<b>Διάγραμμα 7.1</b> Τιμή νερού ανά $m^3$ συναρτήσει της επεξεργασίας του νερού στην περιοχή της Βαλένθιας (Sancho et al., 2003).....	105

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Ανακυκλωμένο νερό

Το νερό αποτελεί το βασικότερο θεμέλιο για την ύπαρξη και την λειτουργία της έμβιας ζωής στον πλανήτη. Το νερό μπορεί να θεωρηθεί είτε ως φυσικός πόρος, είτε ως οικονομικό αγαθό είτε και ως περιβαλλοντικό στοιχείο ανάλογα με το είδος και την διαχείριση του. Η σπουδαιότητα του οφείλεται στο γεγονός ότι είναι αναντικατάστατο, μοναδικό και συμβάλει στην διαχείριση των υδάτινων πόρων με σκοπό την βιώσιμη και αειφόρο ανάπτυξη (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg763e/ch8.htm>). Σύμφωνα με οικονομικούς αναλυτές το νερό αποκαλείται «γαλάζιος χρυσός». Η ονομασία αυτή είναι εύστοχη διότι τα τελευταία χρόνια το παγκόσμιο επενδυτικό ενδιαφέρον εστιάζει όλο και πιο πολύ γύρω από την ύδρευση, την εμφιάλωση, και τον καθαρισμό του νερού (Χρυσικόπουλος, 2018).

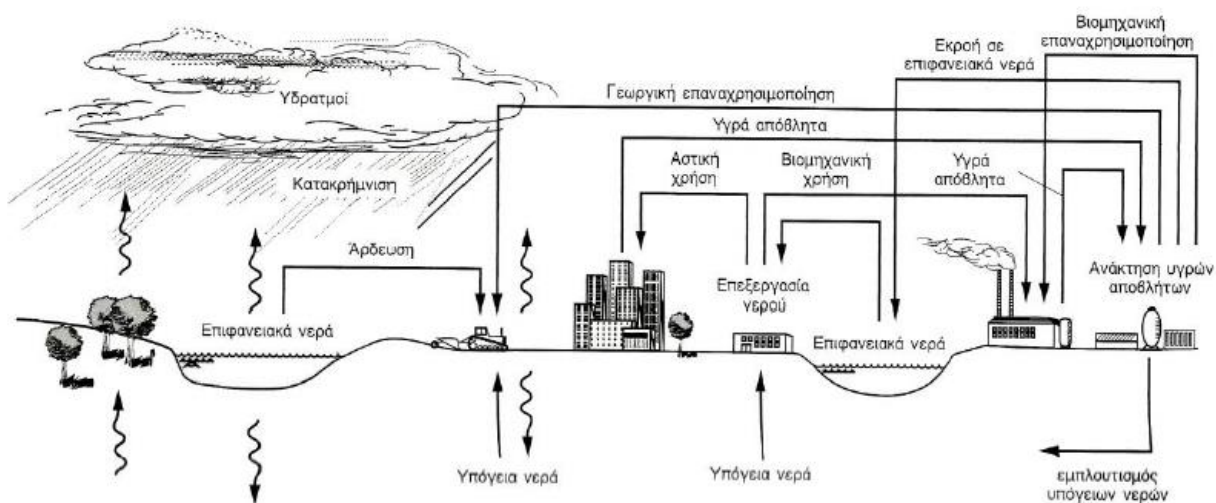


**Εικόνα 1.1** Κατανομή νερού στον πλανήτη Γη (<https://www.slideshare.net/elokab/ss-7398738>).

Με βάση την Εικόνα 1.1 παρατηρείται ότι το 97% του συνολικού νερού της γης είναι αλμυρό ενώ το 3% είναι γλυκό, εκ των οποίων το 79% βρίσκεται στους πόλους ή είναι παγετώνες. Ωστόσο το 20% εντοπίζεται στα υπόγεια νερά και μόνο το 1% είναι επιφανειακά νερά. Από το 1% των επιφανειακών νερών το 52% βρίσκεται στις λίμνες και μόνο το 1% στους ποταμούς (<https://www.slideshare.net/elokab/ss-7398738>). Οι υδάτινοι πόροι (επιφανειακά και υπόγεια ύδατα) ανανεώνονται μέσω της ατέρμονης κυκλικής διεργασίας της εξάτμισης, της καθίζησης και της απορροής του νερού. Επίσης υπάρχουν πολλοί δευτερεύοντες κύκλοι στον υδρολογικό κύκλο οι οποίοι σχετίζονται με την μεταφορά του νερού.

Η ανάκτηση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελούν σημαντικά στοιχεία του κύκλου του νερού στις αστικές, στις βιομηχανικές και στις αγροτικές περιοχές (Metcalf and Eddy, 2003). Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση νερού επικεντρώνεται στην παραγωγή νερού μέσω διαδικασιών επεξεργασίας νερού γεγονός που εισάγει έναν βρόγχο ανατροφοδότησης (feedback loop) στον κύκλο του νερού Εικόνα 1.2.

Ουσιαστικά είναι ένα «προϊόν» του κύκλου του νερού, το οποίο έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται ανάλογα με την επιθυμητή χρήση καθώς εξαρτάται από διάφορα κριτήρια ποιότητας που αντιστοιχούν στην τελική διάθεση (Kirhensteine et al., 2016).



**Εικόνα 1.2** Ο ρόλος της επαναχρησιμοποίησης, ανάκτησης και των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης στον κύκλο νερού μέσω του υδρολογικού κύκλου (Metcalf and Eddy, 2003).

Με τον όρο επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων εννοείται η εν γένει διαχείριση των υγρών αποβλήτων μέσω της οποίας τα λύματα μπορούν να ανακτηθούν ως νερό με στόχο την επαναχρησιμοποίησή τους. Αντιθέτως, ως ανακύκλωση ορίζεται η εσωτερική ανάκτηση των υγρών αποβλήτων μίας ΕΕΛ και η ανακύκλωση αυτών στην παραγωγική διαδικασία (<https://ypen.gov.gr/diacheirisi-apovliton/astika-lymata/nomothesia/>).

**Ανακυκλωμένο ή ανακτημένο νερό** είναι το νερό το οποίο έχει ωφέλιμη χρήση και είναι αποτέλεσμα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, κατάλληλο για άμεση χρήση ή για ελεγχόμενη χρήση η οποία διαφορετικά δεν θα γινόταν (Metcalf and Eddy, 2003).

## 1.2 Ανάγκες επαναχρησιμοποίησης νερού

Η διαχείριση των υδατικών πόρων θα πρέπει να συμβαδίζει με τους όρους που έχει επιβάλει η αειφόρος ή βιώσιμη ανάπτυξη. Με τον όρο αυτό προβλέπεται η διατήρηση και συνέχιση ζωής στον πλανήτη. Γίνεται δηλαδή μια προσπάθεια για την κάλυψη των υδατικών αναγκών πράγμα που δεν πρέπει να αποτελεί τροχοπέδη και για μελλοντικές γενιές αλλά και τις ήδη υπάρχουσες (Τσώτα, 2019). Αναμφισβήτητα, στον τομέα των υδάτων υπάρχουν ποικίλες προκλήσεις, με δυσμενέστερη την κλιματική αλλαγή η οποία διαταράσσει την ισορροπία και την διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων πάνω στον πλανήτη.

Συνοδεύει αυτής, ασκούνται πιέσεις και από μη κλιματικούς παράγοντες όπως η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, η ταχεία οικονομική ανάπτυξη, οι αλλαγές στις χρήσεις γης και οι ολοένα και αυξημένες ανάγκες του ανθρώπου, επιδεινώνοντας και υποβαθμίζοντας την ήδη νοσηρή κατάσταση των υδάτων ως προς τα αποθέματα γλυκού νερού (Kundzewicz et al., 2007).

Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης νερού κυρίως σε ημίξηρες περιοχές η επαναχρησιμοποίηση νερού από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο. Η επαναχρησιμοποίηση νερού χρησιμοποιεί το νερό το οποίο προέρχεται από την ανάκτηση υγρών



αστικών αποβλήτων, ημι-ακάθαρτων νερών ή από οποιαδήποτε άλλη πηγή υγρών αποβλήτων όπως βιομηχανικά απόβλητα. Στην Εικόνα 1.3 παρουσιάζονται οι εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού.

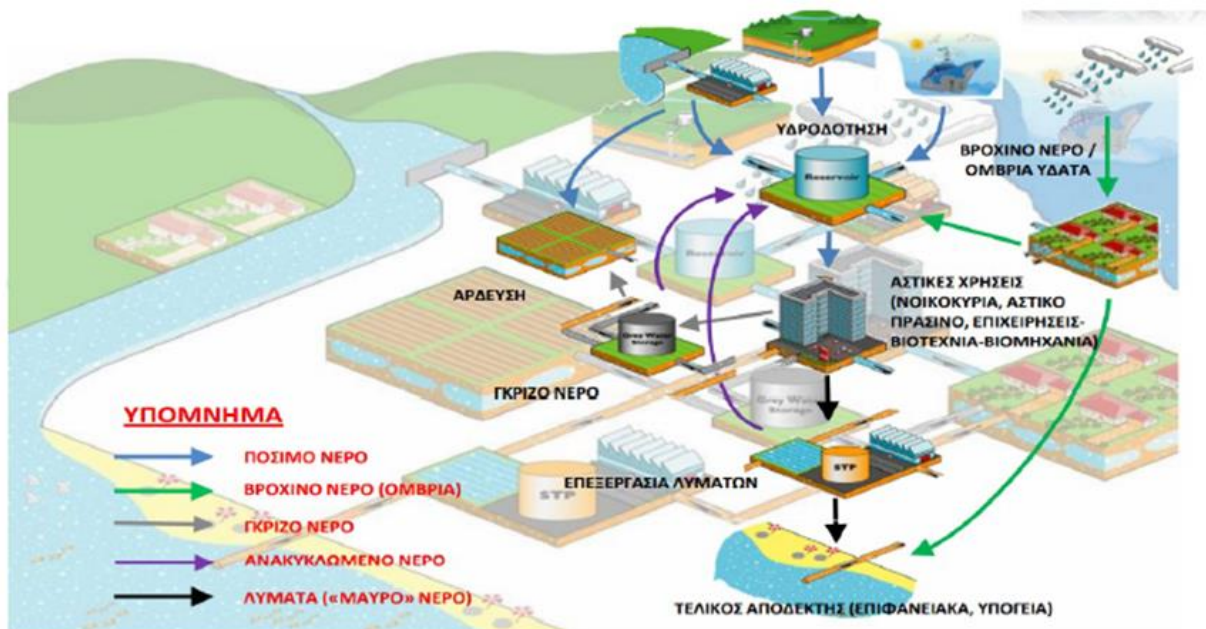
Εφαρμογή	Παρατηρήσεις
Γεωργικές εφαρμογές	Οι ελεγχόμενες γεωργικές εφαρμογές είναι οι πλέον διαδεδομένες διεθνώς. Παράμετροι όπως η ποιότητα του εδάφους, το είδος των καλλιεργειών, ο τύπος του συστήματος άρδευσης, οι κλιματικές συνθήκες και η ισχύουσα νομοθεσία καθορίζουν τα ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά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

<sup>ο</sup> Βασισμένο στη δημοσίευση των Asano et al. (2007)

**Εικόνα 1.3** Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού (Gikas and Tchobanoglous, 2009).

Σκοπός της επαναχρησιμοποίησης είναι η επιστροφή κατάλληλης ποιότητας νερού έτσι ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες που προκύπτουν από την κατάλληλη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με στόχο την προστασία και την εξοικονόμηση του πόσιμου νερού. Αποτελεί μία εναλλακτική λύση για την διάθεση νερού συμβάλλοντας στην προστασία των υδατικών πόρων και του περιβάλλοντος και συγχρόνως εξοικονομούνται χρήματα διότι το ανακτημένο νερό είναι πιο φθηνό από το νερό ύδρευσης ή άρδευσης (Metcalf and Eddy, 2003).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η γεωργία αποτελεί τον μεγαλύτερο τομέα κατανάλωσης νερού, απαρτίζοντας το 70% της υφιστάμενης κατανάλωσης υδατικών πόρων στον πλανήτη. Επομένως, είναι μεγαλύτερη η ανάγκη για κοστολόγηση του αρδευτικού νερού σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις του, καθώς οι αρδεύσεις συνδέονται άμεσα με το γεωργικό εισόδημα και κατά συνέπεια με τον κοινωνικό χαρακτήρα του νερού (Τσώτα, 2019). Στη συνέχεια και σύμφωνα με την ακόλουθη Εικόνα 1.4 παρουσιάζονται όλες οι συστημικές ροές του νερού για διάφορες χρήσεις καθώς διαπιστώνεται ότι τα διαφορετικά είδη νερού όπως πόσιμο, βρόχινο (όμβρια), γκρίζο, ανακυκλωμένο και το μαύρο (λύματα) ακολουθούν μία κυκλική πορεία (ανακύκλωση) και διαπερνάνε από αστικές και περιφερειακές χρήσεις ώστε να καταλήξουν στον τελικό αποδέκτη.



**Εικόνα 1.4** Συστημικές ροές στον κύκλο του νερού με έμφαση στις αστικές και περιαστικές χρήσεις και στην επαναχρησιμοποίηση (ανακύκλωση) (Κασσελά, 2018).

#### Χρήσεις ανακτημένου νερού:

- **Άρδευση:** Σύμφωνα με το είδος της καλλιέργειας, το σύστημα που χρησιμοποιείται για άρδευση και η δυνατότητα πρόσβασης της αρδευόμενης περιοχής διακρίνονται δύο τύποι άρδευσης.

**Πίνακας 1.1** Περιορισμένη και Απεριόριστη Άρδευση (Smith, 2012).

Περιορισμένη Άρδευση	Απεριόριστη Άρδευση
Καρποί οι οποίοι δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, καταναλώνονται ύστερα από θερμική επεξεργασία και δεν έχουν επαφή με το έδαφος ούτε κατά την καλλιέργεια αλλά ούτε και κατά την συλλογή τους (π.χ. βιομηχανικές καλλιέργειες, ζωοτροφές, λιβάδια και δέντρα πλην οπωροφόρων).	Υπόλοιπα είδη καλλιεργειών τα οποία παράγουν προϊόντα προς κατανάλωση συμπεριλαμβανομένου και τα ωμά προϊόντα όπως λαχανικά, αμπέλια και οπωροφόρα δέντρα.
Απαγόρευση άρδευσης με καταιονισμό και είσοδος του κοινού στην αρδευόμενη περιοχή.	Μη περιορισμός ως προς τη μέθοδο άρδευσης και την πρόσβαση του κοινού.

- **Αστική και περιαστική χρήση:** Στην πλειοψηφία αφορούν την άρδευση χώρων αστικού και περιαστικού πρασίνου, δασικών εκτάσεων και χώρων αναψυχής λόγου χάριν, δάση, δημόσια πάρκα, άλση, γήπεδα γκολφ, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφεία, αυλές και κήποι σπιτιών και ξενοδοχείων. Επιπλέον, αφορά την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, τα κολυμβητήρια, την παροχή τεχνητών λιμνών και σιντριβανιών και τέλος τις οικιακές δραστηριότητες. Συνήθως η χρήση ανακτημένου νερού στο αστικό περιβάλλον προϋποθέτει την κατασκευή ενός ξεχωριστού δικτύου για την διανομή του.



**Πίνακας 1.2** Περιορισμένη και Απεριόριστη αστική και περιαστική χρήση (Smith, 2012).

Περιορισμένες χρήσεις	Απεριόριστες χρήσεις
Απαγόρευση και περιορισμός πρόσβασης του κοινού σε περιπτώσεις όπως φράχτες, χρονικοί περιορισμοί πρόσβασης.  Απαγόρευσης ποτίσματος με καταινισμό.	Απουσία οποιαδήποτε περιορισμού πρόσβασης του κοινού ή της επαφής με το ανακτημένο νερό.

- **Βιομηχανική χρήση:** Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για νερό ψύξης, για βαρέα βιομηχανία, για αναπλήρωση νερού σε λέβητες και χρήση σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες αλλά και παραγωγή ενέργειας. Οι απαιτήσεις για την ορθή ποιότητα του ανακτημένου νερού που προορίζεται για βιομηχανική χρήση διαφέρουν ανάλογα με το είδος της βιομηχανικής δραστηριότητας. Σε πολλές περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητη η προχωρημένη ή ειδική επεξεργασία των λυμάτων έτσι ώστε να γίνουν κατάλληλες για συγκεκριμένες χρήσεις. Να σημειωθεί ότι η ελληνική νομοθεσία δεν επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση νερού στις βιομηχανίες προϊόντων για ανθρώπινη κατανάλωση.
- **Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα:** Η τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (των οποίων το νερό δεν είναι κατάλληλο για πόση) γίνεται είτε άμεσα μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με την βαρύτητα είτε έμμεσα με διήθηση του ανακτημένου νερού στο εδαφικό στρώμα και έχει ως στόχο:
  - I. Την αποθήκευση υδατικών πόρων για μελλοντικές χρήσεις και για την εξισορρόπηση των διακυμάνσεων ζήτησης.
  - II. Την ανύψωση του υδροφόρου ορίζοντα που φθίνει λόγω της υπερεκμετάλλευσης.
  - III. Την αποτροπή διείσδυσης και ανύψωσης του θαλασσινού νερού με το γλυκό (παραθαλάσσιοι υδροφορείς).
  - IV. Τον έλεγχο για πιθανές κατιζήσεις εδάφους.
- **Πόσιμο νερό:** Η επαναχρησιμοποίηση νερού ανεξαρτήτου χρήσης διακρίνεται σε άμεση και έμμεση αναλόγως αν έχει προηγηθεί αποθήκευση ή ανάμιξη του ανακτημένου νερού με άλλα νερά. Η επαναχρησιμοποίηση για πόση χωρίζεται σε δύο κατηγορίες όπως αναγράφεται στον Πίνακα 1.3:

**Πίνακας 1.3** Άμεση και Έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση (Smith, 2012).

Άμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση	Έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση
Απευθείας εισαγωγή ανακτημένου νερού στο δίκτυο παροχής πόσιμου νερού ύστερα από προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων χωρίς καμία αποθήκευση ή ανάμιξη με άλλους υδατικούς πόρους.	Προγραμματισμένη αξιοποίηση ανακτημένου νερού ύστερα από προχωρημένη επεξεργασία αλλά και ανάμιξη με γλυκό νερό σε υπόγειους ή επιφανειακούς ταμιευτήρες.  Τεχνητός τρόπος εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων ως απόκτηση προς χρήση πόσιμου νερού.

### 1.3 Προβλήματα έλλειψης νερού

Σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες παρατηρείται έντονη ποσοτική διαφορά μεταξύ της διαθεσιμότητας του νερού και της ζήτησης για διάφορες χρήσεις. Ο πληθυσμός τείνει να συγκεντρώνεται στις ακτογραμμές αυξάνοντας την πίεση στα αποθέματα του γλυκού νερού καθώς οι υδάτινοι πόροι είναι περιορισμένοι. Ως εκ τούτου, οι κοινωνικοοικονομικές αλλαγές και οι νέες διατροφικές συνήθειες έχουν επηρεάσει την χρήση υδατικών πόρων (Σταθάτου, 2017). Για τον λόγο αυτό στην συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει αναφορά στα πιο κύρια προβλήματα τα οποία είναι η υπαλμύριση, η ξηρασία, η ερημοποίηση και οι υπεραντλήσεις και γεωτρήσεις.

Επιπροσθέτως, η ρύπανση από πηγές όπως μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, γεωργικές απορροές και υπερχειλίσσεις όμβριων υδάτων και αναδυόμενοι κίνδυνοι όπως μικρορύπτοι από προϊόντα προσωπικής φροντίδας θέτουν προκλήσεις στη διατήρηση καθαρού και υγιεινού νερού για χρήση από τους ανθρώπους. Οι πυκνοκατοικημένες λεκάνες απορροής ποταμών σε διάφορα μέρη της Ευρώπης που αντιστοιχούν στο 11% της συνολικής έκτασης της Ευρώπης εξακολουθούν να αποτελούν εστίες για συνθήκες υδατικής πίεσης, που για το καλοκαίρι του 2014 αντιστοιχούσε σε 86 εκατομμύρια κατοίκους οι οποίοι έμεναν σε αυτές τις περιοχές. Περίπου το 40% των κατοίκων της Μεσογείου ζούσαν υπό συνθήκες πίεσης (ΕΕΑ, 2023). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως σε κάποιες χώρες το μέσο ύψος της βροχής θα αυξηθεί σημαντικά όπως αναμένεται να συμβεί στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη.

Σε χώρες του τρίτου κόσμου η ανομβρία θα γίνει εντονότερη ενώ σε περιοχές της Μεσογείου θα αλλάξει η κατανομή των βροχοπτώσεων στην διάρκεια του χρόνου, για το λόγο ότι θα εκδηλώνονται με μεγαλύτερη συχνότητα ακραία καιρικά φαινόμενα. Να σημειωθεί ότι το έδαφος ως γνωστό δεν μπορεί να προλάβει και να δεσμεύσει το νερό το οποίο διηθείται όταν αυτό έρχεται σε μεγάλες ποσότητες και σε σύντομα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος από βροχοπτώσεις να απορρέει αναξιοπίστο (Τρούσσα, 2009). Τα προβλήματα έλλειψης νερού τις τελευταίες δυο δεκαετίες οξύνονται καθώς παρατηρούνται συχνά φαινόμενα ξηρασίας σε πολλές χώρες της Ευρώπης π.χ. Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο γεγονός που έχει προκαλέσει μεταβολές στις ροές ποταμών και στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (Bixio et al., 2005). Εκτιμάται ότι, μέχρι τα 2030 οι μισές από τις Ευρωπαϊκές Λεκάνες Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ) θα αντιμετωπίσουν προβλήματα ξηρασίας, λειψυδρίας ή σπανιότητας ύδατος. Ως κυριότερη απειλή αυτού θεωρείται η υπεράντληση των διαθέσιμων υδατικών πόρων κυρίως στον τομέα της άρδευσης καλλιεργειών αλλά και για βιομηχανικές και αστικές χρήσεις συμπεριλαμβανομένου και του τουρισμού (EUROPA, 2020).

Το πρόβλημα της υπεράντλησης επιβαρύνει την ποιότητα των υδατικών πόρων διότι πολλά ποτάμια και υπόγεια υδατικά συστήματα εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) λόγω χρήσης φυτοφαρμάκων ή λιπασμάτων στη γεωργία αλλά και σημειακές πηγές ρύπανσης κατά την απόρριψη προϊόντων από Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων προκαλώντας το φαινόμενο του ευτροφισμού. Η πληθυσμιακή άνοδο και η αστικοποίηση ενισχύουν τις συνθήκες λειψυδρίας ειδικά σε μέρη όπως είναι τα νησιά της Μεσογείου και τις πυκνοκατοικημένες περιοχές τα τελευταία χρόνια. Η λειψυδρία εμφανίζεται όταν δεν υπάρχουν επαρκείς υδατικοί πόροι για να ικανοποιηθούν οι μακροπρόθεσμες μέσες απαιτήσεις. Αυτό το γεγονός αναφέρεται σε μακροχρόνιες ανισορροπίες νερού, συνδυάζοντας τη χαμηλή διαθεσιμότητα νερού με ένα επίπεδο ζήτησης νερού που υπερβαίνει την ικανότητα παροχής του φυσικού συστήματος. Η λειψυδρία οφείλεται κυρίως σε δύο παράγοντες:

- I. Στο κλίμα, το οποίο ελέγχει τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πόρων γλυκού νερού και την εποχικότητα στην παροχή νερού.
- II. Στη ζήτηση νερού, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον πληθυσμό και τις συναφείς οικονομικές δραστηριότητες.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συχνά στα νότια και δυτικά μέρη της Ευρώπης. Περισσότερο από το ήμισυ της Νότιας Ευρώπης ζει ασταμάτητα υπό συνθήκες λειψυδρίας, από τις οποίες η γεωργία και η δημόσια παροχή νερού, συμπεριλαμβανομένου του τουρισμού (EEA, 2023). Η ανορθολογική χρήση του εδάφους από τον άνθρωπο συντελεί στην υποβάθμιση και ερημοποίηση η οποία συνδυάζεται με την χαμηλή παραγωγικότητα του εδάφους και με την εξάντληση των αποθεμάτων νερού.

Η ερημοποίηση δε συνιστά νέο φαινόμενο αλλά είναι ουσιαστικά τμήμα της εξελικτικής πορείας των οικοσυστημάτων με κατάληξη την καταστροφή παραγωγικών περιοχών επί αιώνες. Πιο συγκεκριμένα, υποβαθμίζει τις γόνιμες εκτάσεις γης και αφήνει κηλίδες απογύμνωσης περιοχών οι οποίες εξαπλώνονται και πιθανώς ενοποιούνται προκαλώντας χαμηλής παραγωγικότητα. Το εν λόγω φαινόμενο είναι πολυδιάστατο και συνδυάζει φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες:

- Αυξάνουν το ρυθμό της υδατικής, μηχανικής και αιολικής διάβρωσης του εδάφους.
- Συντελούν στην υποβάθμιση των βιολογικών, χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του φυσικού αυτού πόρου.
- Συντελούν στο να μειωθεί η φυσική βλάστηση.

Η διεργασία που μειώνει την εδαφική παραγωγικότητα είναι η διάβρωση γεγονός που δημιουργεί μείωση του βάθους και απώλεια βλάστησης αλλά συγχρόνως, εξίσου σημαντικές περιοχές κινδυνεύουν λόγω της αλάτωσης των εδαφών η οποία πηγάζει από την υφαλμύριση των υδροφορέων. Επιπλέον, η ερημοποίηση επιφέρει νοσηρές οικονομικές συνέπειες διότι μειώνεται το αγροτικό εισόδημα λόγω χαμηλής ποιότητας παραγωγής, προκαλώντας μια αναγκαστική μετατόπιση του πληθυσμού (Χρυσικόπουλος, 2018).

## 2. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

### 2.1 Υγρά Απόβλητα

Η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ αφορά τη συλλογή, την επεξεργασία και την απόρριψη αστικών λυμάτων και την επεξεργασία και απόρριψη λυμάτων από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς, με σκοπό της προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιπτώσεις της απόρριψης αυτών των λυμάτων.

Τα λύματα είναι το κλάσμα των υγρών αποβλήτων που προέρχεται από τους χώρους υγιεινής, μαγειρεία, πλυντήρια και γενικά από την καθαριότητα κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων, κτλ. (Μπακοπούλου, 2014). Τα υγρά απόβλητα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες με βάση την προέλευση τους (Λυμπεράτος κ.α., 2004):

- I. Αστικά (κατοικίες, εμπορικά κέντρα, εγκαταστάσεις αναψυχής, κτλ.).
- II. Αποστραγγιζόμενα (διαρροές από σωληνώσεις και τοιχώματα) και εισρέοντα (νερά ψύξης, σιντριβάνια, κτλ.).
- III. Όμβρια ύδατα.
- IV. Υγρά απόβλητα που δημιουργούνται από τη λειτουργία των μονάδων παραγωγικής διαδικασίας των βιομηχανικών και γεωργικών εγκαταστάσεων.

Τα υγρά απόβλητα (λύματα) οδηγούνται στην εγκατάσταση υγρών αποβλήτων με αποχετευτικά δίκτυα ή με βυτία βοθρολυμάτων. Τα αποχετευτικά δίκτυα διακρίνονται σε χωριστικά και παντορροϊκά δίκτυα. Στα πρώτα γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα στα αστικά υγρά απόβλητα και στα όμβρια ύδατα, ενώ στην δεύτερη περίπτωση συμπεριλαμβάνονται όλα τα είδη προέλευσης (Κορνάρος, 2015). Τα έργα αποχέτευσης και επεξεργασίας των λυμάτων έχουν ως σκοπό την όσο το δυνατό γρηγορότερη και οικονομικότερη απομάκρυνση των νερών που έχουν χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους και είναι πλέον ακάθαρτα και βλαβερά για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, όσο και την κατάλληλη επεξεργασία τους ώστε να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον. Κύριο συστατικό των αποβλήτων είναι το νερό με ορισμένες ξένες προσμίξεις που το καθιστούν ακατάλληλο για διάθεση σε φυσικούς αποδέκτες (Κούγκολος, 2007).

### 2.2 Συμβατικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Αποβλήτων

#### 2.2.1 Προεπεξεργασία και Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

Οι βασικές διεργασίες καθαρισμού λυμάτων και νερού κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες: προεπεξεργασία, φυσικές, χημικές και φυσικοχημικές διεργασίες. Η πρωτοβάθμια επεξεργασία ή προεπεξεργασία υγρών αποβλήτων ονομάζεται διαφορετικά και μηχανική επεξεργασία διότι περιλαμβάνει τα στάδια της ανύψωσης, απόσμησης, εσχάρωσης, εξάμμωσης ή αμμοσυλλογής, λιπосуλλογής, εξισορρόπησης ογκομετρικής παροχής των αποβλήτων και την πρωτοβάθμια καθίζηση.

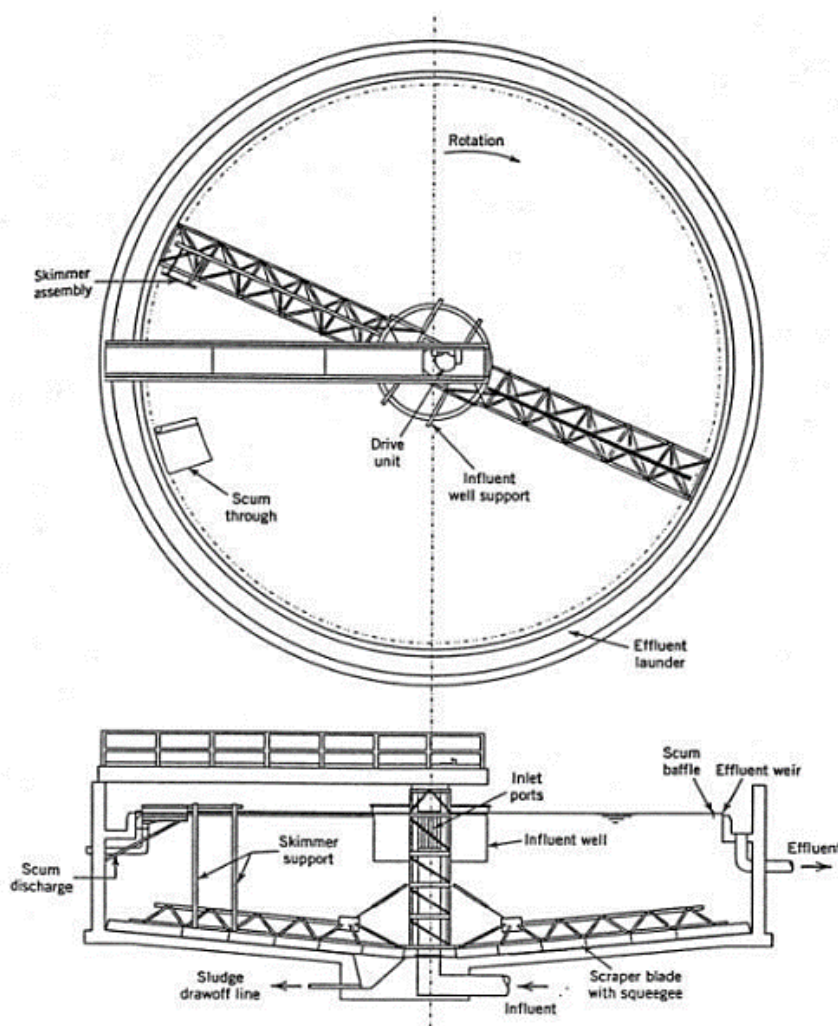
Τα υγρά απόβλητα τα οποία φτάνουν μέσω του αποχετευτικού δικτύου σε μία μονάδα επεξεργασίας λυμάτων πιθανών να χρειάζονται ανύψωση αν οι σωλήνες του αποχετευτικού είναι υπόγειες. Η ανύψωση των λυμάτων στην επιφάνεια γίνεται με τη βοήθεια αντλιών. Κατόπιν, ακολουθεί το στάδιο της απόσμησης των λυμάτων καθώς παρατηρείται έντονη δυσοσμία λόγω της αναερόβιας σήψης κατά τη διαδρομή τους εντός του δικτύου. Επομένως, οι μονάδες εγκατάστασης λυμάτων πρέπει να διαθέτουν στην είσοδο ένα σύστημα απόσμησης, όπου ο απαγόμενος δύσσοσμος αέρας συλλέγεται και μεταφέρεται σε ένα σύστημα απόσμησης.

Στην συνέχεια, λαμβάνει χώρα η διεργασία της εσχάρωσης η οποία στοχεύει στην απομάκρυνση των ογκώδων αντικειμένων αποφεύγοντας οποιαδήποτε έμφραξη ή τυχόν καταστροφή των

μηχανημάτων και έτσι εμποδίζεται η είσοδος στην ΕΕΛ. Η επόμενη διεργασία που ακολουθεί είναι η εξάμμωση. Κατά την διεργασία αυτή απομακρύνονται χαλίκια, κόκκοι άμμου, σωματίδια αργίλου ή άλλα σωματίδια γεωλογικής ή όχι υφής, διαμέτρου μεγαλύτερης από 200  $\mu\text{m}$  που δεν είναι οργανικά, με μεγάλες ταχύτητες καθίζησης σχετικά με εκείνες των οργανικών στερεών.

Ωστόσο, πρέπει να απομακρυνθούν λίπη και έλαια που εμφανίζονται να επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού ή των λυμάτων στο στάδιο της λιποσυλλογής, γεγονός που προκαλεί πρόβλημα στην βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η λιποσυλλογή μπορεί να πραγματοποιηθεί και πριν την εξάμμωση αλλά και ταυτόχρονα. Ένα ακόμη στάδιο της προεπεξεργασίας είναι η εξισορρόπηση ογκομετρικής παροχής λυμάτων από τις διακυμάνσεις λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων οι οποίες εμφανίζουν μία σχετική περιοδικότητα ή σε τυχαίες απρόβλεπτες εισροές υγρών αποβλήτων (π.χ. βιομηχανικά υγρά) (Χρυσικόπουλος, 2018).

Τελευταία διεργασία είναι η πρωτοβάθμια καθίζηση (Εικόνα 2.1), κατά την οποία απομακρύνονται τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους 0,1 έως 0,001 mm. Η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) οδηγεί σε μείωση και του βιομηχανικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) που οφείλεται σε αδιάλυτα οργανικά συστατικά και αφαιρεί το 50–70% των αιωρούμενων στερεών και το 25–40% του BOD<sub>5</sub>. Επιπρόσθετα, να σημειωθεί ότι το κύριο χαρακτηριστικό του τύπου αυτού καθίζησης είναι ότι τα σωματίδια συσσωματώνονται καθώς καθιζάνουν με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας τους αλλά και του μεγέθους τους (Κορνάρος, 2015).



**Εικόνα 2.1** Κάτοψη και τομή κυκλικής δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) (Νταράκας, 2010).

### 2.2.2 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

Κατά την δευτεροβάθμια επεξεργασία πραγματοποιείται πρώτων οξείδωση των διαλυμένων και σωματιδιακών βιοαποικοδομήσιμων συστατικών, δεύτερων γίνεται συσσωμάτωση και απομάκρυνση των μη καθιζόμενων κολλοειδών στερεών και τρίτων απομάκρυνση οργανικού φορτίου και θρεπτικών συστατικών όπως άζωτο και φώσφορος. Οι παραπάνω διεργασίες για να επιτευχθούν κρίνεται απαραίτητη η παρουσία μικροοργανισμών διότι μέσω αυτών διασπούν και σταθεροποιούν την οργανική ύλη η οποία γίνεται τροφή ώστε να αποκτήσουν ενέργεια και να αναπαραχθούν (Metcalf and Eddy, 2003).

Ένα μέρος του οργανικού φορτίου και ένα μεγάλο μέρος των στερεών από τα απόβλητα που εξέρχονται από την πρωτοβάθμια δεξαμενή έχει απομακρυνθεί. Η ποιότητα των λυμάτων δεν είναι κατάλληλη για απόρριψη στον αποδέκτη και για τον λόγο αυτόν ακολουθεί μία βιολογική αποδόμηση των οργανικών συστατικών η οποία επιτυγχάνεται στην δεξαμενή αερισμού. Η πιο γνωστή μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας είναι η μέθοδος της ενεργού ιλύος (Βλυσίδης κ.α., 2018). Στην δεξαμενή αερισμού εισέρχεται αέρας και οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στα λύματα καταναλώνουν την οργανική ύλη και έπειτα συσσωματώνονται και παράγουν μία ενεργή μάζα συσσωματωμάτων η οποία είναι γνωστή ως ενεργός ιλύς. Το μείγμα της ενεργού ιλύος με τα στερεά των υγρών αποβλήτων στην δεξαμενή αερισμού ονομάζεται ανάμεικτο υγρό ενώ τα στερεά ονομάζονται αιωρούμενα στερεά ανάμεικτου υγρού (MLSS). Επίσης, με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος αναπτύσσονται δύο βιολογικές διεργασίες για την απομάκρυνση του αζώτου, η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση (Metcalf and Eddy, 2003).

Ωστόσο, το μείγμα αποβλήτων και μεικτού υγρού οδηγείται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, από το φρεάτιο υπερχειλίσης που βρίσκεται κατάντη της δεξαμενής αερισμού. Στο σημείο αυτό και σε συνθήκες ισορροπίας τα στερεά καθιζάνουν και διαχωρίζονται από τη μάζα των επεξεργασμένων αποβλήτων. Το ποσοστό βιοαποδόμησης του οργανικού φορτίου BOD μπορεί να ξεπεράσει το 90% (Νταράκας, 2010).

### 2.2.3 Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Ως τριτοβάθμια επεξεργασία ορίζεται η επεξεργασία κατά την οποία απομακρύνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, τα αιωρούμενα, κολλοειδή και διαλυμένα συστατικά αλλά και οι τοξικές ουσίες που έχουν διαφύγει από την δευτεροβάθμια επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα, στην τριτοβάθμια επεξεργασία λαμβάνουν χώρα χημικές διεργασίες ώστε να απομακρύνουν ανόργανα ιόντα όπως ασβέστιο, κάλιο, θειικά, φωσφορικά τα οποία είναι υπεύθυνα για φαινόμενα ευτροφισμού. Αναπόσπαστο κομμάτι κατά την χημική επεξεργασία αποτελούν οι ακόλουθες διεργασίες.

#### **Κροκίδωση**

Πρώτη διεργασία που συναντάται και ανήκει την κατηγορία των χημικών διεργασιών είναι αυτή της κροκίδωσης στην οποία αποσταθεροποιούνται τα κολλοειδή σωματίδια με την προσθήκη κάποιου κροκιδωτικού μέσου. Τα σωματίδια έχουν μέγεθος συνήθως μικρότερα από περίπου 1 μm και δεν καθιζάνουν εύκολα. Το χημικό συστατικό που χρησιμοποιείται είναι π.χ. θειικός άργιλος, θειικός σίδηρος, αργιλικό νάτριο ή χλωριούχο πολυαργίλιο – PAC το οποίο προστίθεται. Έχει ηλεκτρικό φορτίο αντίθετο από αυτό των αιωρούμενων σωματιδίων των υγρών αποβλήτων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έλκονται δημιουργώντας συσσωματώματα. Ωστόσο, κατά την κροκίδωση επέρχεται γρήγορή ανάδευση για καλύτερη διασπορά εντός της δεξαμενής (Λοϊζίδου, 2006). Η διεργασία αυτή πάντα προηγείται της συσσωμάτωσης.

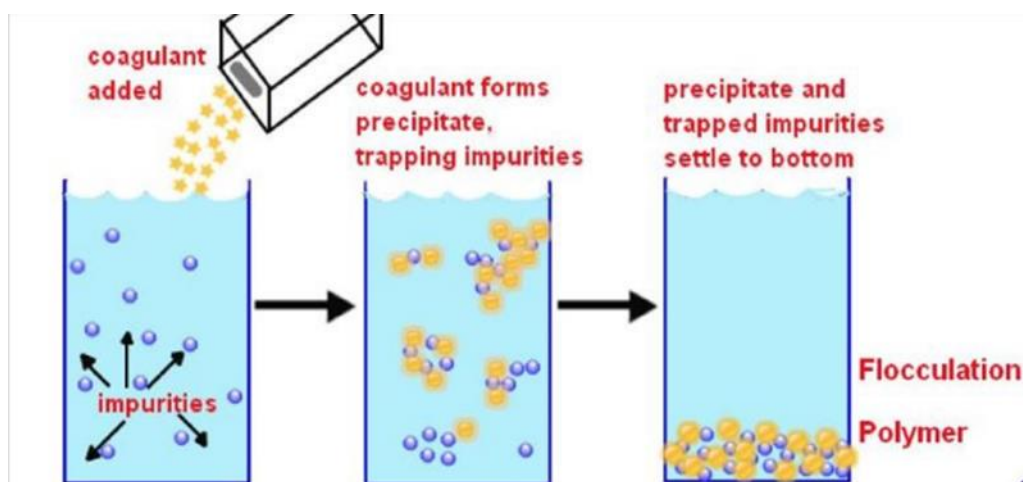


## Συσσωμάτωση

Η επόμενη σε σειρά διεργασία είναι η συσσωμάτωση που στόχο έχει την δημιουργία συσσωματωμάτων μέσω ειδικού συστήματος βραδείας ανάδευσης η οποία γίνεται με την προσθήκη ανιόντων ή κατιόντων πολυηλεκτρολυτών σε αποσταθεροποιημένο κολλοειδές σύστημα. Με τον τρόπο αυτόν θα μπορέσουν τα σωματίδια να απομακρυνθούν και να καθιζάνουν ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητα σε στερεά.

## Δεξαμενή Χημικής Καθίζησης

Μετά από αυτό το σημείο τα στερεά που έχουν μειωθεί κατά πολύ και εισέρχονται στην δεξαμενή χημικής καθίζησης. Θα μπορούσε η καθίζηση να αντικατασταθεί με κάπου είδους επίπλευση ή απευθείας διήθηση. Ο ρόλος πρακτικά της συγκεκριμένης δεξαμενής είναι η δυνατότητα όσα στερεά έχουν μείνει να καθιζάνουν. Στην Εικόνα 2.2 αναπαριστάνεται η διαδικασία από την προσθήκη κροκιδωτικού, την συσσωμάτωση και τέλος την καθίζηση των στερεών που έχουν απομείνει.



Εικόνα 2.2 Κροκίδωση (προσθήκη κροκιδωτικού) - Συσσωμάτωση - Καθίζηση Συσσωματωμάτων (Βλυσίδης, 2021).

## Διήθηση – Φίλτρανση

Το υγρό που εξέρχεται από την δεξαμενή οδηγείται στην επόμενη διεργασία που είναι η διήθηση. Συγκεκριμένα, εισέρχεται στο αμμόφιλτρο δηλαδή, ένα φίλτρο με διαβαθμισμένα χαλίκια και διηθητικά μέσα το οποίο συμβάλλει στην αφαίρεση οργανικών και κολλοειδών από το νερό. Συνήθως, υπάρχει και μία δεξαμενή αντίστροφης πλύσης ώστε να γίνει αποτελεσματική η διήθηση. Για να καταστεί σαφές η διαδικασία αυτή θα παρουσιαστούν παρακάτω κάποιες περιπτώσεις διήθησης.

Ο ρόλος της διήθησης ή αλλιώς φίλτρανσης είναι ο διαχωρισμός στερεών που μπορεί να βρίσκονται αιωρούμενα ή διαλυμένα στην υγρή φάση. Αναλόγως το είδος των στερεών που πρόκειται να απομακρυνθούν επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος ηθμού (φίλτρου). Συνήθως, οι επιλογές διήθησης είναι οι επιφανειακοί ηθμοί ή υφασμάτινα φίλτρα, το αμμόφιλτρο και οι μεμβράνες. Οι επιφανειακοί ηθμοί χρησιμοποιούνται για να απομακρύνουν αιωρούμενα στερεά κατά την διέλευση του ρευστού δια μέσου πορώδους διαφράγματος δηλαδή κάποιου υφάσματος.

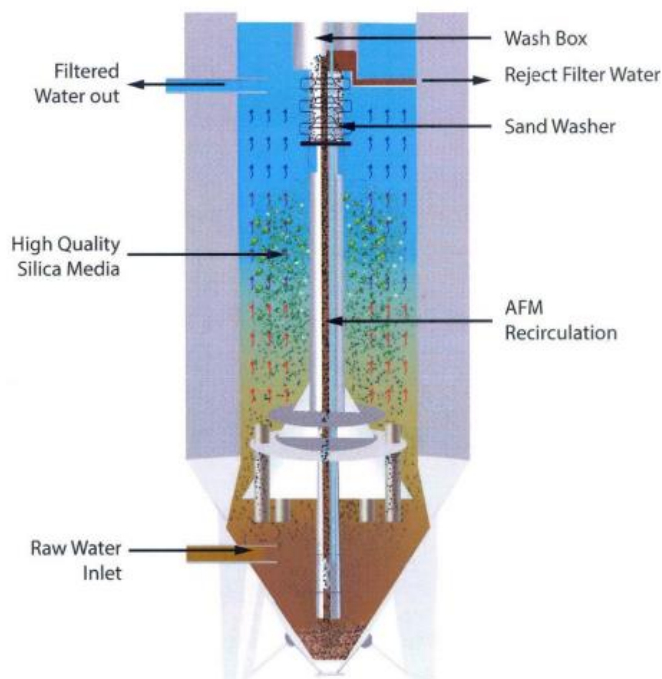
Η επόμενη περίπτωση που είναι η διήθηση με αμμόφιλτρα είναι κατάλληλη για την απομάκρυνση σωματιδιακών αιωρούμενων στερεών συμπεριλαμβανομένου και των κολλοειδών σωματιδίων. Για

να πετύχει η απομάκρυνση θα πρέπει να γίνουν πολύπλοκοι μηχανισμοί όπως μικροκροκίδωση επιφανειακά και στα διάκενα των κόκκων της άμμου.

Τα συσσωματωμένα στερεά απομακρύνονται με έκπλυση (backwashing). Στην βιβλιογραφία συναντώνται τρία είδη αμμόφιλτρων τα οποία είναι (Γκίκας, 2020):

- I. Αμμόφιλτρο κλειστού τύπου.
- II. Αυτοκαθαριζόμενο αμμόφιλτρο ανοδικής ροής (διαχύτες στον πυθμένα).
- III. Αμμόφιλτρο βαρύτητας .

Για παράδειγμα το εσωτερικό ενός αυτοκαθαριζόμενου αμμόφιλτρου ανοδικής ροής είναι όπως στην Εικόνα 2.3. Επίσης, τα αμμόφιλτρα βαρύτητας χωρίζονται πρώτον σε αυτά που είναι εμπλουτισμένα με ενεργό άνθρακα δεύτερον ως σύστημα απορροής και τρίτον με έκπλυση.



**Εικόνα 2.3** Εσωτερική όψη αυτοκαθαριζόμενου αμμόφιλτρου ανοδικής ροής.

Οι διεργασίες των μεμβρανών εφαρμόζονται σε διάφορες περιπτώσεις όπως για την παραγωγή πόσιμου νερού, την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, την παραγωγή γεωργικών και φυτικών προϊόντων κτλ. Οι μεμβράνες μπορούν να προσφέρουν υψηλή παραγωγικότητα τόσο όσον αφορά την ανάκτηση προϊόντων όσο και τη διατήρηση των ρύπων και έχοντας χαμηλό λειτουργικό κόστος σε σύγκριση με άλλες ανταγωνιστικές τεχνολογίες, καθώς δεν υπάρχει αλλαγή φάσης νερού και συχνά ελάχιστη ή καθόλου χρήση χημικών προσθέτων.

Μεταξύ των πολυάριθμων διατάξεων υλικών για μεμβράνες, οι κεραμικές μεμβράνες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στις βιομηχανίες πόσιμου νερού και επεξεργασίας λυμάτων σε σύγκριση με τις αντίστοιχες οργανικές και πολυμερείς λόγω της αντοχής τους σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας και πολυάριθμων διαθέσιμων και βιώσιμων πρωτοκόλλων καθαρισμού. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και εξαιρετικά αποδοτική απόδοση φιλτραρίσματος. Ανεξάρτητα από τα πολλά πλεονεκτήματά τους, οι μεμβράνες είναι ευαίσθητες σε ρύπανση, μια ενέργεια που μπορεί να είναι επιζήμια για την επιτυχημένη και συνεχή λειτουργία της μονάδας (Hakami et al., 2020).

Η χρήση μεμβρανών έχει ως στόχο το διαχωρισμό σωματιδίων διαφορετικού μεγέθους το οποία βρίσκονται στην ίδια φάση. Κύρια διεργασία των μεμβρανών είναι η διήθηση στην οποία δύο ή



περισσότερα συστατικά του υγρού ρεύματος μπορούν να διαχωριστούν με βάση τη διαφορά του μεγέθους των πόρων μεταξύ του μέσου διήθησης και των συστατικών που απομακρύνονται. Ουσιαστικά, παράγονται δύο εκροές μία το διήθημα και μία το συμπύκνωμα/απόρριψη (Λυμπεράτος και Βαγενάς, 2012).

Οι διαδικασίες διαχωρισμού μεμβράνης μικροδιήθησης (MF), υπερδιήθησης (UF) και νανοδιήθησης (NF) είναι ισχυρά αναδυόμενες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές διαδικασίες διαχωρισμού (Πίνακας 2.1). Οι διεργασίες μεμβράνης χρησιμοποιούνται προοδευτικά περαιτέρω σε πολλά πεδία υποκαθιστώντας τις συμβατικές τεχνικές συγκέντρωσης, διαχωρισμού και καθαρισμού (Hakami et al., 2020).

**Πίνακας 2.1** Γενικά χαρακτηριστικά των διεργασιών μεμβράνης (Hakami et al., 2020).

Μέγεθος πόρων μεμβράνης	<b>MF</b>	<b>UF</b>	<b>NF</b>	<b>RO</b>
Τυπικός μηχανισμός διαχωρισμού	Κοσκίνισμα	Κοσκίνισμα	Κοσκίνισμα, αποτέλεσμα φορτίου, προσρόφηση, διάχυση διαλύματος	Λύση-Διάχυση (περιορισμός διάχυσης), συναγωγή)
Μέγεθος πόρων (nm)	100-10.000	2-100	0,5-2	Άγνωστος
Πίεση (bar)	0,1-3	0,1-5	3-20	5-120
Διαπερατότητα ( $l/h \cdot m^2 \cdot bar$ )	>1000	10-1000	15-30	0,05-1,5

Οι βιοαντιδραστήρες μεμβράνης (Membrane Biological Reactors – MBRs) αναμφίβολα θεωρούνται ως το σημαντικότερο τεχνολογικό επίτευγμα τις τελευταίες δεκαετίες στο χώρο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Εικόνα 2.4). Οι MBRs αποτελούν ένα συνδυασμό των διεργασιών αιωρούμενης ανάπτυξης και της διήθησης μέσω μεμβρανών οι οποίες άρχισαν να εφαρμόζονται στα τέλη του 1960 και παρουσίασαν ύφεση την δεκαετία του 1990 όταν έγιναν εμφανή τα πλεονεκτήματά τους σε σύγκριση με τη διεργασία ενεργού ιλύος. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της διεργασίας αυτής είναι το γεγονός ότι οι απαιτήσεις σε επιφάνεια είναι πολύ μικρές, έχουν εξαιρετικής ποιότητας κατά την έξοδο τα υγρά απόβλητα εξού και η συχνή εφαρμογή για επαναχρησιμοποίηση νερού και παράγουν μικρότερη ποσότητα λάσπης. Το πιο σημαντικό όμως πλεονέκτημα είναι η αντικατάσταση της δευτεροβάθμιας καθίζησης για την διαύγαση του λύματος. Όμως η συγκεκριμένη τεχνολογία παρουσιάζει ένα βασικό μειονέκτημα το οποίο είναι το φράξιμο και η αντικατάσταση μεμβρανών (Λυμπεράτος και Βαγενάς, 2012). Οι μεμβράνες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής, τη δομή τους, το μηχανισμό διαχωρισμού και τα υλικά κατασκευής.

Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με την κατεύθυνση ροής, οι μεμβράνες μπορούν να λειτουργούν υπό συνθήκες μετωπικής ροής (Dead-end – όπου η τροφοδοσία είναι κάθετη προς την επιφάνεια διήθησης) ή υπό συνθήκες εφαπτομενικής ροής (Crossflow – όπου η τροφοδοσία είναι παράλληλη προς την επιφάνεια διήθησης και κάθετη προς την κατεύθυνση κίνησης του διηθήματος). Ως προς τη δομή τους οι μεμβράνες κατατάσσονται σε μικροπορώδες ή ασύμμετρες. Με τη σειρά τους οι μικροπορώδες διακρίνονται σε ισοτροπικές και ανισότροπες. Στις πρώτες συναντάται ένα ομοιόμορφο μέγεθος πόρων σε όλο το πάχος της μεμβράνης ενώ στις ανισότροπες μεμβράνες το μέγεθος των πόρων είναι μεταβλητό από την εξωτερική προς την εσωτερική επιφάνεια της

μεμβράνης. Οι ασύμμετρες μεμβράνες είναι γνωστές και ως «επιδερμικά φίλτρα – skin filters» δηλαδή λειτουργούν σαν στρώμα διήθησης καθώς αποτελούνται από ένα λεπτό δέρμα πάνω από την επιφάνεια το οποίο έρχεται σε επαφή με την ροή. Επόμενη διάκριση μεμβρανών είναι με βάση τον μηχανισμό διαχωρισμού ο οποίος διακρίνει τις μεμβράνες σε πορώδεις (porous) ή μη πορώδεις (dense). Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται μεμβράνες με διάμετρο πόρων μικρότερη από 200 μm ενώ στην δεύτερη κατηγορία με διάμετρο πόρων μικρότερη από 2 nm οι οποίες περιλαμβάνουν διεργασίες επιλεκτικού διαχωρισμού όπως η αντίστροφη ώσμωση, η νανοδιήθηση και η ηλεκτροδιάλυση.

Τέλος, οι μεμβράνες με τα υλικά κατασκευής διακρίνονται σε οργανικές και ανόργανες. Οι οργανικές μεμβράνες χωρίζονται σε φυσικές και συνθετικές. Οι φυσικές προέρχονται κυρίως από κυτταρίνη π.χ. οξική κυτταρίνη δηλαδή ένα πολυμερές  $C_6H_{10}O_5$  χαρακτηριστικό του οποίου είναι η υδρόφοβη ιδιότητα του. Από την άλλη πλευρά, οι συνθετικές μεμβράνες εμφανίζουν ασύμμετρη εσωτερική δομή και διαθέτουν ένα λεπτό πυκνό στρώμα 0,2 μm πάνω από ένα παχύ πορώδες στρώμα. Επίσης, οι ανόργανες μεμβράνες σχηματίζονται από την πυροσυσσωμάτωση πούδρας με σκοπό να αποκτήσουν μικροπορώδες δομή, εμφανίζοντας ανθεκτικότητα σε χημικά και σε πίεση και σε υψηλή θερμοκρασία (Λυμπεράτος και Βαγενάς, 2012).



**Εικόνα 2.4** Τεχνολογία μεμβρανών MBRs (<https://www.thembrsite.com/directories/membrane-products/berghof-b-smart-mbr/>).

Το τελευταίο στάδιο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι απολύμανση η οποία για παράδειγμα μπορεί να γίνει με την χρήση της υπεριώδους ακτινοβολίας UV (μήκη κύματος 100–400 nm) εκ των οποίων η περιοχή μεταξύ 220–320 nm παρουσιάζει μικροβιοκτόνο δράση δηλαδή καταστρέφονται μακρομόρια DNA και RNA (Γκίκας, 2020). Στην υποενότητα που ακολουθεί θα παρουσιαστούν και άλλοι τρόποι απολύμανσης αναλυτικά.

## 2.2.4 Τρόποι Απολύμανσης

Οι τεχνικές απολύμανσης που είναι ευρέως γνωστές είναι αρκετές και ταξινομούνται σε χημικές – συμβατικές μεθόδους, σε μη χημικές μεθόδους αλλά και σε νέες εναλλακτικές. Κάθε μέθοδος που χρησιμοποιείται έχει κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα καθώς έχει και τους αντίστοιχους περιορισμούς από άποψη κόστους, σκοπιμότητας, αποτελεσματικότητας, πρακτικής ικανότητας, αξιοπιστίας, περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δυσκολίες λειτουργίας κτλ. (Crini and Lichtfouse, 2018).

Στην απολύμανση μπορούν να εφαρμοστούν χημικές μέθοδοι όπως αυτή της χλωρίωσης ή της οζόνωσης αλλά και μη χημικές όπως η χρήση υπεριώδης ακτινοβολίας, η χρήση μεμβρανών ή ακόμη και συνδυασμός κάποιων από αυτά (Collivignarelli et al., 2017). Τα βασικά συστήματα απολύμανσης είναι η χλωρίωση, η οζόνωση και η UV ακτινοβολία.

### **Χλωρίωση**

Η χλωρίωση αποτελεί μία από τις πρώτες μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την απολύμανση των υγρών αποβλήτων, πριν την απόρριψή τους στο υδάτινο οικοσύστημα. Το χλώριο θεωρείται ένα συμβατικό απολυμαντικό το οποίο έχει την ιδιότητα να απενεργοποιεί και να καταστρέφει τους παθογόνους μικροοργανισμούς στα λύματα. Να σημειωθεί πως όταν προστεθεί στα υγρά απόβλητα αέριο χλώριο και υποχλωριώδη άλατα αρχίζει η διαδικασία της υδρόλυσης και του ιοντισμού γεγονός που προκαλεί τον σχηματισμό του υποχλωριώδους οξέος (HOCl) και του υποχλωριώδων ιόντων (OCl<sup>-</sup>) τα οποία είναι γνωστά και ως ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο (USEPA, 2003). Σημαντικό κομμάτι αποτελεί η δοσολογία το χλωρίου που είναι απαραίτητη μπορεί να επιτευχθεί μέσω του ελέγχου του ρυθμού ροής νερού μέσω του χλωριωτή, ενώ για να υπάρξει αποτελεσματικότητα ενδείκνυται κάποιου είδους μεταβολή στη δόση ή στον χρόνο επαφής. Η δοσολογία διαφοροποιείται ανάλογα με τις απαιτήσεις που εκάστοτε συστήματος απολύμανσης και συνήθως κυμαίνεται από 5 mg/L έως και 20 mg/L (USEPA, 2003; Li et al., 2017).

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/2011 η απολύμανση με χλωρίωση είναι αποτελεσματική όταν το χλώριο έρχεται σε επαφή και αναμιγνύεται καλά με το υγρό καθώς και όταν ο χρόνος επαφής χλωρίου και λυμάτων είναι το λιγότερο 20 λεπτά και τέλος το υπολειμματικό χλώριο μετά το πέρας της απολύμανσης να είναι τουλάχιστον 0,5 mg/L. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειθούν δύο βασικά πλεονεκτήματα για την χλωρίωση. Πρώτον αποτελεί μία οικονομική μέθοδο απολύμανσης συγκριτικά με άλλες όπως η οζόνωση ή η ακτινοβολία UV και δεύτερον το χλώριο είναι ικανό να προσφέρει μία πολύ καλή αποτελεσματική δράση καλύπτοντας ένα μεγάλο φάσμα παθογόνων μικροοργανισμών ενώ ταυτόχρονα, είναι αποτελεσματικό στην οξείδωση ορισμένων οργανικών και ανόργανων ενώσεων αλλά και στο να εξαλείψει δυσάρεστες οσμές που παράγονται κατά την διαδικασία της απολύμανσης (USEPA, 1999). Στον αντίποδα αυτών υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα παρά την μεγάλη αποτελεσματικότητα του χλωρίου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα που αφορούν την κακή γεύση και μυρωδιά που νερού όταν πρόκειται για πόση. Ακόμα, η οξείδωση που προκαλεί το χλώριο σε συγκεκριμένους τύπου οργανικών ενώσεων των υγρών αποβλήτων έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία περισσότερων επικίνδυνων ενώσεων όπως τριαλομεθάνια τα οποία είναι καρκινογόνα (USEPA, 2003).

### **Οζόνωση**

Η χρήση του όζοντος στην απολύμανση των λυμάτων αλλά και την απολύμανση του πόσιμου νερού θεωρείται μία ιδιαίτερη αποτελεσματική μέθοδο. Η παραγωγή του γίνεται επιτόπια ενώ η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την παραγωγή του είναι η ηλεκτρική εκκένωση καθώς επίσης παρασκευάζεται με την χρήση συσκευών παραγωγής όζοντος με συχνότητες 600 έως 1200 Hz και τάση 6 έως 20 kV (Parsons, 2004). Ωστόσο η μείωση του κόστους, οι απαιτήσεις του μεγέθους και η αξιοπιστία συνέβαλλαν σημαντικά ώστε να γίνει η μέθοδος αυτή πιο ελκυστική. Η χρήση του αερίου όζοντος O<sub>3</sub> (άχρωμο αέριο με έντονη μυρωδιά) για την απολύμανση του πόσιμου νερού έχει αρχίσει να αντικαθιστά τη χρήση χλωρίου, γεγονός που αποτελεί ένα ισχυρό μέσο απολύμανσης παρουσιάζοντας ασφάλεια και σταθερότητα σε σχέση με αλλά μέσα οξείδωσης. Επιπρόσθετα, το όζον έχει πολύ μικρή διάρκεια ζωής υπολογίσιμη περίπου στα 30 λεπτά. Αυτό δείχνει ότι η χρήση του πρέπει να γίνει άμεσα μετά από την παραγωγή του και για να είναι αποτελεσματικό πρέπει ο χρόνος επαφής να είναι περίπου 6 λεπτά (<https://www.knowyourh2o.com/indoor-4/ozonation-in-water-treatment>).

Η απολύμανση με όζον δεν αφήνει περιθώρια αναγέννησης των μικροοργανισμών και το όζον αποσυντίθεται γρήγορα αποφεύγοντας την δημιουργία επικινδυνότητας όμως το μειονέκτημα της οζόνωσης είναι το κόστος διαδικασίας το οποίο είναι ακριβό και απαιτεί και μεγάλη κατανάλωση σε ενέργεια. Το κόστος αυξάνεται όταν συμπεριληφθεί και το κόστος συντήρησης, επισκευών, εξοπλισμού κτλ. (USEPA, 1999). Η διάταξη της χλωρίωσης και της οζόνωσης αναπαρίστανται στην Εικόνα 2.5.

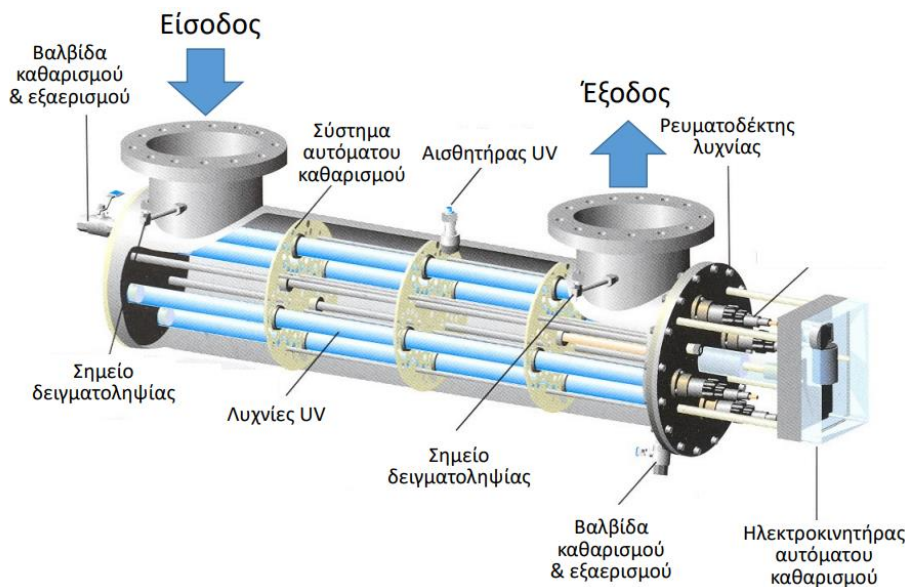


**Εικόνα 2.5** Χλωρίωση – Οζόνωση (Γκίκας, 2020).

### **Υπεριώδης Ακτινοβολία**

Η υπεριώδη ακτινοβολία αποτελεί μία μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκος κύματος μικρότερο από το ορατό φως αλλά μεγαλύτερο από τις ακτίνες X (Εικόνα 2.6). Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 21348-2007 το εύρος της υπεριώδους ακτινοβολίας χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει το μήκος κύματος από 315–400 nm προκαλώντας αλλαγές στο ανθρώπινο δέρμα π.χ. μαύρισμα, το δεύτερο μέρος αφορά τα 280–315 nm προκαλώντας κάψιμο του δέρματος και πιθανό καρκίνο και τέλος το τρίτο μέρος κυμαίνεται μεταξύ 200–280 nm και εμφανίσει μικροβιοκτόνο δράση καταστρέφοντας βακτήρια και ιούς (Koutchma, 2009). Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή και εφαρμόζεται σε πολλές χώρες για την απολύμανση υγρών αποβλήτων. Ουσιαστικά, το υπεριώδες φως δρα ως στείρωτικό των μικροοργανισμών εμποδίζοντας την μεταφορά, τον πολλαπλασιασμό και αλλοιώνοντας το DNA.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα είναι η δόση η ένταση και ο χρόνος έκθεσης των μικροοργανισμών στην UV ακτινοβολία (Olsen et al., 2015). Ένα θετικό της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν χρειάζεται να προστεθούν χημικά συστατικά και είναι πολύ φιλική και ακίνδυνη ως προς τους εργαζομένους. Ακόμη δεν απαιτείται μεγάλος χώρος για την εγκατάσταση του ειδικού εξοπλισμού διότι είναι αυτοματοποιημένη και λιγότερο περίπλοκη η μέθοδος αυτή (USEPA, 1999). Παρόλα αυτά, οι μικροοργανισμοί που έχουν εκτεθεί στην UV ακτινοβολία μπορεί κάποιες φορές να επιβιώσουν και να αναγεννούνται στο σκοτάδι “dark repair” και παρατηρούνται συσώρευση στους σωλήνες χαλαζίας που περιβάλλουν τις λάμπες με αποτέλεσμα να χρειάζεται συχνή συντήρηση και καθαρισμός ώστε να είναι αποτελεσματική αυτή η μέθοδος απολύμανσης (Ντακάρας, 2016).



**Εικόνα 2.6** Σύστημα υπεριώδους ακτινοβολίας (Γκίκας, 2020).

Τα υγρά απόβλητα μετά την απολύμανση που θα υποστούν από την τριτοβάθμια επεξεργασία θα είναι ποιοτικά κατάλληλα να εναποτεθούν στον αποδέκτη χωρίς να δημιουργήσουν κάποιο περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Ωστόσο, για την περίπτωση της ανάκτησης νερού ύστερα από τριτοβάθμια επεξεργασία η ελληνική νομοθεσία στην ΚΥΑ για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ορίζει στο Παράρτημα Ι Πίνακα 1 τα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων. Ο τύπος επαναχρησιμοποίησης είναι για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μίας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα που δεν χρησιμοποιείται για πόση.

Γίνεται επομένως η εξής αναφορά στις σημειώσεις του πίνακα (<https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrisimopoiisi-epexergasmenon-ygron-aronlition.html>): «Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδοι καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη διάμεση συγκέντρωση *Escherichia coli*. Σε κάθε περίπτωση και στο βαθμό που η επεξεργασία συνίσταται στην ελάχιστη απαιτούμενη κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται γινόμενο υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής ( $C \cdot t$ ) μεγαλύτερο ή ίσο από 30  $mg \cdot min/l$ , εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 30 min, ενώ για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 70  $mW \cdot sec/cm^2$  στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 50%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης». Με βάση αυτό παρατηρείται μία πιο αυστηρή και ελεγχόμενη κατάσταση στην περίπτωση την ανάκτησης νερού από την επεξεργασία λυμάτων.

### 2.2.5 Επεξεργασία Ιλύος

Η επεξεργασία των λυμάτων στοχεύει στην μείωση του ρυπαντικού φορτίου πριν την διάθεση του στο περιβάλλον, αποφεύγοντας κινδύνους που τυχόν εγκυμονούν και προστατεύοντας την δημόσια υγεία. Σημαντικό κόμματα του ρυπαντικού φορτίου (βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές



ενώσεις, παθογόνοι μικροοργανισμοί) επέρχεται στην ιλύ επιβαρύνοντας την επεξεργασία της για την απομάκρυνση όλων αυτών.

Στο σημείο αυτό, να τονιστεί πως η ανάγκη για άμεση επεξεργασία της λάσπης είναι μονόδρομος διότι αν και ο όγκος της καλύπτει περίπου μόλις το 1% του συνολικού όγκου των αποβλήτων, απαιτεί το 25–50% του συνολικού κόστους κατασκευής και λειτουργίας της εγκατάστασης (Στάμου και Βογιατζής, 1994). Κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων παράγονται και κάποια παραπροϊόντα τα οποία είναι ημιστερεά ή στερεά προϊόντα, παχύρευστα, τα οποία πρέπει να τύχουν κατάλληλης επεξεργασίας και διάθεσης. Τα πιο κύρια προϊόντα από αυτά είναι:

- Εσχαρώματα
- Προϊόντα εξάμμωσης
- Πρωτοβάθμια ιλύς
- Δευτεροβάθμια ιλύς
- Ιλύς από αναερόβια χώνευση
- Αφροί και λίπη

Στις συμβατικές συνήθως ΕΕΛ τα στάδια επεξεργασίας της ιλύος είναι τα εξής (Metcalf and Eddy, 2003; Γκίκας, 2020):

- Προκαταρτικές Διεργασίες
- Πάχυνση ιλύος
- Σταθεροποίηση
- Αναερόβια Χώνευση
- Αφυδάτωση
- Κομποστοποίηση ή λιπασματοποίηση ιλύος

Βλέποντας πανοραμικά τα στάδια επεξεργασία της ιλύος, οι προκαταρτικές διεργασίες αποτελούνται από τον τεμαχισμό την εξάμμωση, την ανάμιξη και την αποθήκευση των στερεών και των βιοστερεών με σκοπό να ομοιογενοποιηθεί ο ρυθμός τροφοδοσίας για τα επόμενα στάδια επεξεργασίας της ιλύος. Στην συνέχεια, η πάχυνση της ιλύος επιδιώκει την αύξηση των στερεών της ιλύος με την απομάκρυνση υγρού κλάσματος καθώς η ιλύς παραμένει στους παχυντήρες για μεγάλο χρονικό διάστημα και επιτυγχάνεται συμπύκνωση σε περιεκτικότητα ως και 2–5% (Ντακάρας, 2010; Γκίκας, 2020). Η σταθεροποίηση μειώνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς, απομακρύνει δυσάρεστες οσμές αλλά εξαλείφει κιόλας την δυνατότητα σήψης της ιλύος.

Επόμενη διεργασία είναι η αναερόβια χώνευση δηλαδή μία βιολογική επεξεργασία πάχυνσης πρωτοβάθμιας ή και δευτεροβάθμιας ιλύος με απουσία οξυγόνου που σκοπό έχει την μετατροπή σημαντικού μέρους των οργανικών συστατικών σε μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και μείωση της ανάπτυξης βιολογικών διεργασιών. Τελική φυσική διεργασία είναι η αφυδάτωση που στοχεύει στην μείωση του περιεχομένου σε υγρασία διαχειρίζοντας το ως στερεό έτσι ώστε να καταλήξει στην διαδικασία της κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση είναι μία διαδικασία πολύπλοκης αποικοδόμησης της οργανική ύλης που περιέχεται στις ίλες, προς χουμικά οξέα με αποτέλεσμα την δημιουργία σταθεροποιημένου προϊόντος κατάλληλου για χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, με ποσοστό υγρασία να κυμαίνεται στο 60% (Γκίκας, 2020).

## 2.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού

### 2.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού αποτελούν την βασική προϋπόθεση για την ορθή και ολοκληρωμένη διαχείριση του κυρίως και όταν πρόκειται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το ίδιο ισχύει και για τα υγρά απόβλητα. Με βάση τη νομοθεσία και τα επιτρεπτά όρια για όλα τα στοιχεία

που περιέχονται στο νερό τα οποία καθορίζονται από τον ΠΟΥ, την Ευρωπαϊκή Κοινότητα και την Ελληνική νομοθεσία. Συγκεκριμένα παρακάτω θα αναλυθούν τα φυσικά χαρακτηριστικά του νερού.

**Χρώμα (Color):** Στο νερό η ύπαρξη χρώματος είναι ανεπιθύμητη και υπάρχει περίπτωση να οφείλεται στην παρουσία χρωστικών ουσιών τα οποία έχουν διαλυθεί και πιθανών να προέχεται από ρίζες φυτών ή φύλλα δέντρων, από το είδος των πλαγκτονικών οργανισμών και τη βιολογική τους δραστηριότητα, ακόμη και από το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής, είτε από οργανικές και ανόργανες ουσίες όπως άλατα, σίδηρος λόγω κάποιας διάβρωσης των σωλήνων. Επίσης, ο χρωματισμός αποτελεί ένδειξη για την παρουσία συγκεκριμένων χημικών ουσιών π.χ. η παρουσία θείου (S) προσδίδει στο νερό κιτρινωπό χρώμα ενώ η παρουσία ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) πράσινο χρώμα. Το καθαρό φυσικό νερό είναι διαυγές και άχρωμο. Πολλές φορές το χρώμα χρησιμεύει και σαν ιχνηλάτης για τον προσδιορισμό του τόπου προέλευσης του νερού και έτσι μπορεί να θεωρηθεί και έμμεσος δείκτης μόλυνσης. Για παράδειγμα, το κόκκινο χρώμα είναι μία ένδειξη ύπαρξης ενώσεων σιδήρου (Fe), ενώ το γαλάζιο οφείλεται σε ύπαρξη χαλκού (Cu) ή των ενώσεών του. Το μελανό χρώμα μπορεί να οφείλεται σε ύπαρξη οργανικών οξέων και τανίνης.

**Θολότητα (Turbidity):** Η θολότητα του νερού οφείλεται σε κολλοειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται ή είναι διαλυμένες στο νερό. Τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και δημιουργούν προβλήματα στις σωληνώσεις και στις δεξαμενές. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή. Η θολότητα προκαλεί εξασθένηση της έντασης της διερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας λόγω φαινομένων σκέδασης και απορρόφησης και μετριέται σε μονάδες θολότητας (NTU) ή σε mg/L (ppm). Η θολότητά του νερού σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας πρέπει να είναι κάτω από 5 βαθμούς της σχετικής κλίμακας (NTU).

**Οσμή και Γεύση (Odor and Taste):** Το νερό προς πόση πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε ίχνος δυσάρεστης οσμής ή γεύσης. Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα (TDS), καθώς επίσης στην παρουσία κάποιων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn). Το υπολειμματικό χλώριο των δικτύων ύδρευσης είναι αυτό που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής και το συσχετίζει με την οσμή και τη γεύση του νερού. Το όριο γεύσης του χλωρίου σε ουδέτερο pH είναι 0,2 mg/L, το οποίο αυξάνει σε 0,5 mg/L για τιμή pH=9. Επίσης, το όριο γεύσης της μονοχλωραμίνης, μιας ουσίας η οποία δημιουργείται στο νερό κατά την χλωρίωση, εκτιμάται σε 0,48 mg/L. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα με τη χλωρίωση του νερού είναι η δημιουργία οσμής και γεύσης από τις ενώσεις που προκύπτουν κατά την αντίδραση του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού. Τέτοιες ενώσεις είναι το διχλωρομεθάνιο, το χλωροφόρμιο, το τριχλωροαιθυλένιο κ.ά. γνωστά ως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες ή τριαλογονομένα μεθάνια (Tri-Halo-Methanes, THM).

**Θερμοκρασία (Temperature):** Η θερμοκρασία είναι η παράμετρος που υπεισέρχεται σε όλες τις φυσικοχημικές και τις βιοχημικές αντιδράσεις. Οι υψηλές θερμοκρασίες συντελούν και στην αύξηση του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών. Η πλέον επιθυμητή διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού που προορίζεται για πόσιμο είναι μεταξύ 5 με 12 °C. Πάνω από τους 12 °C και πέρα από την αισθητική και γευστική επίδραση, το νερό καθίσταται λιγότερο κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις.

**Αγωγιμότητα (Conductivity):** Η αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους, καθώς και από τη θερμοκρασία μέτρησης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας η ευκινησία των ιόντων αυξάνει κατά 2 ως 3% ανά °C, με αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας. Μετριέται σε Siemens (S) και αποτελεί το αντίστροφο της αντίστασης (Ντακάρας, 2010).

### 2.3.2 Χημικά χαρακτηριστικά

**Χλωριούχα άλατα (Chlorides,  $\text{Cl}^-$ ):** Υπάρχουν σε όλα τα φυσικά ύδατα ως άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου, προσδίδουν γεύση στο νερό και η απότομη αύξησή τους αποτελεί ένδειξη ρύπανσης του νερού από λύματα. Προέρχονται κυρίως από τη διάβρωση των βράχων. Καθώς είναι ιδιαίτερα ευκίνητα και ευδιάλυτα εισδύουν στο έδαφος ή μεταφέρονται σε κλειστές δεξαμενές και στους ωκεανούς. Ακόμη, προκύπτουν από τη χρήση λιπασμάτων, από τη διάθεση λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων ή λόγω διείσδυσης θαλασσινού νερού στο έδαφος παράκτιων περιοχών. Σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση.

**Θειικά (Sulphates,  $\text{SO}_4^{2-}$ ):** Αποτελούν συστατικό πολλών ορυκτών και υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες στα φυσικά νερά. Χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανίες (χημικές, γυαλιού, χαρτιού, υφαντουργίες), στα λιπάσματα, στα εντομοκτόνα και σαν κροκιδωτικά στην επεξεργασία του νερού. Επίσης, υπάρχουν στην ατμόσφαιρα ως δευτερογενής ρύπος και αποτίθενται στο έδαφος και τα νερά σαν συστατικό της "όξινης βροχής". Τα θειικά άλατα του νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 700 mg/L δίνουν στο πόσιμο νερό δυσάρεστη γεύση. Ειδικότερα, το θειικό μαγνήσιο σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 600 mg/L έχει καθαρτική δράση, ενώ τα θειικά άλατα συμβάλλουν στη διάβρωση των σωληνώσεων.

**Ασβέστιο (Calcium, Ca):** Σε όλα τα φυσικά νερά υπάρχει και προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος, ανθρακικό ασβέστιο, φθοριούχο ασβέστιο, διάφορα κ.ά.), μέσω των οποίων διέρχεται το νερό. Η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μικρές τιμές έως μερικές εκατοντάδες mg/L, ανάλογα με την προέλευση του νερού, και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του.

**Μαγνήσιο (Magnesium, Mg):** Το συγκεκριμένο συστατικό υπάρχει σε αφθονία στη φύση και είναι από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών υδάτων. Εισέρχεται στο νερό κυρίως από τα πετρώματα, αλλά και από διάφορα πυριτικά και αργιλοπυριτικά εδάφη. Τα άλατα του μαγνησίου μαζί με του ασβεστίου αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού και όταν θερμανθούν σχηματίζουν επικαθήματα στις σωληνώσεις και στους λέβητες. Νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες από 125 mg/L μπορεί να έχουν καθαρικές και διουρητικές ιδιότητες, ενώ στο νερό που προορίζεται για άρδευση η παρουσία μαγνησίου είναι επιθυμητή τόσο επειδή είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για τα φυτά, αλλά και επειδή λειτουργεί ως εδαφοβελτιωτικό.

**Σκληρότητα (Hardness):** Η σκληρότητα είναι μια παράμετρος, που εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε πολυσθενή κατιόντα κυρίως ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) και διακρίνεται σε ολική, προσωρινή και μόνιμη. Το σκληρό νερό δεν έχει καλή γεύση, εμποδίζει το καλό βράσιμο των τροφίμων, δεν κάνει αφρό με το σαπούνι και δημιουργεί επικαθήσεις στις σωληνώσεις και στις οικιακές συσκευές. Για παράδειγμα ισχύει ότι:

- I. Μαλακά χαρακτηρίζονται τα νερά με σκληρότητα 0–100 mg/L ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$ .
- II. Μέσης σκληρότητας λέγονται τα νερά με σκληρότητα 100–200 mg/L ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$ .
- III. Σκληρά είναι τα νερά με σκληρότητα 200–300 mg/L ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$ .
- IV. Πολύ σκληρά ορίζονται τα νερά με σκληρότητα μεγαλύτερη από 300 mg/L ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$ .

**pH:** Η ενεργός οξύτητα του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα (παρουσία ανιόντων θείου, χλωρίου κ.ά. και κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9, ενώ τιμές 6,5–8,5 είναι στις περισσότερες περιπτώσεις οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς. Οι τιμές pH των



εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να κυμαίνονται από 6,5–8,5 ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών.

**Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen):** Η περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο φθάνει στο σημείο κορεσμού, οπότε το νερό έχει ευχάριστη γεύση. Δεν έχουν αναφερθεί επιπτώσεις στην υγεία, που να συνδέονται άμεσα με την ελάττωση ή την έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου στο πόσιμο νερό. Υπάρχουν όμως έμμεσες επιπτώσεις λόγω μείωσης της ποσότητας του διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης, δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες που βοηθούν την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη και των θειικών σε θειούχα, με συνέπεια τη δημιουργία δυσάρεστων οσμών. Το διαλυμένο οξυγόνο ελαττώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία και η αλατότητα του νερού (Ντακάρας, 2010; Στρατηγάκη, 2007).

**Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD – Biochemical Oxygen Demand):** Είναι το μέτρο εκτίμησης του ρυπαντικού φορτίου των ρυπασμένων υδάτων. Στην ουσία το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι μια χημική διαδικασία για τον προσδιορισμό της ποσότητας διαλυμένου οξυγόνου που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για τη διάσπαση της οργανικής ύλης. Συγκεκριμένα, είναι η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από αερόβια βακτήρια εντός πέντε ημερών με σκοπό τη χημική και βιολογική οξείδωση. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 20°C. Η έκφρασή του γίνεται σε mg/L και όταν το δείγμα επωάζεται για πέντε μέρες συμβολίζεται ως BOD<sub>5</sub>. Επιπλέον, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο θεωρείται σημαντικός περιβαλλοντικός δείκτης και χρησιμοποιείται με στόχο την εκτίμηση της ρύπανσης είτε των αποδεκτών (επιφανειακά και υπόγεια νερά) είτε του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων.

**Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD – Chemical Oxygen Demand):** Καλείται η ποσότητα οξυγόνου η οποία απαιτείται για την χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό. Η μέτρησή του πραγματοποιείται με σκοπό την εκτίμηση της ρύπανσης στα επιφανειακά νερά ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται για την επιλογή και τον έλεγχο συστημάτων καθορισμού λυμάτων και αποβλήτων. Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο θεωρείται σημαντικός περιβαλλοντικός δείκτης και χρησιμοποιείται με στόχο την εκτίμηση της ρύπανσης είτε των αποδεκτών (επιφανειακά και υπόγεια νερά) είτε του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων και η έκφρασή του γίνεται σε mg O<sub>2</sub>/L νερού.

**Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC – Total Organic Carbon):** Πρόκειται για την ολική φόρτιση των νερών σε οργανικές ενώσεις. Ο προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα γίνεται με στόχο τη μέτρηση της οργανικής ύλης των υγρών αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν τα δείγματα δεν έχουν δώσει ακριβή αποτελέσματα με την μέθοδο BOD και COD. Σημειώνεται ότι η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με τις BOD και COD, είναι ανεξάρτητη από τον βαθμό οξείδωσης της οργανικής ύλης καθώς επίσης δεν πραγματοποιείται καταμέτρηση των στοιχείων που δεσμεύονται σε οργανικά μόρια και τα ανόργανα στοιχεία που συνεισφέρουν στο απαιτούμενο οξυγόνο και η έκφρασή του γίνεται σε mg C/L νερού (Θεοδωροπούλου, 2022).

### 2.3.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά

Οι υδατογενείς επιδημίες προκαλούνται από τα παθογόνα μικρόβια που έχουν προέλευση την κοπρανώδη μόλυνση του νερού. Το νερό μπορεί να μεταφέρει παθογόνους μικροοργανισμούς που προκαλούν στον άνθρωπο σοβαρές (ή και θανατηφόρες) ασθένειες. Η μικροβιολογική εξέταση του νερού περιλαμβάνει:

- I. Την καταμέτρηση όλων εν γένει των μικροοργανισμών που υπάρχουν στο νερό, ανεξάρτητα από το είδος τους.
- II. Την αναζήτηση και αρίθμηση των μικροβίων εντερικής προέλευσης. Η ύπαρξη κολοβακτηριδίομορφων (coliforms) καθώς και του τυπικού κολοβακτηριδίου (*Escherichia*

coli), δηλώνει αυτομάτως τη μόλυνση του νερού από μικρόβια κοπρανώδους προέλευσης και επομένως, την ανά πάσα στιγμή δυνατότητα μόλυνσης με παθογόνους μικροοργανισμούς εντερικών λοιμώξεων (όπως χολέρας, τυφοειδούς πυρετού, εντερόκοκκους, κλωστηρίδια κλπ.).

Οι κυριότερες παράμετροι που προβλέπονται να εξετάζονται ως μικρόβια-δείκτες, σύμφωνα με τη Υπουργική Απόφαση Α5/288/23-1-86, είναι:

- Ολικά κολοβακτηριοειδή.
- Κολοβακτηριοειδή κοπράνων.
- Στρεπτόκοκκοι κοπράνων.
- Κλωστηρίδια αναγωγικών θειωδών αλάτων.
- Καταμέτρηση των συνολικών βακτηριδίων για το πόσιμο νερό στους 37°C και στους 22°C.

**Echerichia coli (E. Coli):** Ανήκει στα κολοβακτηριοειδή και είναι μέλος της οικογένειας των εντεροβακτηριδίων. Θεωρείται ο βασικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης, τόσο του πρωτογενούς, όσο και του κατεργασμένου νερού. Η E. coli αποτελεί μόνιμο ξενιστή του εντέρου των ανθρώπων και των θερμόαιμων ζώων. Αντιπροσωπεύει το 95% των εντεροβακτηριδίων που ανευρίσκονται στα κόπρανα, όπου απαντά σε πολύ μεγάλους αριθμούς (10<sup>9</sup> CFU/g κοπράνων). Να σημειωθεί ότι τα CFU ονομάζονται Colony-Forming Units και είναι οι μονάδες σχηματισμού αποικιών. Τα χαρακτηριστικά επιβίωσης αλλά και της ευαισθησίας της στα απολυμαντικά είναι όμοια με εκείνα πολλών παθογόνων μικροβίων, ιδιαίτερα της σαλμονέλας και την σιγκέλλας. Λόγω των ιδιοτήτων αυτών, η E. coli είναι ο καλύτερος βιολογικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης του νερού.

**Εντερόκοκκοι:** Ανήκουν στην οικογένεια των στρεπτοκόκκων, στην ομάδα των D κατά Lancefield. Αποτελούνται από διάφορα είδη που απαντούν στα κόπρανα του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων. Στα κόπρανα οι εντερόκοκκοι σπανίως υπερβαίνουν τα 10<sup>6</sup> cfu/gr, ενώ στα κόπρανα των ζώων υπάρχουν σε μεγαλύτερο αριθμό από την E. coli (>10<sup>9</sup> cfu/gr). Σπανίως πολλαπλασιάζονται στο νερό και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στα περιβαλλοντικά stress και την χλωρίωση από ότι η E. coli. Η παρουσία τους αποτελεί απόδειξη μόλυνσης του ύδατος με περιττωματικές ουσίες και ιδιαίτερα παλαιότερης μόλυνσης. Ο κύριος λόγος αναζήτησης τους είναι η εκτίμηση της σημασίας της παρουσίας ολικών κολοβακτηριοειδών επί απουσίας E. coli, καθώς και η παροχή συμπληρωματικών πληροφοριών για την εκτίμηση της έκτασης μιας πιθανής κοπρανώδους μόλυνσης του πόσιμου νερού.

**Ολικά κολοβακτηριοειδή:** Κατατάσσονται στην οικογένεια των εντεροβακτηριδίων. Τυπικά γένη που συναντώνται στα δίκτυα νερού είναι τα Citrobacter, Hafnia, Serratia, Klebsiella. Δεν θεωρούνται αποκλειστικοί δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης του νερού, δεδομένου ότι πολλά από τα παραπάνω είδη είναι περιβαλλοντικής προέλευσης (π.χ. έδαφος, φύλλα κλπ.). Παρόλα αυτά προσφέρουν ενδείξεις για την ποιότητα του νερού, γενικότερα, συμπληρώνοντας έτσι τα στοιχεία που παρέχονται από άλλες παραμέτρους (Νικολαΐδης et al., 2009).

### 3. Επαναχρησιμοποίηση νερού από επεξεργασία υγρών αποβλήτων

#### 3.1 Ιστορική αναδρομή

Οι αρχικές περίοδοι στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων είναι συνώνυμες με την ιστορική ανάπτυξη και εφαρμογή των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας και κυρίως αυτών που εφαρμόζονται στο έδαφος και σε γεωλογικούς σχηματισμούς. Η έναρξη εφαρμογής δικτύων αποχέτευσης σε μεγάλες πόλεις στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, συνέβαλε ώστε τα αστικά υγρά απόβλητα να χρησιμοποιηθούν στις λεγόμενες 'sewage farms' δηλαδή 'γεωργικές εκμεταλλεύσεις λυμάτων'. Έτσι, από το 1900 και μετά τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική έγιναν γνωστές πολυάριθμες γεωργικές εκμεταλλεύσεις, που ο σκοπός τους ήταν η διάθεση των αποβλήτων, η χρήση στην άρδευση για φυτική παραγωγή και άλλες ευεργετικές χρήσεις.

Ενδιαφέρον παρατηρείται καθώς έχει κατασκευαστεί ένας σημαντικός αριθμός σε έργα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σε διάφορα μέρη του κόσμου. Στο Grand Canyon National Park στην Αριζόνα, το 1926 αρχικά χρησιμοποιήθηκαν επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε διπλό σύστημα υδροδότησης για τον καθαρισμό τουαλετών και μετά για άρδευση χλωροτάπητων, ψύξη και παραγωγή ατμού. Στην πόλη Pomona της Καλιφόρνιας, το 1929 υλοποιήθηκε ένα έργο επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλωπιστικών κήπων και άλλων χώρων πρασίνου (Ongerth and Ongerth, 1982).

Επιπλέον, στο Golden Gate Park στο Σαν Φρανσίσκο το 1912 χρησιμοποιήθηκαν αρχικά ανεπεξέργαστα και μετά επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε σηπτικές δεξαμενές, για την εμπότιση χλωροτάπητων και υδατοτροφοδοσία λιμνοδεξαμενών αναψυχής. Στην ευρύτερη περιοχή αυτού του πάρκου, το 1932 κατασκευάστηκε μία συμβατική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και η επαναχρησιμοποίηση της εκροής της συνεχίστηκε μέχρι το 1985. Στην Baltimore του Maryland η εταιρεία Bethlehem Steel χρησιμοποιεί από το 1942 χλωριωμένη δευτεροβάθμια εκροή υγρών αποβλήτων και σήμερα χρησιμοποιούνται σε μεταλλουργικές διεργασίες (ψύξη και μεταποίηση) πάνω από 0,378 εκατ. m<sup>3</sup>/day από τέτοιου είδους εκροές.

Η προώθηση τέτοιων χρήσεων και η υλοποίηση προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης έχουν το μειονέκτημα της μη εναλλακτικής τροφοδοσίας νερού. Στην πόλη Springs του Κολοράντου το 1960 πραγματοποιήθηκε ένα διπλό σύστημα υδροδότησης όπου επαναχρησιμοποιούνται αστικά υγρά απόβλητα μετά την ανάκτηση τους κυρίως για άρδευση κοινόχρηστων εκτάσεων γήπεδα golfs, πάρκα, νεκροταφεία και πρανή δρόμων. Αντίστοιχα, το 1977 στο St. Petersburg της Φλόριντας λειτουργούσε ένα παρόμοιο σύστημα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων που στόχο είχε τον περιορισμό της ρύπανσης.

Σήμερα, η διανομή του δικτύου αυτού ανέρχεται στα 320 km περίπου για άρδευση δημόσιων πάρκων, γηπέδων golfs, σχολικών κήπων και άλλων χώρων πρασίνου, καθώς και για υδατοτροφοδοσία ψυκτικών υδατοπύργων. Αναμφίβολα, ένα σημαντικό έργο εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων με ανακτημένα υγρά απόβλητα άρχισε το 1962 στην επαρχία Whittier Narrows στο Los Angeles της Καλιφόρνιας, όπου μετά από 20 χρόνια συνεχόμενης έρευνας για πιθανές επιδράσεις στην δημόσια υγεία. Το τελικό συμπέρασμα έδειξε ότι δεν υπήρχε καμία ανεπιθύμητη επίδραση στον υδροφόρο ορίζοντα και στον πληθυσμό της περιοχής που να οφείλεται στην ανάκτηση και ρήση εκροών υγρών αποβλήτων (Τσομπάνογλου και Αγγελάκης, 1995).

## 3.2 Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης νερού

### 3.2.1 Άρδευση γεωργικών εκτάσεων και χώροι πρασίνου

Αναμφισβήτητα, η άρδευση αποτελεί μία την πιο μαζική χρήση νερού και κυρίως σε άγονες και ξηρές περιοχές, αλλά ακόμη και σε υγρές περιοχές η άρδευση εφαρμόζεται συμπληρωματικά με τις βροχοπτώσεις (Ανδρεαδάκης κ.α., 2008). Με τον τρόπο της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση των επεξεργασμένων λυμάτων επιτυγχάνεται:

- Εξοικονόμηση φρέσκου νερού.
- Εξοικονόμηση λιπασμάτων λόγω των θρεπτικών ουσιών των λυμάτων.
- Περιβαλλοντική προστασία των υδάτινων αποδεκτών (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα).
- Αποφεύγεται η υποβάθμιση της ποιότητας των αποδεκτών.

Επίσης, γίνεται φυσική προσθήκη θρεπτικών συστατικών στο έδαφος όπως άζωτο, φώσφορος, κάλιο, ψευδάργυρος, βόριο και θείο βοηθώντας την ανάπτυξη των φυτών. Ενδεικτικά, η τυπική τιμή της περιεκτικότητας των λυμάτων σε θρεπτικά συστατικά είναι για το άζωτο 50 mg/L και το φώσφορο 10 mg/L. Δεδομένου ότι η απαιτούμενη ποσότητα άρδευσης είναι 400–600 m<sup>3</sup>/στρέμμα αναλόγως και με το είδος της καλλιέργειας προκύπτει ότι μέσω της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων για την άρδευση προσφέρονται ετησίως 20–30 Kg/στρέμμα άζωτο και 4–6 Kg/στρέμμα φώσφορο. Αυτό το γεγονός δηλώνει ότι υπάρχει σημαντική προσφορά των θρεπτικών στις καλλιέργειες (Πάνωρας και Ηλίας, 1999). Η άρδευση διαχωρίζεται σε περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση ανάλογα με τις καλλιέργειες και τον τρόπο εφαρμογής τους. Στην περιορισμένη άρδευση ανήκουν δάση, εκτάσεις που δεν είναι προσβάσιμες στο κοινό, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, οπωροφόρα δέντρα με την προϋπόθεση ότι κατά την συλλογή οι καρποί δεν έρχονται σε επαφή με το έδαφος καλλιέργειας σπόρων και καλλιέργειες που τα προϊόντα τους επεξεργάζονται περαιτέρω πριν την κατανάλωση.

Σημαντική πληροφορία αποτελεί η ελάχιστη προτεινόμενη επεξεργασία των λυμάτων η οποία είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία για την παραγωγή εκροής με συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> και SS χαμηλότερες από 25 και 35 mg/L αντίστοιχα και συγκεντρώσεις περιττωματικών κολοβακτηριδίων χαμηλότερες από 200 CFU/100 mL. Αντιθέτως, στην απεριόριστη άρδευση ανήκουν όλα τα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια, καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά και θερμοκήπια. Η ελάχιστη προτεινόμενη επεξεργασία για απεριόριστη χρήση είναι η δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία που ακολουθείται από τριτοβάθμια (κροκίδωση, διύλιση) τουλάχιστον και μετέπειτα απολύμανση ώστε κατά την εκροή οι συγκεντρώσεις των BOD<sub>5</sub> και των SS να είναι μικρότερες από 10 mg/L για το 80% των δειγμάτων, με NTU μικρότερο από 2 και συγκέντρωση κολοβακτηριδίων σταθερά κάτω από 5 CFU/100 mL.

Η επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων για άρδευση είναι η πιο διαδεδομένη χρήση ανά τον κόσμο. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ η άρδευση αντιπροσωπεύει το 34–40% της συνολικής χρήσης νερού, ενώ στις πολιτείες Καλιφόρνια και Αριζόνα το 80 με 85% αντίστοιχα (Ανδρεαδάκης κ.α., 2008). Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η πολιτεία της Φλόριντα όπου υπάρχει μεγάλη έλλειψη νερού οπότε χρησιμοποιείται γύρω στο 59% νερό από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για την καλλιέργεια αρδευτικών εκτάσεων (Lyu et al., 2015). Στο Ισραήλ η άρδευση αποτελεί το 73,1% και στην Ελλάδα σχεδόν το 85%. Επιπλέον, η πόλη του Μεξικού χρησιμοποιεί περίπου το 90% των λυμάτων της μετά από σχετική επεξεργασία για την άρδευση 90.000 εκταρίων στην κοιλάδα των Mezquidal με ωριαία παροχή 45 m<sup>3</sup>. Στο Tel Aviv, μετά από επεξεργασία χρησιμοποιούνται 130 Mm<sup>3</sup> τον χρόνο τα οποία χρησιμοποιούνται πρώτα για τον εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα και στη συνέχεια αυτό το νερό αντλείται για την άρδευση αγροτικών εκτάσεων στην έρημο Negev (Λυμπεράτος και Βαγενάς, 2012).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, παρατηρείται πως η συγκεκριμένη αυτή χρήση υπερβαίνει οποιαδήποτε άλλη και φτάνει έως και 70% του συνολικού νερού (Ανδρεαδάκης κ.α., 2008). Να σημειωθεί πως στις αστικές χρήσεις εντάσσεται οποιαδήποτε χρήση πλην της πόσης και καθώς περιλαμβάνονται η άρδευση πάρκων, παρτεριών, άλλων χώρων πρασίνου σε σχολεία, νεκροταφεία, γήπεδα γκολφ ή ακάλυπτους χώρους. Επίσης, χρησιμοποιούνται για πυρόσβεση, πλύσιμο δρόμων και τον καθαρισμό τουαλετών στον κλιματισμό. Εξίσου μεγάλες ποσότητες νερού κρίνονται αναγκαίες και σε χώρους αεροδρομίων. Για παράδειγμα το αεροδρόμιο της Ατλάντας το 2009 κατανάλωσε νερό ίσο με αυτό που απαιτεί μία πόλη 13.000 κατοίκων (Χρυσανθοπούλου, 2018).

### 3.2.2 Βιομηχανική χρήση

Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων στην βιομηχανία αυξήθηκε σημαντικά στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και περιλαμβάνει νερά για (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001; Παρανυχιανάκης, 2009):

- ψύξη (υδατόπυργοι ψύξης)
- τροφοδοσία λεβήτων και κατεργασίας αυτών
- την παραγωγή ενέργειας
- διυλιστήρια πετρελαίου
- πλύση μηχανημάτων
- κατασκευαστικούς λόγους (έλεγχος σκόνης και σκλήρυνση σκυροδέματος)

Η βασική βιομηχανική χρήση ανακτημένου νερού αφορά στην κατανάλωση για ψύξη φτάνοντας σε ένα ποσοστό που ξεπερνάει το 1/3 της συνολικής κατανάλωσης νερού. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι εκείνη των Ηνωμένων Πολιτειών (Παρανυχιανάκης, 2009). Αναλυτικότερα, το 25% σε εργατικό δυναμικό απασχολούνται σε 300.000 κατασκευαστικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι οποίες παράγουν το 27% του συνολικού ακαθάριστου εισοδήματος των ΗΠΑ και έπειτα ακολουθούν οι μεταλλουργικές βιομηχανίες και αυτές για την παραγωγή ενέργειας (Τσομπάνογλου και Αγγελάκης, 1995).

Αξίζει να σημειωθεί μία περίπτωση μονάδας ανάκτησης νερού για χρήση ψυκτικού υδατόπυργου στο πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του Palo Verde Nuclear Generating στην Αριζόνα. Στο συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιούνται λύματα ύστερα την εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας από τις πόλεις Tolleson και Phoenix της τάξης των 250.000 m<sup>3</sup>/d (Λυμπεράτος και Βαγενάς, 2012). Εμβαθύνοντας λοιπόν, στην δευτεροβάθμια επεξεργασία συναντάει τις εξής διεργασίες:

- βιολογική νιτροποίηση
- προσθήκη υδρασβεστίου και σόδας (αύξηση του pH και απομάκρυνση του φωσφόρου)
- φιλτράρισμα
- προσαρμογή pH
- απολύμανση

Ο σκοπός αυτής της επεξεργασίας είναι η μείωση της διάβρωσης και της εναπόθεσης αλάτων στις εγκαταστάσεις υδατόπυργων (Τσομπάνογλου και Αγγελάκης, 1995). Σε αντίστοιχο παράδειγμα στην Σιγκαπούρη έχει κατασκευαστεί μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με ημερήσιο φορτίο που φτάνει σχεδόν τα 72.000 m<sup>3</sup> για την παραγωγή νερού υψηλής ποιότητας το οποίο θα αξιοποιηθεί από τις βιομηχανίες παραγωγή ημιαγωγών και άλλων παραπροϊόντων υψηλής τεχνολογίας (Λυμπεράτος και Βαγενάς, 2012).

Η χρήση νερού από μη επαρκή επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορεί να γίνει η αιτία για επικαθήσεις, διάβρωση επιφανειών των πύργων ψύξης, δημιουργία επιστρώσεων κτλ. Ιδιαίτερα το νερό ψύξης για να χρησιμοποιείται πρέπει πρώτα να τηρεί κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές (Metcalf and Eddy, 2003).

### 3.2.3 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων

Δεδομένου της κλιματικής αλλαγής και την κατάχρησης νερού για την κάλυψη διάφορων αναγκών του ανθρώπου κρίνεται σπουδαία η λύση για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων. Ο σκοπός αυτής της πρακτικής είναι η ελάττωση της πτώσης στάθμης στου υδροφόρου ορίζοντα, η προστασία του υπόγειου νερού σε παράκτιους υδροφορείς από την διείσδυση και την ανάμειξη του θαλασσινού νερού γνωστό και ως φαινόμενο υφαλμύρισης και τέλος η αποθήκευση νερού από ανάκτηση λυμάτων για μελλοντικές χρήσεις (Todd and Mays, 2005). Ο εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορεί να επιτραπεί στις περιπτώσεις όπου αποδεικνύεται ότι ο υδροφορέας δεν χρησιμοποιείται για λόγους ύδρευσης. Μετά τον εμπλουτισμό η ποιότητα των λυμάτων θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον ίδια με την ποιότητα που απαιτείται για απεριόριστη άρδευση ή αστική χρήση.

Συνεπώς κρίνεται απαραίτητη η επαρκής επεξεργασία των λυμάτων για την απομάκρυνση οργανικών υλικών ύστερα από τις διαδικασίες της δευτεροβάθμιας και της τριτοβάθμιας επεξεργασίας (π.χ. ενεργός άνθρακας, διήθηση ή μεμβράνες). Για μια όμως ολοκληρωμένη η διαδικασία εμπλουτισμού θα πρέπει να εκτελεστούν ειδικές υδρογεωλογικές μελέτες ώστε να αποφευχθεί η διείσδυση λυμάτων σε υδροφορείς για άντληση προς πόση (Ανδρεαδάκης κ.α., 2008).

Η επίτευξη εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων μπορεί να γίνει με δύο τρόπος. Πρώτον, μπορεί να γίνει μέσω φυσικού εμπλουτισμού και δεύτερον μέσω τεχνικού εμπλουτισμού. Ως φυσικός εμπλουτισμός ορίζεται η απευθείας κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, διήθηση από επιφανειακά νερά και υπόγεια τροφοδοσία από γειτονική λεκάνη. Παρόλα αυτά η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να είδα δραστική και σωτήρια πολλές φορές καθώς αυξάνει την ποσότητα του νερού ώστε να προκληθεί τεχνητός εμπλουτισμός. Ο τεχνικός εμπλουτισμός των υδροφόρων είναι ουσιαστικά η αύξηση των ποσοτήτων μετεωρικού νερού που εισβάλλει στα υδροφόρα στρώματα με χρήση ανθρώπινων ειδικών εγκαταστάσεων (Todd and Mays, 2005). Ενδεικτικά αναφέρονται τρεις μέθοδοι εμπλουτισμού:

- I. Με επιφανειακή διάχυση ή διήθηση χρησιμοποιώντας λάκκους, ρήγματα, τάφρους, φράγματα και λεκάνες.
- II. Με άρδευση.
- III. Με έμμεση έκχυση λυμάτων δηλαδή γεωτρήσεις και πηγάδια.

### 3.2.4 Ανακύκλωση νερού για ύδρευση (πόσιμο νερό)

Η ανακύκλωση νερού για λόγους ύδρευσης είναι ένα πολύ λεπτό ζήτημα το οποίο περιπλέκεται συγκριτικά με τις άλλες χρήσεις και ταυτόχρονα περιέχει το μεγαλύτερο κομμάτι της κοινωνικής αποδοχής. Αυτός ο τρόπος αξιοποίηση των λυμάτων γίνεται τάση σε περιοχές που αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας, με τα εδάφη τους να είναι στην πλειοψηφία άγονα παρατηρώντας μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα. Γεγονός που απειλεί τους υδατικούς πόρους και γίνεται αναγκαστική η εύρεση εναλλακτικών μεθόδων παροχής νερού.

Η εφαρμογή αυτή μπορεί να γίνει είτε με άμεση είτε με έμμεση ύδρευση. Η άμεση ύδρευση επεξεργασμένων λυμάτων δεν μπορεί να έχει τα ίδια ποιοτικά κριτήρια με εκείνα του πόσιμου νερού διότι το 'φυσικό νερό' προέρχεται από σχετικά καθαρές και χωρίς ρύπανσης πηγές νερού, ενώ τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα περιέχουν εκατοντάδες ή και χιλιάδες φυσικές ή σύνθετες χημικές ουσίες. Επιπλέον, δεν είναι εφικτό να γίνονται συνεχόμενοι έλεγχοι δειγμάτων για να καλυφθούν πάντοτε τα ανώτατα επιτρεπτά όρια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός πιλοτικού έργου παρακολούθησης και ελέγχου ανάκτησης νερού είναι το Potable Water Reuse Demonstration Project στο Ντένβερ του Κολοράντο.



Για την παραγωγή πόσιμου νερού ακολουθεί μία σειρά από διεργασίες, η οποία είναι η εξής:

- Διαύγαση
- Επαναπροσρόφηση με ενεργό άνθρακα
- Φιλτράρισμα
- Απολύμανση με UV
- Αντίστροφη ώσμωση
- Απολύμανση με O<sub>3</sub>
- Απομάκρυνση με ρεύμα αέρος (απογύμνωση)
- Χλωρίωση

Αυτή η ακολουθία διεργασιών επιδιώκει την εξασφάλιση αναγκαίας επεξεργασίας και δημιουργία φραγμού για τα διάφορα μολυσματικά συστατικά μετά από την δευτεροβάθμια επεξεργασία. Ένα όμοιο έργο επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού για πόση είναι το Windhoek που βρίσκεται στην Νότιο Αφρική και ένα ακόμη συναντάται στο Βίντχουκ, πρωτεύουσα της Ναμίμπια η οποία αποτελείται από 80% από ερήμους. Το Βίντχουκ είναι πρωτοπόρος στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων διότι υπάρχει σοβαρή έλλειψη νερού καθώς βρίσκεται 300 km από την θάλασσα (Lahnsteiner and Lempert, 2007).

Τελικά, οι έρευνες μετά από 20 χρόνια μελέτης και εφαρμογής τέτοιων προγραμμάτων ανακύκλωσης νερού απέδειξαν ότι πρώτον, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στον πληθυσμό δηλαδή όσων ήταν χρήστες ανακτημένου νερού δεύτερον, όλες οι αναλύσεις για ασθένειες ή οργανισμούς ή τοξικά – μεταλλαξιγόνα ήταν αρνητικές και τρίτον οι άνθρωποι που κατανάλωναν ανακτημένο νερό ήταν πιο υγιείς από την ομάδα ανθρώπων που συγκρίθηκε (Τσομπάνογλου και Αγγελάκης, 1995).

Η έμμεση πόση συνδυάζεται με την τροφοδοσία από νερό ποταμιών ή υπογείων υδροφορέων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η Σιγκαπούρη η οποία τα τελευταία χρόνια έχει κάνει υποχρεωτική την έμμεση πόση επεξεργασμένων λυμάτων. Η χρήση αυτή καλύπτει το 30% των αναγκών χρήσης νερού θέτοντας εθνικό στόχο μέχρι το 2060 να καλύπτει το 55% των αναγκών νερού από επεξεργασμένα λύματα. Σε μια παρόμοια θέση βρίσκεται και η Κίνα η οποία λόγω του φαινομένου της αστικοποίησης έχει στραφεί και εκείνη σε τέτοιου είδους πολιτικές. Η Αυστραλία ως γνωστόν δεν έχει αποθέματα νερού και έχει καταφέρει να περάσει μία εναλλακτική κουλτούρα για την κατανάλωση νερού (ύδρευση).

Επί του πρακτέος, οι πολιτικές επεξεργασία υγρών αποβλήτων έχουν φτάσει στο σημείο να αγγίζουν το 92% των αποβλήτων το οποίο μεταφράζεται και ως 2 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup> ετησίως (Lyu et al., 2015). Η επαναχρησιμοποίηση νερού από υγρά απόβλητα για έμμεση πόση είναι μια διεργασία η οποία κοστίζει ενεργειακά λιγότερο από την μέθοδο αφαλάτωσης αλλά δυστυχώς δεν πείθει το κοινό σαν μέθοδο.

### **3.2.5 Χώροι αναψυχής και περιβαλλοντικές χρήσεις**

Η επαναχρησιμοποίηση για περιβαλλοντικούς σκοπούς περιλαμβάνει την αξιοποίηση των υγροτόπων και την αποκατάσταση αυτών καθώς λειτουργούν ως 'κατοικία' άγριας ζωής ή και καταφύγια ζώων, αυξάνοντας το ρεύμα νερού. Στους χώρους αναψυχής στους οποίους χρησιμοποιείται ανακτημένο νερό εντοπίζονται γήπεδα γκολφ, αλιεία, κωπηλασία, δημιουργία λιμνών και το κολύμπι. Βέβαια ακολουθώντας την εκάστοτε νομοθεσία θέτονται όρια κυρίως για τις συγκεντρώσεις των κολοβακτηριδίων που υπάρχουν στο ανακτημένο νερό ώστε να προστατευτεί ο άνθρωπος όταν έρθει σε άμεση επαφή (Λυμπεράτος και Βαγενάς, 2012).



#### 4. Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση τιμολογιακών πολιτικών για την διάθεση ανακτημένου νερού προς επαναχρησιμοποίηση σε διάφορες περιοχές του κόσμου και στην Ελλάδα. Για να την διαμόρφωση αυτών των τάσεων λαμβάνονται υπόψη διεθνείς νομοθεσίες και κανονισμοί για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων, οι οδηγίες από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) και ειδικότερα οι Ευρωπαϊκές νομοθεσίες με σημαντική αναφορά στο Κανονισμό ΕΕ 2020/741 – επαναχρησιμοποίηση υδάτων, παρουσιάζοντας και τα δεδομένα που επικρατούν στην περίπτωση της Ελλάδας.

Ωστόσο το επίκεντρο της εργασίας πραγματεύεται διάφορες μεθόδους τιμολόγησης του ανακτημένου νερού λαμβάνοντας υπόψη μία οικονομική ανάλυση και τους παράγοντες που συμβάλουν στην τιμολόγηση συμπεριλαμβανομένων των κοστών και των οφελών και εστιάζοντας στο περιβαλλοντικό κόστος. Τέλος, γίνεται αναφορά για την τιμολογιακή πολιτική που ακολουθούν και εφαρμόζουν διάφορες περιοχές, οι οποίες εμφανίζουν έντονο ενδιαφέρον ως προς την τοποθεσία τους στον παγκόσμιο χάρτη καθώς παρατηρείται έλλειψη σε υδάτινους πόρους και η επαναχρησιμοποίηση θεωρείται μία εναλλακτική μέθοδος η οποία αμβλύνει τέτοιου είδους προβλήματα.

## 5. Νομοθεσία και Κανονισμοί για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων

### 5.1 Οδηγίες Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ)

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ, World Health Organization - WHO) έχει ως σκοπό να διαφυλάξει την ανθρώπινη υγεία κατά την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων γι' αυτό και καθορίζει οδηγίες θέτοντας μικροβιολογικά επιδημιολογικά και χημικά κριτήρια. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μελέτη εκτίμησης κινδύνου που προέρχεται από παρουσία μικροοργανισμών. Ως γνωστόν οι μικροοργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν για αρκετό χρονικό διάστημα και να μεταφερθούν από τα λύματα στο έδαφος και στις καλλιέργειες με κατάληξη στον άνθρωπο. Ο ΠΟΥ αναβάθμισε την Οδηγία του 2006 εστιάζοντας σε τέσσερα σημεία, θέτοντας τα ακόλουθα:

- I. Δείκτες ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων που σχετίζονται με τις συγκεντρώσεις εντερικών νηματοειδών ή των E.Coli.
- II. Τεχνικές προδιαγραφές για τον εξοπλισμό και τις διαδικασίες κατά την άρδευση με επεξεργασμένα λύματα.
- III. Επιδίωξη και μέτρηση φθίνων λογαριθμικών συγκεντρώσεων από παθογόνους μικροοργανισμούς.
- IV. Απώλεια χρόνου ζωής ή επιβάρυνση της υγείας των ανθρώπων.

Επιπροσθέτως, ο ΠΟΥ ενδιαφέρεται για τις ασθένειες που πιθανών προκύπτουν από την χρήση υγρών αποβλήτων σε υδατοκαλλιέργειες λόγω ύπαρξης παθογόνων βακτηρίων. Μεγάλη προσοχή στρέφεται στα παθογόνα βακτήρια και κυρίως σε έλμινθες, ιούς και πρωτόζωα τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες όπως χολέρα ή τυφοειδή πυρετό.

Εξίσου σημαντικό ενδιαφέρον εντοπίζεται ως προς τις κατηγορίες χρηστών δηλαδή αγρότες, οικογένειες, καταναλωτές και ανθρώπους που μένουν δίπλα σε περιοχές που αρδεύονται από επεξεργασμένα λύματα. Πρέπει να αναφερθεί πως ο Κανονισμός αυτός του ΠΟΥ εκδόθηκε το 1989 και επισύναπτε τα όρια για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για αστικές χρήσεις και καλλιέργειες – υδατοκαλλιέργειες.

Το 2006 εκδόθηκε για τρίτη φορά αναβαθμίζοντας τις κατώτερες συγκεντρώσεις για τα E.Coli ώστε το νερό το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απεριόριστη ή περιορισμένη άρδευση. Η συγκέντρωση E.Coli των λυμάτων μετά την εκροή ορίζεται να είναι μικρότερη από  $10^4/100$  mL λυμάτων για απεριόριστη άρδευση και  $10^5$  για περιορισμένη.

Για κάθε κίνδυνο ορίζεται ένα επίπεδο το οποίο άμα ξεπεραστεί επιβαρύνεται η ασθένεια που ανθρώπου και αυτό είναι γνωστό ως τη μονάδα  $10^{-6}$  DALYs (Disability-adjusted life years) για να γίνεται η μέτρηση του επιπέδου ασθένειας που μπορεί να προκληθεί ανά άτομο ετησίως. Να τονιστεί ότι ο όρος DALY για μια ασθένεια ή κατάσταση υγείας είναι το άθροισμα των ετών ζωής που χάθηκαν λόγω πρόωρης θνησιμότητας και των ετών ζωής με αναπηρία λόγω επικρατών περιπτώσεων της νόσου ή της κατάστασης υγείας σε έναν πληθυσμό.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μελέτες επιδημιολογικού περιεχομένου. Για παράδειγμα θεωρείται πως δεν υπάρχει κίνδυνος εάν υπάρξει προσβολή συγκέντρωσης ελμίνθων μικρότερης ή ίσης με 1 αυγό/L λυμάτων για άρδευση. Αναφέρονται λοιπόν, στον ακόλουθο Πίνακα 5.1 οι μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στο έδαφος για διάφορα τοξικά στοιχεία και οργανικές ενώσεις για την διασφάλιση της υγείας.

**Πίνακας 5.1** Μέγιστες συγκεντρώσεις για διάφορα χημικά στοιχεία και οργανικές ενώσεις, στο έδαφος αναφορικά με την ανθρώπινη υγεία (WHO, 2006).

Χημικά Στοιχεία	Συγκεντρώσεις στο έδαφος (mg/Kg)	Οργανικές Ενώσεις	Συγκεντρώσεις στο έδαφος (mg/Kg)
Sb	36	Aldrin	0,48
As	8	Βενζόλιο	0,14
Ba	302	Chlordane	3
B	1,7	Χλωροβενζόλιο	211
Cd	4	DDT	1,54
F	635	Διχλωροβενζόλιο	15
Fe	84	Dieldrin	0,17
Hg	7		
Pb	0,6		
Ni	107		
Se	6		
Ag	3		
Tl	0,3		
V	47		

Επομένως, προτείνονται σαν μέτρο προστασίας για την υγεία του ανθρώπου η θερμική επεξεργασία των τροφίμων πριν την κατανάλωση καθώς και η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν την άρδευση ορίζοντας περιορισμούς στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Το γεγονός αυτό κρίνει αναγκαία την τήρηση διαδικασιών υγιεινής κατά την παραγωγή των τροφίμων και επίσης την εφαρμογή πρακτικών όπως πλύσιμο, απολύμανση και θερμική επεξεργασία των τροφίμων (WHO, 2006). Ωστόσο έχουν εντοπιστεί ζητήματα για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης νερού σχετικά με τις περιπτώσεις εξάπλωσης ανθεκτικών οργανισμών σε αντιβιοτικά.

Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υδάτων αναφέρονται συνήθως στην προστασία της δημόσιας υγείας από παθογόνους μικροοργανισμούς που σχετίζονται έμμεσα ή άμεσα με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και επίσης η παρακολούθηση χημικών ουσιών επιβλαβής για την δημόσια υγεία συναντάται συνήθως σε εφαρμογές για πόση (έμμεση χρήση) (Paranychianakis et al., 2015).

Οι κατευθυντήριές γραμμές για την ασφαλή χρήση των λυμάτων στη γεωργία έλαβαν υπόψη όλα τα διαθέσιμα επιδημιολογικά και μικροβιολογικά δεδομένα και καθόρισαν τη μικροβιολογική ποιότητα και τη μέθοδο επεξεργασίας που απαιτείται για την επίτευξη αυτής της ποιότητας. Με τον τρόπο αυτό επιδιώκεται απομάκρυνση παράσιτων και του πιο μολυσματικού παράγοντα στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Οι οδηγίες του ΠΟΥ παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 5.2 (Hamdy, 2005).

**Πίνακας 5.2** Κατευθυντήριες γραμμές για την χρήση επεξεργασμένων λυμάτων στην γεωργία (Hamdy, 2005).

Category	Reuse conditions	Exposed group	Intestinal nematode. eggs per litre <sup>a</sup>	Fecal coliforms (MPN per 100ml) <sup>a</sup>	Wastewater treatment expected to achieve the required microbiological guideline
<b>A</b>	Irrigation of crops likely to be eaten uncooked, sports fields, public parks <sup>b</sup>	Workers, consumers, public	≤1	≤1000	A series of stabilization ponds designed to achieve the microbiological quality indicated, or equivalent treatment
<b>B</b>	Irrigation of cereal crops, industrial crops, fodder crops, pasture and trees <sup>c</sup>	Workers	≤1	No standard recommended	Retention in stabilization ponds for 8-10 days or equivalent helminth and faecal coliform removal
<b>C</b>	Localized irrigation of crops in category B if exposure to workers and the public does not occur	None	Not applicable	Not applicable	Pre-treatment as required by irrigation technology, but not less than primary sedimentation

a During the irrigation period.

b A more stringent guideline (200 fecal coliforms per 100 ml) is appropriate for public lawns, such as hotel lawns, with which the public may come into direct contact.

c In the case of fruit trees, irrigation should cease two weeks before fruit is picked, and no fruit should be picked off the ground. Sprinkler irrigation should be used.

## 5.2 Διεθνείς Νομοθεσίες

### 5.2.1 Αμερική

Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής εφαρμόζουν εναλλακτικές μεθόδους για την ανάκτηση του νερού σε περιοχές που είναι άνυδρες και ημιάνυδρες, κυρίως στις δυτικές και βορειοδυτικές πολιτείες όπως Αριζόνα, Καλιφόρνια, Κολοράντο, Νεβάδα, Τέξας και Γιούτα. Ο στόχος της επαναχρησιμοποίησης είναι η μείωση της ρύπανσης του νερού και συγχρόνως η ενίσχυση των υδάτινων αποθεμάτων. Οι εφαρμογές αυτών έχουν περιοριστεί κυρίως σε μη πόσιμες χρήσεις εξαιτίας του κόστους επεξεργασίας και των ζητημάτων σε θέματα υγείας και ασφάλειας (Metcalf and Eddy, 2003). Η Πολιτεία της Καλιφόρνιας λαμβάνοντας υπόψιν τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη και συνυπολογίζοντας τους κινδύνους που τέθηκαν για την υγεία το 1918 υπέβαλε τους πρώτους κανονισμούς σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων στην γεωργία. Ο Κανονισμός ενισχύει την επαναχρησιμοποίησης νερού προς άρδευση μη βιώσιμων καλλιεργειών ή καλλιεργειών με τα προϊόντα αυτών να μαγειρεύονται πριν καταναλωθούν και απαγορεύει τη χρήση ακατέργαστων λυμάτων για άρδευση (Ritter, 2021).

Στις ΗΠΑ δεν υπάρχουν ομοσπονδιακοί κανονισμοί για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Οι Κανονισμοί ή οι Οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων εναρμονίζεται σε κάθε μεμονωμένη πολιτεία. Σύμφωνα με την Environmental Protection Agency (EPA) από τον Αύγουστο του 2012, 22 πολιτείες έχουν κανονισμούς και 11 πολιτείες έχουν οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Οι πολιτείες του Κονέκτικατ, του Κεντάκι, του Μέιν, του Νιου Χάμσαϊρ και της Νέας Υόρκης δεν έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Επιπλέον, 43 πολιτείες έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για μη εδώδιμες καλλιέργειες και επεξεργασμένες καλλιέργειες τροφίμων για άρδευση με ανακτημένα λύματα, ενώ 27 πολιτείες έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για καλλιέργειες τροφίμων.

Ακόμη, 32 πολιτείες έχουν κανονισμούς ή οδηγίες για απεριόριστη αστική χρήση και 40 πολιτείες έχουν κανονισμούς και οδηγίες για περιορισμένη αστική χρήση. Οι πλειοψηφία των πολιτειών επιτρέπει την άρδευση σε πάρκα, δημόσιους χώρους αναψυχής, αθλητικά κέντρα και γήπεδα γκολφ. Οι περισσότεροι Κανονισμοί ή Οδηγίες για αρδευτικά λύματα περιλαμβάνουν απαιτήσεις αδειοδότησης και παρακολούθησης καθώς υπάρχουν απαιτήσεις τεχνολογίας για την επεξεργασία αλλά και απαιτήσεις για την σωστή ποιότητα νερού. Να σημειωθεί πως οι πρώτοι κανονισμοί απαγόρευαν τη χρήση ακατέργαστων λυμάτων και σηπτικής δεξαμενής και λυμάτων Imhoff για την άρδευση καλλιεργείων τροφίμων. Το 2018 οι κανονισμοί που εγκρίθηκαν στον Κώδικα Κανονισμών της Καλιφόρνια, Τίτλος 22 και Ενότητα 60304, καθορίζουν τα επίπεδα επεξεργασίας για το ανακυκλωμένο νερό για διαφορετικές μη πόσιμες εφαρμογές (Ritter, 2021). Το σύνολο των νόμων που σχετίζονται με το ανακτημένο νερό της πολιτείας της Καλιφόρνιας αναφέρθηκαν και ως “Το μωβ βιβλίο”. Το «Purple Book» περιγράφει τους υγειονομικούς νόμους στην Καλιφόρνια σχετικά με το ανακτημένο νερό και περιλαμβάνουν αναφορές για την Υγεία και την Ασφάλεια και είναι γνωστοί ως Κώδικες Νερού «Τίτλος 22 και 17» του Κώδικα Κανονισμών της Καλιφόρνιας (1978). Οι κανονισμοί αυτοί αναθεωρήθηκαν το 2001 και τον Μάρτιο του 2013 με ένα τελευταίο αναθεωρημένο προσχέδιο, αποτελώντας τη βάση για την ανάπτυξη περαιτέρω κανονισμών παγκοσμίως.

Η EPA έχει αναπτύξει προτεινόμενες ρυθμιστικές κατευθυντήριες γραμμές για διαφορετικές κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης λυμάτων που συνίσταται να χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ. Οι Οδηγίες αυτές εστιάζουν για γεωργική χρήση και αστική (Ritter, 2021). Αναλυτικά παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 5.3:

**Πίνακας 5.3** Η EPA πρότεινε ρυθμιστικές κατευθυντήριες γραμμές για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων άρδευσης (Ritter, 2021).

Κατηγορία επαναχρησιμοποίησης	Θεραπεία	Ποιότητα νερού	Παρακολούθηση	Αποστάσεις οπισθοδρόμησης
Απεριόριστη αστική επαναχρησιμοποίηση	Δευτεροβάθμια + Διήθηση + Απολύμανση	pH 6,0–9,0 BOD 5 10 mg/L Θολότητα 2 NTU Κολοβακτηριδίο κοπράνων 0/100 mL Cl 2 υπολειπόμενο 1,0 mg/L (min)	pH εβδομαδιαία BOD 5 εβδομαδιαία Θολότητα συνεχής Κολοβακτηριδίο κοπράνων καθημερινά Cl 2 υπολειπόμενο συνεχές	15 m από πηγάδια παραχής πόσιμου νερού
Περιορισμένη αστική επαναχρησιμοποίηση	Δευτεροβάθμια + Απολύμανση	pH 6,0–9,0 BOD 5 30 mg/L TSS 30 mg/L Κολοβακτηριδίο κοπράνων 200/100 mL Cl 2 υπολειπόμενο 1,0 mg/L (min)	pH εβδομαδιαία BOD 5 εβδομαδιαία TSS ημερησίως Κολοβακτηριδίο κοπράνων καθημερινά Cl 2 υπολειπόμενο συνεχές	90 m από πηγάδια παραχής πόσιμου νερού 30 m σε χώρους πρόσβασης κοινού
Γεωργία Διατροφικές Καλλιέργειες	Δευτεροβάθμια + Διήθηση + Απολύμανση	pH 6,0–9,0 BOD 5 30 mg/L TSS 30 mg/L Κολοβακτηριδίο κοπράνων 0/100 mL Cl 2 υπολειπόμενο 1,0 mg/L (min)	pH εβδομαδιαία BOD 5 εβδομαδιαία Θολότητα συνεχής Κολοβακτηριδίο κοπράνων καθημερινά Cl 2 υπολειπόμενο συνεχές	15 m από πηγάδια παραχής πόσιμου νερού
Γεωργία Επεξεργασμένα Τρόφιμα Καλλιέργειες Μη Διατροφικές Καλλιέργειες	Δευτεροβάθμια + Απολύμανση	pH 6,0–9,0 BOD 5 30 mg/L TSS 30 mg/L Κολοβακτηριδίο κοπράνων 200/100 mL Cl 2 υπολειπόμενο 1,0 mg/L (min)	pH εβδομαδιαία BOD 5 εβδομαδιαία TSS ημερησίως Κολοβακτηριδίο κοπράνων καθημερινά Cl 2 υπολειπόμενο συνεχές	90 m από πηγάδια παραχής πόσιμου νερού 30 m σε χώρους πρόσβασης κοινού

Στην Καλιφόρνια εφαρμόζεται ένα σύστημα το οποίο εγκρίνει και πιστοποιεί τεχνολογίες επεξεργασίας βάσει του Τίτλου 22. Ο Τίτλος 22 θεσπίζει κριτήρια ανακύκλωσης σε ολόκληρη την Πολιτεία για διάφορες χρήσεις του ανακτημένου νερού ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια της δημόσιας υγείας. Τα συγκεκριμένα κριτήρια καθορίζουν και εγκρίνουν τα αριθμητικά όρια ανάλογα με την χρήση του νερού και τις μεθόδους επεξεργασίας ως προς την ποιότητα. Ως αποτέλεσμα των πολιτικών που ακολουθούνται στην Καλιφόρνια η ανακύκλωση του νερού αυξάνεται σταθερά μετά το 1970.

Η πολιτική ανακύκλωσης νερού η οποία τροποποιήθηκε έπειτα από ψήφισμα του Υπουργικού Συμβουλίου για το Νερό 2013-0003, ορίζει συγκεκριμένους στόχους για την ανακύκλωση και την προστασία του νερού:

- I. Αύξηση χρήσης ανακυκλωμένου νερού τουλάχιστον 1.233 Mm<sup>3</sup>/y από το 2002 έως το 2020 και κατά 2.467 Mm<sup>3</sup>/y μέχρι το 2030.
- II. Αύξηση των ποσοτήτων για αστική και βιομηχανική χρήση κατά 20% από το 2007 έως το 2020.
- III. Αύξηση της χρήσης όμβριων υδάτων κατά 50% στο διάστημα από το 2020 έως το 2030.

Σύμφωνα με τους ακόλουθους στόχους ο Κρατικός Κώδικας για το νερό δηλώνει ότι «Πρόθεση του νομοθετικού σώματος είναι το Κράτος να λαμβάνει όλα τα δυνατά μέτρα για να ενθαρρύνει την ανάπτυξη εγκαταστάσεων ανακύκλωσης νερού έτσι ώστε το ανακυκλωμένο νερό να μπορεί να διατεθεί για να ανταποκριθεί στις αυξανόμενες απαιτήσεις νερού του Κράτους» (European Commission et al., 2015). Τέλος, στον ακόλουθο Πίνακα 5.4 αναφέρονται συνοπτικά οι νομοθεσίες που εφαρμόζονται σε διάφορες Πολιτείες της Αμερικής για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων.

**Πίνακας 5.4** Κανονιστικό πλαίσιο σημαντικών Πολιτειών των ΗΠΑ για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (Sanz and Gawlik, 2014).

States of USA	Type of criteria
<b>National: United States Environmental Protection Agency (USEPA)</b>	"Guidelines for water reuse" (2012)
<b>Arizona</b>	Title 18. Environmental quality: Article 3. reclaimed water quality standards Permits required through Arizona Dept. of Water Quality
<b>California</b>	Groundwater Replenishment with Recycled Water - June 26, 2013 draft regulations  Title 17 of the California Code of Regulations – for cross connections Title 22 – Water Recycling Criteria  The compilations of recycled water-related laws once referred to as "The Purple Book", is described in " Statutes Related to Recycled Water & the California Department of Public Health, January 2011"
<b>Colorado</b>	Regulation 84 Reclaimed Water Control Regulation (amended 6/10/13, effective 7/30/13)
<b>Florida</b>	Chapter 62-610, F.A.C. "Reuse of Reclaimed Water and Land Application."
<b>Georgia</b>	Department of Natural Resources, 2002, Guidelines for Water Reclamation and Urban Water Reuse
<b>New Mexico</b>	Guidelines: NMED, Ground water quality bureau guidance: Above ground use of reclaimed domestic wastewater. January 2007
<b>Texas</b>	Title 30 Texas Administrative Code Chapter 210, Subchapters A-F
<b>Wyoming</b>	Standards for the reuse of treated wastewater Chapter 21, December 2010



### 5.2.2 Ασία

Η επαναχρησιμοποίηση νερού αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο σε όλο τον κόσμο που επιδιώκει να εξοικονομήσει σε υδάτινους πόρους, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το κόστος και την ενέργεια.

Στην Ιαπωνία η επαναχρησιμοποίηση μη πόσιμου νερού έχει εφαρμοστεί σε πολλές πόλεις κυρίως για αστικές εφαρμογές όπως το ξέπλυμα της τουαλέτας, ή την αύξηση του νερού των αστικών ρεμάτων ή την άρδευση τοπίων από την δεκαετία του 1980. Η χρήση όμως του ανακτημένου νερού εξακολουθεί να είναι περιορισμένη κυρίως για δύο βασικούς λόγους:

- I. Έλλειψη επαρκών αυστηρών προτύπων ποιότητας για ανακτημένο νερό ως προς τον κίνδυνο χημικών και παθογόνων παραγόντων.
- II. Υψηλή ενεργειακή κατανάλωση ανάκτησης νερού εγκαταστάσεων.

Στην Ιαπωνία το 2005 θεσπίστηκαν πρότυπα για το ανακυκλωμένο νερό όσο αναφορά τη ρύθμιση των επιπέδων του *E.coli*, των ολικών κολοβακτηριδίων, της θολότητας, του pH, της εμφάνισης, του χρώματος, της οσμής και του υπολειπόμενου χλωρίου (Πίνακας 5.5). Ωστόσο, αυτό το πρότυπο ποιότητας δεν ρυθμίζει καμία χημική ουσία και ιούς, έτσι ώστε η ασφάλεια του ανακτημένου νερού σε σχέση με αυτούς τους ρύπους να μην είναι εγγυημένη.

**Πίνακας 5.5** Πρότυπα ποιότητας για το ανακτημένο νερό στην Ιαπωνία (Takeuchi and Tanaka, 2020).

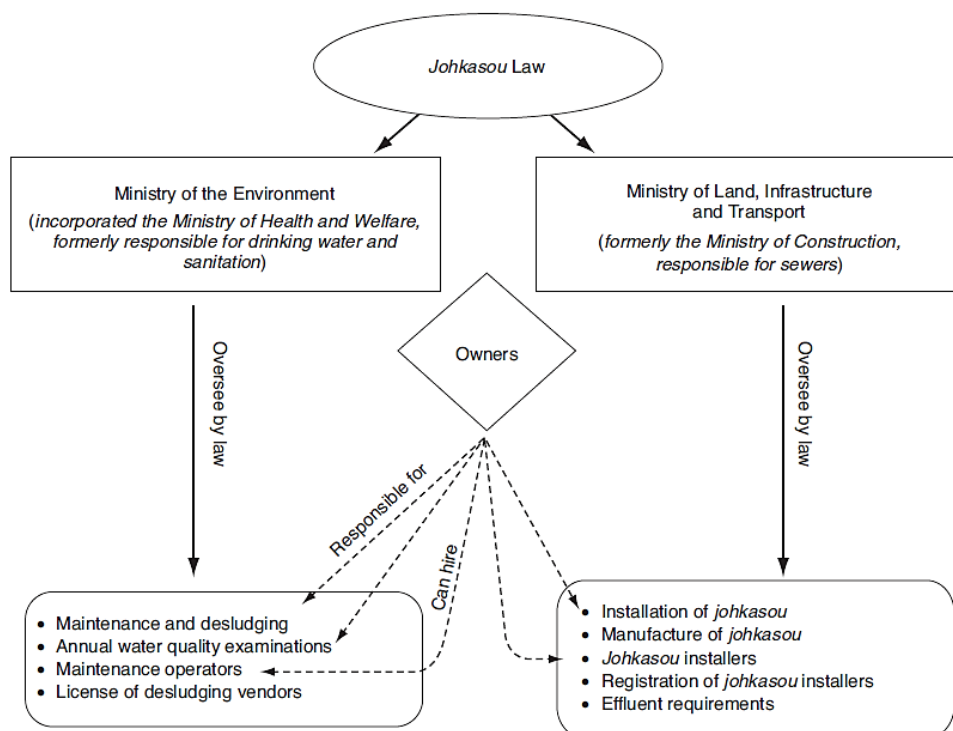
	Πλύσιμο τουαλέτας	Ράντισμα	Άρδευση τοπίου	Ψυχαγωγικές εφαρμογές
<i>E. coli</i>	Δεν εντοπίστηκε	Δεν εντοπίστηκε	–	Δεν εντοπίστηκε
Ολικά κολοβακτηριδία [CFU/100 mL]	–	–	1.000	–
Θολότητα [mg-καολίνη/L]	≤2	≤2	≤2	≤2
pH	5,8–8,6	5,8–8,6	5,8–8,6	5,8–8,6
Εμφάνιση	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο
Χρώμα [Μονάδα χρώματος]	–	–	≤40	≤10
Οσμή	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο	Όχι δυσάρεστο
Υπολειμματικό χλώριο [mg/L]	Ελεύθερος: ≥0,1 Σύνολο: ≥0,4	Ελεύθερος: ≥0,1 Σύνολο: ≥0,4	–	Ελεύθερος: ≥0,1 Σύνολο: ≥0,4

Επιπλέον, στην Ιαπωνία θεσπίστηκε ο νόμος Johkasou που προέχεται από την λέξη “jouka” που σημαίνει κάθαρση και την λέξη “sou” που σημαίνει δεξαμενή ή μπανιέρα και ουσιαστικά έχει την έννοια της απευθείας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Είναι διαμορφωμένη έτσι ώστε να ρυθμίσει το κανονιστικό πλαίσιο για την κατασκευή, εγκατάσταση, συντήρηση και εκκένωση των συστημάτων johkasou.

Στο Διάγραμμα 5.1 που ακολουθεί προβάλλεται το πλάνο οργάνωσης της κυβερνητικής δομής που είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή αυτού του νόμου. Συγχρόνως γίνεται ποιοτικός έλεγχος παραμέτρων όπως:

- pH
- Διαλυμένο οξυγόνο
- Εναπομένον χλώριο
- BOD
- Άζωτο N





**Διάγραμμα 5.1** Οργάνωση Κυβερνητικής Δομής για την εφαρμογή και επιβολή του Νόμου Johkasou (Gaulke, 2006).

Για παράδειγμα, το 2010 έως το 2015 πραγματοποιήθηκε στην Ιαπωνία το έργο (CREST) για την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών διεργασιών ανάκτησης νερού με χρήση σύγχρονων τεχνολογιών (μεμβράνες και διεργασίες οζόνωσης). Τα αποτελέσματα αυτού του έργου στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν οι διεργασίες της UF και UV στην μονάδα επεξεργασίας λυμάτων Itoman στην Οκινάουα για την αξιολόγηση της απόδοσης ως προς την απομάκρυνση από ιούς και ως προς την εφαρμογή νερού στην γεωργία.

Ως γνωστόν η Ιαπωνία είναι μία χώρα με χαμηλή καταπόνηση νερού καθώς η λειψυδρία δεν αποτελεί ισχυρό παράγοντα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού. Το Τόκιο ήταν πρωτοπόρος στην χρησιμοποίηση ανακτημένου νερού με σκοπό την αναπλήρωση ξηρών ρευμάτων και την αποκατάσταση της ροής ρεμάτων και το γενικώς ολόκληρου του υδάτινου περιβάλλοντος. Προκειμένου λοιπόν να τονιστεί η σημασία της επαναχρησιμοποίησης του νερού και της προώθησης του η Ιαπωνική Κυβέρνηση θέσπισε σημαντικούς νόμους το 2014 και το 2015. Ο «Βασικός νόμος για τον κύκλο του νερού» θεσπίστηκε το 2014 και ήταν ο πρώτος στην Ιαπωνία που προέβλεπε την αξία της επαναχρησιμοποίησης νερού στη διαχείριση υδατικών πόρων. Επίσης δημιουργήθηκε και το «Νέο Όραμα Αποχέτευσης» το 2014 όπου περιγράφεται το σχέδιο επαναχρησιμοποίησης του νερού διπλασιάζοντας τον αριθμό των εγκαταστάσεων ανάκτησης νερού σε πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από 100.000 και το 2015 θεσπίστηκε η «Πολιτική Υδάτινων Πόρων» για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης του νερού (Takeuchi and Tanaka, 2020). Να σημειωθεί ότι το κανονιστικό πλαίσιο που ισχύει από το 2008 στην Ιαπωνία είναι αυτό που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.6 σύμφωνα και με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

**Πίνακας 5.6** Κανονιστικό Πλαίσιο Ιαπωνίας (Sanz and Gawlik, 2014).

Japan	National Institute for Land and Infrastructure Management: Report of the Microbial Water Quality Project on Treated Sewage and Reclaimed Wastewater (2008)	
-------	--	--

Μία ενδιαφέρουσα περίπτωση που αξίζει γίνει αναφορά είναι η περίπτωση της Σιγκαπούρης. Η Σιγκαπούρη είναι μια πυκνοκατοικημένη και εξαιρετικά αστικοποιημένη πόλη-κράτος με περίπου 5,5 εκατομμύρια πληθυσμό, σε μία έκταση 718 km<sup>2</sup>, από το 2014, σύμφωνα με το Τμήμα Statistics Singapore. Σημαντικές πληροφορίες για την πόλη αυτή είναι ότι δέχεται περίπου 2,4 μέτρα βροχόπτωσης ετησίως, υπάρχει περιορισμένη διαθέσιμη γη για συλλογή και αποθήκευση βρόχινου νερού. Οπότε, χωρίς άλλους εναλλακτικούς τρόπους προμήθειας νερού η Σιγκαπούρη για να καλύψει τις ανάγκες των ανθρώπων σε νερό δηλαδή περίπου 1,82 εκατομμύρια m<sup>3</sup>/ημέρα θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από το εισαγόμενο νερό από τη Μαλαισία.

Το 2003, μετά από μια περίοδο εκτεταμένης και εις βάθος έρευνας, το Συμβούλιο Κοινής Ωφέλειας άρχισε να παρέχει «υψηλής ποιότητας» ανακυκλωμένο νερό, γνωστό και ως NEWater, για απευθείας μη πόσιμη χρήση (DNPU) και έμμεση πόσιμη χρήση (IPU). Το ανακτημένο νερό είναι υψηλής καθαρότητας καθώς η ποιότητα ξεπερνά τα πρότυπα που ορίζονται στην ποιότητα του πόσιμου νερού του ΠΟΥ και την Εθνική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών.

Το NEWater παράγεται από επεξεργασμένα λύματα, που ονομάζονται «χρησιμοποιημένο νερό», τα οποία καθαρίζονται περαιτέρω χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες μεμβρανών και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία. Η προσέγγιση της Σιγκαπούρης για την επαναχρησιμοποίηση του νερού και εξετάζει την εμπειρία της στην ανάπτυξη και στην προμήθεια του NEWater, τονίζοντας τους κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας πίσω από την υλοποίησή του και σταθερό ιστορικό καλής ποιότητας νερού (<https://www.pub.gov.sg/>). Η μελέτη για την αποκατάσταση του νερού της Σιγκαπούρης σχεδιάστηκε το 1998 με στόχο τον προσδιορισμό της πιο κατάλληλης χρήσης του NEWater για τη συμπλήρωση της παροχής νερού της Σιγκαπούρης μέσω του προγραμματισμένου IPU. Η μελέτη περιλάμβανε τρία κύρια στοιχεία:

- Επίδειξη 10.000 m<sup>3</sup>/ημέρα σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τεχνολογίες MF, RO και UV για την παραγωγή NEWater.
- Πρόγραμμα δειγματοληψίας και παρακολούθησης για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού.
- Επιπτώσεις στην υγεία.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων κατασκευάστηκε και η μελέτη διήρκεσε από το 2000 έως το 2002. Τα ευρήματά του αξιολογήθηκαν από μια ομάδα εμπειρογνομόνων, η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ποιότητα του NEWater ξεπέρασε τις κατευθυντήριες γραμμές ποιότητας του πόσιμου νερού του WHO και της USEPA. Σήμερα, η Σιγκαπούρη έχει μια ισχυρή και διαφοροποιημένη παροχή νερού γνωστή ως «Τέσσερις Εθνικές Βρύσες». Η παροχή νερού μας περιλαμβάνει (<https://www.pub.gov.sg/>):

- I. Νερό από την τοπική λεκάνη απορροής.
- II. Εισαγόμενο νερό.
- III. Ανακυκλωμένο νερό υψηλής καθαρότητας γνωστό ως NEWater.
- IV. Αφαλατωμένο νερό.

Μέχρι το 2012, ολοκληρώθηκε ένα σύστημα μεταφοράς σε όλο το νησί, που συνδέει τα τέσσερα NEWater εργοστάσια, πέντε δεξαμενές υπηρεσιών και τα διάφορα συγκροτήματα ανεφοδιασμού. Εκτός από τη βελτίωση της προσφοράς αξιοπιστίας, η ενοποίηση του δικτύου αγωγών επέτρεψε μεγαλύτερη ευελιξία στη διαχείριση του ανακτημένου νερού καθώς και μεγαλύτερη προσφορά και ζήτηση νερού, αυξάνοντας έτσι περαιτέρω την ανθεκτικότητα του συστήματος NEWater. Ως μελλοντική επέκταση η Σιγκαπούρη σχεδιάζει να αυξηθεί η παροχή του NEWater για να καλύψει έως και 50% και 55% της συνολικής ζήτησης νερού έως το 2030 και 2060, αντίστοιχα. Μεγάλο μέρος αυτής της προσφοράς θα διοχετευθεί στη βιομηχανία, πράγμα που είναι σημαντικό στοιχείο της προβλεπόμενης αύξησης της ζήτησης.

Για την περαιτέρω ενίσχυση του συστήματος ανάκτησης νερού γίνεται δειγματοληψία και εφαρμόζεται πρόγραμμα παρακολούθησης (SAMP), το οποίο καλύπτει όλη την αλυσίδα παράδοσης του NEWater για τον προσδιορισμό του καταλληλότερου NEWater για IPU και DNU. Το SAMP αποτελείται από μια ολοκληρωμένη φυσική, χημική και μικροβιολογική δειγματοληψία και ανάλυση των δειγμάτων νερού. Έως σήμερα, υπάρχουν 300 παράμετροι παρακολουθούνται, συμπεριλαμβανομένων των αναδυόμενων ρύπων που προκαλούν ανησυχία και περιλαμβάνονται στη Λίστα Προτεραιότητας Μολυσμάτων USEPA. Τέλος στο Πίνακα 5.7 αναφέρονται 300 παράμετροι που υπάρχουν σήμερα και παρακολουθούνται στο πλαίσιο του SAMP για την ποιότητα NEWater.

**Πίνακας 5.7** Ποιότητα του NEWater του 2000 (Smith, 2012).

Parameter	Unit	Analytical Methods	Detection Limits	Value
<b>Physical Parameter Controls</b>				
TOC	µg/L	Sievers 820 TOC Analyser	20	40 to 100
SS	Mg/L	USEPA 160.2	2.5	<2.5
Turbidity	NTU	USEPA 180.1	0.1	<0.1
<b>Trace Contaminants</b>				
Total estrogen	µg/L	NGCMS_1124	0.003	<0.003
Estrones (E1)	µg/L	NGCMS_1124	0.001	<0.001
17β-estradiol (E2)	µg/L	NGCMS_1124	0.001	<0.001
Ethinylestradiol (EE2)	µg/L	NGCMS_1124	0.001	<0.001
Ibuprofen	µg/L	LC-MS/MS	0.005	<0.005
Naproxen	µg/L	LC-MS/MS	0.005	<0.005
Gemfibrozil	µg/L	LC-MS/MS	0.005	<0.005
N-nitrosodimethylamine (NDMA)	ng/L	PTV-GC/MS	2	<2 to 10
1,4 Dioxane	µg/L	USEPA 8270C	1	<1
Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE)	µg/L	USEPA 8260B	5	<5
Polychlorinated biphenyls (PCBs)	µg/L	USEPA 8082	0.2	<0.2

Στην Κίνα τα προβλήματα νερού έχουν αρχίσει να επηρεάζουν την τοπική και περιφερειακή πολιτική. Ο Πρόεδρος της Κίνας το 2007 στο 17<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο του Κομμουνιστικού Κόμματος της Κίνας ζήτησε μια πιο αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση για την ανάπτυξη, την ανάπτυξη και την κατανάλωση.

Τα προβλήματα νερού της Κίνας επιδεινώνονται από τους νόμους για το νερό που παραμένουν ξεπερασμένοι, αδύναμοι και δεν εφαρμόζονται επαρκώς. Ως γνωστόν, επειδή η Κίνα είναι μια πολύ συγκεντρωτική χώρα, οι κυβερνήσεις τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην πολιτική και τη διαχείριση των υδάτων, με παραδοσιακά μικρή συμβολή από μη κυβερνητικές οργανώσεις ή ατομική συμμετοχή στην αναθεώρηση και τη λήψη αποφάσεων. Ωστόσο, υπήρξε ελάχιστη συνολική ανάπτυξη πολιτικής για τα ύδατα και λίγες συνεπείς εθνικές νομοθεσίες. Η δημόσια συμμετοχή στην κινεζική περιβαλλοντική πολιτική ήταν περιορισμένη και ασυνήθιστη, αλλά υπάρχουν ενδείξεις ότι η αυξανόμενη ανησυχία για τη ρύπανση και τη μόλυνση των υδάτων οδηγεί σε προσπάθειες των πολιτών να αλλάξουν τις πολιτικές και τους νόμους για το νερό.

Ένας σημαντικός περιβαλλοντικός νόμος που ψηφίστηκε στην Κίνα το 2003 για πρώτη φορά ενθάρρυνε φαινομενικά τη συμμετοχή του κοινού στη λήψη περιβαλλοντικών αποφάσεων. Αυτός ο νόμος, αναφέρεται στην μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) και απαιτεί από όλα τα μεγάλα έργα να πραγματοποιούν. Επιπλέον, ο νόμος ορίζει ότι «τα θεσμικά όργανα θα πρέπει να λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τις απόψεις των αρμόδιων μονάδων, των εμπειρογνομόνων και του κοινού» και «θα πρέπει να επισυνάπτουν εξηγήσεις για την υιοθέτηση ή τη μη υιοθέτηση των γνωμοδοτήσεων».

Το φθινόπωρο του 2007 το Εθνικό Λαϊκό Κογκρέσο της Κίνας δημοσίευσε ένα προσχέδιο νέου νόμου για τη ρύπανση των υδάτων για να κινητοποιήσει την κοινή γνώμη. Ο νόμος προτείνει βαρύτερη τιμωρία τόσο για τους ρυπαίνοντες όσο και για τους «ανεύθυνους» φορείς, συμπεριλαμβανομένων προστίμων για παραβάτες της βιομηχανίας και διοικητικές ποινές ή ποινικές διώξεις για αξιωματούχους που καθυστερούν την αναφορά ή αποκρύπτουν περιστατικά ρύπανσης του νερού (Shen and Wu, 2017; Gleick, 2009).

Η Κίνα ενθαρρύνει την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων μέσω πολιτικών γι' αυτό και το κανονιστικό πλαίσιο που έχει ορίσει σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2014 είναι αυτό που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.8.

**Πίνακας 5.8** Κανονιστικό πλαίσιο Κίνας (Sanz and Gawlik, 2014).

China	China National Reclaimed Water Quality Standard; China National Standard GB/T 18920-2002, GB/T 19923-2005, GB/T 18921-2002, GB 20922-2007 and GB/T 19772-2005.	
-------	--	--

Το 2012, το Υπουργείο Στέγασης για την Αγροτική Ανάπτυξη (MOHURD), εξέδωσε τεχνικές οδηγίες για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων σχετικά με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των δημοτικών λυμάτων, καθώς και για την κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση εγκαταστάσεων επεξεργασίας αλλά και για διαχείριση κινδύνων κατά τη την επεξεργασία των λυμάτων και κατά την τελική χρήση τους.

Στην αξιολόγηση της απόδοσης και της εκτίμησης του Σχεδιασμού και της Ανάπτυξης Χαμηλών Επιπτώσεων που εκδόθηκε από το MOHURD το 2015, ο ρυθμός επαναχρησιμοποίησης λυμάτων θα έπρεπε να είναι περισσότερο από 20% στις πόλεις όπου ο κατά κεφαλήν υδάτινος πόρος είναι μικρότερος από 500 m<sup>3</sup> και η ποιότητα του νερού να είναι υψηλότερη από το πρότυπο IV-Class.

Για να υποστηρίξει την ανάπτυξη της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων, το Υπουργείο Κατασκευών και Τυποποίησης εξέδωσε μια σειρά από πρότυπα και κανονισμούς, όπως:

- Ο κώδικας αποδοχής ποιότητας για δημοτικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (50334-2002 GB).
- Πρότυπο για την ποιότητα του νερού επαναχρησιμοποίησης - ανακύκλωσης (GB/T 18920-2002).
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για περιβαλλοντικούς λόγους (GBT 18921-2002).
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για διάφορες αστικές επαναχρησιμοποιήσεις (GBT 18920-2002).
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση (GBT 19923-2005).
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για επαναχρησιμοποίηση για άρδευση της γεωργικής γης (GB20922-2007).
- Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση για επαναχρησιμοποίηση για άρδευση πρασίνου χώρου (GB / T 25499-2010).

Με βάση την κατάσταση σε νομικό πλαίσιο της Κίνας παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα 5.9 οι πολιτικές για την ανάκτηση και την επαναχρησιμοποίηση νερού σε εθνικό επίπεδο.

**Πίνακας 5.9** Πολιτικές ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού σε εθνικό επίπεδο στην Κίνα (Lyu et al., 2015).

Government sectors	Wastewater reclamation and reuse policies	Wastewater reclamation and reuse policies prescriptions Chang et al. (2013)
The State Council	The 12th Five-year Comprehensive Work Plan for Energy Conservation and Emissions Reduction (2011); The 12th Five-year National Urban Sewage Treatment and Recycling Facilities Construction Plan (2012)	1. Adopting reasonably the price of reclaimed water which should be lower than that of conventional water; providing the privileged policies of tax and fee reduction for reclaimed water producers 2. Encouraging reclaimed water to be used in industries, carwash, urban facilities and landscaping; forcing certain water users to use reclaimed water
MOHURD MOST	The Interim Procedures of Reclaimed Water Facilities Management in Urban (1995); The Regulation of Saving Water Management in Urban (1998); The Policy of Wastewater Reclamation and Reuse Technology in Urban (2006); The 12th Five-year Development Plan of National Science and Technology (2011)	1. Using actively reclaimed water; Issuing the technology policy of wastewater reclamation and reuse 2. Considering preferentially the landscaping use of reclaimed water; using the secondary effluent from municipal wastewater treatment plants in agriculture irrigation 3. Making policies to encourage wastewater reclamation and reuse by related central and local governments; offer financial supports for wastewater recycling by local governments 4. Establishing gradually reasonable water price system and water utilization structure
MEP GAQSIQ	The 12th Five-year National Environmental Protection Regulations and Environmental Economic Policy Construction Plan (2011); Series water quality standards for different reclaimed water reuses	1. Making the water quality standards for different reclaimed water uses
MOF NDRC	The Notice of Implementing the Policy without Value-added Tax for Reclaimed Water and Others (2008); The Notice of Suggestion about Supporting the Investment and Financing Policy of the Circular Economy Development (2011)	1. Reaching to wastewater reuse rates of 20–25% for the cities with water scarcity in North China and 10–15% for coastal areas of South China in 2015 2. Encouraging wastewater reclamation and reuse to increase water resource development efficiency
<sup>a</sup> MOHURD, MOST, MEP, GAQSIQ, MOF and NDRC mean the Ministry of Housing and Urban–Rural Development, the Ministry of Science and Technology, the Ministry of Environmental Protection, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, the Ministry of Finance and the National Development and Reform Commission.		

Ένας ακόμη ενδιαφέρον προορισμός σε θέματα επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι η περιοχή της MENA γνωστή και σαν Μέση Ανατολή και η Βόρεια Αφρική. Είναι η πιο ξηρή στον κόσμο, με μόνο το 1% σε υδάτινους πόρους του πλανήτη και περίπου το 43% των λυμάτων που παράγονται στην περιοχή της MENA επεξεργάζονται.

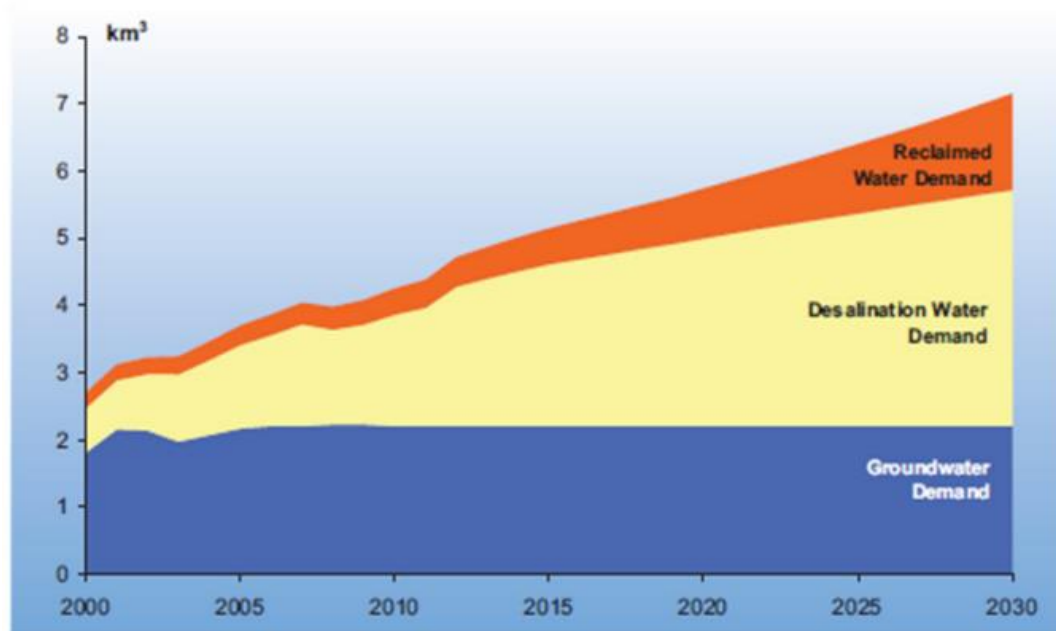
Το Άμπου Ντάμπι είναι το μεγαλύτερο από τα επτά Εμιράτα που συνθέτουν τα ΗΑΕ. Ο πληθυσμός του Άμπου Ντάμπι είναι 1,4 εκατ. και προβλέπεται να αυξηθεί κατά μέσο όρο 50 τοις εκατό κάθε επτά χρόνια έως το 2030. Το 2003 η κατανάλωση νερού στο Άμπου Ντάμπι ήταν 92,5 γαλόνια δηλαδή 350 λίτρα ανά κάτοικο ανά ημέρα, από τα υψηλότερα ποσοστά στον κόσμο. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού εφαρμόζεται εδώ και πολύ καιρό στο Άμπου Ντάμπι σχεδόν μια δεκαετία για την άρδευση του τοπίου. Από το 2010 το ανακτημένο νερό προσθέτει περίπου 6 τοις εκατό στο συνολικό νερό προμήθειες. Η διατύπωση των Υδάτινων Πόρων του Άμπου Ντάμπι που δημοσιεύτηκε από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος του Άμπου Ντάμπι (EAD) το 2009 ήταν σημαντικό στρατηγικό βήμα προς την επίτευξη του οράματός της για ένα βιώσιμο μέλλον. Το σχέδιο προσδιόρισε την υπάρχουσα συνολική διαθεσιμότητα και ζήτηση νερού και προβάλλεται προς τα εμπρός για να εξετάσει τις μελλοντικές συνθήκες και επιλογές. Για την αντιμετώπιση της έλλειψης πηγών γλυκού νερού, το σχέδιο προτείνει ανάκτηση νερού για την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού κόστους της αφαλάτωσης, ιδιαίτερα την κατανάλωση ενέργειας και τα αέρια του θερμοκηπίου εκπομπών. Προώθηση της διαδικασίας σχεδιασμού των υδάτινων πόρων, από το Environment Agency Abu Dhabi (EAD) δημιούργησε πρόσφατα μια τολμηρή επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στρατηγική η οποία αναπτύχθηκε από το Διεθνές Κέντρο για International Centre for Biosaline Agriculture (ICBA).

Αυτή η στρατηγική επαναχρησιμοποίησης παρέχει έναν οδικό χάρτη για τη διαφοροποίηση της εφαρμογής του ανακυκλωμένο νερό στα Αραβικά Εμιράτα για τη γεωργία, τη δασοκομία κτλ. Η στρατηγική προσδιορίζει τις ευκαιρίες για επαναχρησιμοποίηση, τεχνικές πτυχές της επαναχρησιμοποίησης συμπεριλαμβανομένης της προστασίας της δημόσιας ασφάλειας και ενσωμάτωση τόσο του αποκεντρωμένου όσο και του κεντρικού συστήματος.



Η στρατηγική εξέτασε επίσης σχετικά θεσμικά και κανονιστικά ζητήματα. Σε συνδυασμό με αυτή τη δέσμευση πολιτικής είναι συγχρόνως μια ισχυρή οικονομική δέσμευση για αστική ανάπτυξη, συμπεριλαμβανομένων βελτιώσεων του συστήματος ύδρευσης και αποχέτευσης. Το σχέδιο για το 2030, περιλαμβάνει προγραμματισμένη συνολική επένδυση άνω του 1 τρισεκατομμυρίου δολαρίων υποδομές, με δέσμευση για την τελευταία τεχνολογία για την υποδομή λυμάτων όπου, θα εγκατασταθεί επεξεργασία λυμάτων στο Άμπου Ντάμπι.

Το ανακτημένο νερό, αναμένεται να φτάσει περίπου το 10–13% του συνόλου προμήθειας νερού έως το 2030, με σταδιακή αντικατάσταση επαναχρησιμοποίηση για ακριβό αφαλατωμένο νερό και γρήγορη μείωση των αποθεμάτων γλυκού υπόγειου νερού. Οι δύο κύριες μονάδες επεξεργασίας λυμάτων που επί του παρόντος εξυπηρετούν το εμιράτο, στο Mafraq και στο Al Ain, έχουν λειτουργήσει πάνω από τις προδιαγραφές που ήταν σχεδιασμένες. Γι' αυτό κατασκευάζονται τέσσερα νέα μεγάλα Wastewater Treatment Plant (WWTP) στο Abu Ντάμπι που θα προσθέσει μια «ικανότητα θεραπείας» 850.000 m<sup>3</sup>/ημέρα για να εξυπηρετήσει περισσότερα από 3 εκατομμύρια κατοίκους. Αυτή η νέα υποδομή έχει σχεδιαστεί με τεχνολογίες αιχμής που επιτρέπουν 100% επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων που έχουν υποστεί επεξεργασία για άρδευση (Smith, 2012). Στο Διάγραμμα 5.2 παρουσιάζονται τα Km<sup>3</sup> του ανακτημένου, αφαλατωμένου νερού και των υπογείων υδάτων συναρτήσει των ετών μέχρι το 2030.



UAE Water Conservation Strategy, 2010, MOEW

**Διάγραμμα 5.2** Προβλεπόμενη παροχή νερού ανά κλάδους έως το 2030 για τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (EPA, 2012).

### 5.2.3 Αφρική

Η επαναχρησιμοποίηση νερού στην κεντρική και νότια Αφρική είναι περιορισμένη, με μόνο σε τρεις χώρες (Νότια Αφρική, Ναμίμπια και Ζάμπια) να γίνεται επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων. Τα τρέχοντα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- I. Η Ναμίμπια ήταν η πρώτη χώρα στον κόσμο όπου χρησιμοποιείται το επεξεργασμένο λύμα για άμεση παροχή πόσιμου νερού στην πόλη Windhoek.
- II. Στην Νότια Αφρική το έργο ανακύκλωσης νερού Durban παρέχει στο 7% του Durban επεξεργασμένα λύματα μέσω προηγμένης επεξεργασίας (διήθηση, οζονισμός, φίλτρα κοκκοποιημένου άνθρακα, χλωρίωση) για επαναχρησιμοποίηση νερού σε βιομηχανία και διυλιστήριο.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια επισκόπηση των θεσμικών πλαισίων για το νερό και την παροχή υπηρεσιών σε αγροτικές περιοχές στη Νότια Αφρική. Το 1996, το Σύνταγμα της Νότιας Αφρικής οριστικοποιήθηκε καθώς οι ρόλοι και οι λειτουργίες οριστικοποιήθηκαν και προέκυψαν τρεις σφαίρες διακυβέρνησης, η εθνική, η επαρχιακή και η τοπική. Έχουν οριστικοποιηθεί διάφορα νομοθετήματα που αφορούν τους τομείς του νερού και της τοπικής αυτοδιοίκησης τα τελευταία χρόνια. Τα πιο σημαντικά είναι (Swartz, 2009):

- Ο Νόμος για τις Υπηρεσίες Υδάτων, 1997, ορίζει περαιτέρω τις δημοτικές λειτουργίες της διασφάλισης των υπηρεσιών ύδατος πρόβλεψης.
- Ο εθνικός νόμος για τα ύδατα, 1998, ορίζει έναν νέο τρόπο διαχείρισης του σπάνιου νερού της Νότιας Αφρικής. Η πράξη αυτή αναφέρει ότι, το νερό είναι αδιαίρετος εθνικός πόρος για τον οποίο η κυβέρνηση είναι ο θεματοφύλακας.

Το κανονιστικό πλαίσιο της Νοτίου Αφρικής παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.10 σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

**Πίνακας 5.10** Κανονιστικό πλαίσιο στην Νότιο Αφρική (Sanz and Gawlik, 2014).

<b>South Africa</b>	<p>Policies:</p> <p>The latest revision of the Water Services Act of 1997 relating to grey-water and treated effluent (DWAF, 2001)</p> <p>The latest revision of the National Water Act of 1998, 37(1) (DWAF, 2004a) relating to irrigation of any land with waste or water containing waste generated through any industrial activity or by a water works</p>	<p>Regulation: Government Gazette No. 9225, Regulation 991: Requirements for the purification of wastewater or effluent (EAF, 1984)</p> <p>Guidelines:</p> <p>The South African Guide for the Permissible Utilization and Disposal of Treated Effluent (DNHPD, 1978)</p> <p>The South African Water Quality Guidelines (DWAF, 1996)</p>
---------------------	--	---

Στην Αίγυπτο η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων εφαρμόζεται από το 1930 για την άρδευση οπωρώνων, σε αμμώδεις περιοχές όπως το Al Gabal Al Asfar και το Abou Rawash αλλά μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν εγκεκριμένες οδηγίες ή κώδικες πρακτικής για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων.

Βασικό πρόβλημα που συναντάται είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχουν προγράμματα για την παρακολούθηση της ποιότητας των ανακτηθέντων λυμάτων, πριν ή μετά την επαναχρησιμοποίηση, για πιθανούς κινδύνους για την υγεία των εργαζομένων στα αγροκτήματα και των τελικών χρηστών που θα καταναλώσουν τα προϊόντα. Έχουν εκφραστεί έντονες ανησυχίες για την επαναχρησιμοποίηση των ανακτηθέντων λυμάτων λόγω πιθανών αρνητικών επιπτώσεων για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Κυρίως σε αγροτικές περιοχές, όπου γίνεται ανεξέλεγκτη απόρριψη μη επεξεργασμένων λυμάτων σε αρδευτικά κανάλια. Το 2000, οι διαθέσιμες ποσότητες γλυκού νερού στην Αίγυπτο υπολογίστηκαν σε 55,5 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup> ετησίως, ενώ η συνολική ετήσια ζήτηση ήταν 69,7 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup>.

Σε προσπάθειες να μετριάσει την πίεση η Αίγυπτος έχει υιοθετήσει μια πολιτική αποκατάστασης και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων σε αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων σε πόρους γλυκού νερού. Δεν υπάρχει συνεκτική πολιτική επαναχρησιμοποίησης άρδευσης για τη διαχείριση της χρήσης επεξεργασμένων λυμάτων, ωστόσο, το Υπουργείο Γεωργίας και Αναδασμού ξεκίνησε πρόσφατα ένα πρόγραμμα γεωργικής μεταρρύθμισης που περιλαμβάνει επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για τα δάση. Περίπου 1.000 στρέμματα δασών έχουν ποτιστεί με ανακυκλωμένο νερό στο Λούξορ. Qena, New Valley, Edfu, Ismailia, Sadat City και Νότιο Σινά.



Υπάρχουν πολλά διατάγματα στην Αίγυπτο σχετικά με την ποιότητα των λυμάτων. Αυτά περιλαμβάνουν το εθνικό κανονιστικό διάταγμα αριθ. (44)/2000–Τροποποίηση του Εκτελεστικού Δελτίου του νόμου που εκδόθηκε από το Υπουργείο. Ωστόσο, δεν υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για βιομηχανικούς σκοπούς είναι ελάχιστη, επειδή πολλοί βιομήχανοι ανησυχούν για τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχουν τα επεξεργασμένα λύματα στα μηχανήματα. Παρόλα αυτά, οι βιομηχανίες έχουν παρακινηθεί να επεξεργάζονται και να επαναχρησιμοποιούν τα λύματα τους όποτε είναι δυνατόν μέσω της επιβολής του Περιβαλλοντικού Νόμου 4/1994.

Ένας από τους μη συμβατικούς πόρους που ενσωματώνονται στο σχέδιο για τους υδάτινους πόρους της Αιγύπτου είναι η επαναχρησιμοποίηση των ανακτημένων αστικών λυμάτων. Η τεχνητή αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων, λόγω των πλεονεκτημάτων της έναντι της συμβατικής άμεσης εφαρμογής, θεωρείται ως ένα μέσο για την αξιοποίηση αυτού του νερού. Η τεχνητή φόρτιση με λύματα μπορεί να είναι μια πρόσθετη διάσταση για την επαναχρησιμοποίηση πολιτικές στην Αίγυπτο. Ο νόμος 48/1982 επιβάλλει νομικούς περιορισμούς στην επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για σκοπούς αναπλήρωσης του υδροφόρου ορίζοντα, αλλά υπάρχουν αρκετές ανησυχίες σχετικά με τον εντοπισμό των γραμμών διαίρεση των υδροφορέων ποιότητας πόσιμου νερού από αυτούς της ποιότητας μη πόσιμου νερού.

Οι προπαρασκευαστικές προσπάθειες για τεχνητή φόρτιση με εφαρμογή λυμάτων στην Αίγυπτο πραγματοποιούνται σε δύο παράλληλα κανάλια. Ένα πλαίσιο για την εφαρμογή τεχνητής φόρτισης με λύματα και εργαστηριακά πειράματα για τη μελέτη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεύθυνση επεξεργασμένων λυμάτων ως προκαταρκτικό βήμα για την παραγωγή κατευθυντήριων γραμμών για τη βελτιστοποίησή τους. Το πλαίσιο περιλάμβανε πιθανές τοποθεσίες, ποσότητες διαθέσιμων λυμάτων για αυτές τις τοποθεσίες, γενικά θέματα ασφάλειας περιβάλλοντος και υγείας, μέθοδο επαναφόρτισης και εύρος εφαρμογών. Ακολουθούν οι αιγυπτιακές νόμοι και κανονισμοί που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων Νόμος 93/1962. Ο νόμος αυτός αφορά τη διάθεση των λυμάτων, στον οποίο ρυθμίζεται η αρμοδιότητα του Υπουργείου Οικισμού να κατασκευάζει δημόσια συστήματα αποχέτευσης και να απαγορεύει ή να επιτρέπει την απόρριψη ρευστών αποβλήτων σε δημόσιους υπονόμους ή και σε επιφανειακές εκτάσεις.

Σύμφωνα με τροποποιήσεις των προτύπων του νόμου 93/1962, τα λύματα που επεξεργάζονται με πρωτογενή επεξεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την καλλιέργεια ξυλόδεντρων. Τα λύματα που επεξεργάζονται με δευτερογενή επεξεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην καλλιέργεια φοινίκων, λιναριού βαμβακιού, δημητριακά, κτηνοτροφικές καλλιέργειες, καλλιέργειες αγρού και καρπούς με κέλυφος, φυτώρια λουλουδιών και θερμικά επεξεργασμένα λαχανικά και φρούτα. Σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα, μόνο τα τριτογενώς επεξεργασμένα λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλλιέργεια άψητων φυτών και λαχανικών, καθώς το νερό σε αυτόν τον προηγμένο τύπο επεξεργασίας είναι απαλλαγμένο από όλους τους τύπους παθογόνων μικροοργανισμών.

Σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα, μόνο τα επεξεργασμένα λύματα μετά από τριτοβάθμια επεξεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλλιέργεια άψητων φυτών και λαχανικών, καθώς το νερό σε αυτόν τον προηγμένο τύπο επεξεργασίας είναι απαλλαγμένο από όλους τους τύπους παθογόνων μικροοργανισμών. Ο Νόμος αριθ. 12/1984 ορίζει το Υπουργείο Υδάτινων Πόρων και Άρδευσης ως θεματοφύλακα όλων των υδάτινων πόρων και ρυθμίζει επίσης την αρμοδιότητα του Υπουργείου να χορηγεί νερό άρδευσης και να κατασκευάζει συστήματα αποχέτευσης. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, η αποστράγγιση των υδάτων στα δημόσια κανάλια δεν μπορεί να γίνει χωρίς την άδεια του Υπουργείου.

Στην Αίγυπτο, δεν έχουν ακόμη εγκριθεί κατευθυντήριες γραμμές, αλλά ο κανονισμός του 1984 για τον στρατιωτικό νόμο απαγορεύει τη χρήση λυμάτων για την άρδευση των καλλιεργειών, εκτός εάν υποβληθούν σε επεξεργασία σύμφωνα με τα απαιτούμενα πρότυπα του γεωργικού νερού αποστράγγισης. Απαγορεύεται επίσης, το πότισμα των λαχανικών που καταναλώνονται ωμά με επεξεργασμένα λύματα, ανεξάρτητα από το ποιοτικό τους επίπεδο. Από θεσμική άποψη, επτά υπουργεία εμπλέκονται στην επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στην Αίγυπτο, με ασαφή οριοθέτηση των αρμοδιοτήτων και περιορισμένο συντονισμό μεταξύ τους. Υπάρχει σαφής απουσία καλών πολιτικών και σχεδίου δράσης για τη διαχείριση των λυμάτων, καθώς και προτύπων που είναι πρακτικά αδύνατο να επιβληθούν και που περιορίζουν την αποτελεσματικότητα των προσπάθειών μείωσης του ελέγχου της ρύπανσης (Barcelo and Petrovic, 2011).

#### 5.2.4 Ωκεανία

Η Αυστραλία έχει μακροχρόνια εμπειρία στην επαναχρησιμοποίηση του νερού. Αν και οι περισσότερες πολιτείες της Αυστραλίας είχαν τις δικές τους οδηγίες ή κανονισμούς για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων, αποφάσισαν να παράγουν εθνικές κατευθυντήριες γραμμές. Η Εθνική Στρατηγική Διαχείρισης της Ποιότητας των Υδάτων, Αυστραλιανές Κατευθυντήριες Γραμμές (NRMMC–EPHC/AMHC, 2006), υποστηρίζει ένα πλαίσιο διαχείρισης κινδύνων που βασίζεται σε εκείνο που προηγουμένως αναλυτικά στις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ για την ποιότητα του πόσιμου νερού και τις αυστραλιανές κατευθυντήριες γραμμές για το πόσιμο νερό (NHMRC–NRMMC 2004). Η στρατηγική περιλαμβάνει ορισμένες από τις πιο χρήσιμες και κατάλληλες κατευθυντήριες γραμμές για τα επεξεργασμένα λύματα επαναχρησιμοποίηση. Η Αυστραλιανή γραμμή προσαρμόζει το πλαίσιο διαχείρισης κινδύνων στο αυστραλιανό περιβάλλον, και περιλαμβάνει τον κίνδυνο υψηλότερης έκθεσης, όπως η διπλή δικτύωση.

Αυτή η σημαντική αλλαγή στην προσέγγιση της διαχείρισης των συστημάτων ανακτημένου νερού έχει ως στόχο να παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τις βέλτιστες πρακτικές για την ανακύκλωση του νερού, και οι κατευθυντήριες γραμμές έχουν ως στόχο να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε εμπλέκεται στην παροχή, τη χρήση και τη ρύθμιση συστημάτων ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένων των κυβερνητικών και τοπικών φορέων, των ρυθμιστικών φορέων, των φορέων υγείας και περιβαλλοντικές υπηρεσίες, φορείς εκμετάλλευσης συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης, προμηθευτές νερού, σύμβουλοι, βιομηχανία, ιδιώτες εργολάβοι, νομικά πρόσωπα και διαχειριστές ακινήτων (NRMMC/EPHC–AMHC, 2006). Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε σύστημα ανακύκλωσης νερού. Το πλαίσιο περιλαμβάνει τον εντοπισμό και τη διαχείριση των κινδύνων με προληπτικό τρόπο και όχι απλώς αντιδρώντας όταν προκύπτουν προβλήματα. Σε διεθνές επίπεδο, η Αυστραλία έχει προχωρήσει σημαντικά και ταιριάζει με τις συστάσεις που περιγράφονται στις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ. Επομένως, ένα μεγάλος αριθμός χωρών της Αυστραλίας για να πρωτοστατήσει στην ανάπτυξη κανονισμών που ενσωματώνουν τις έννοιες της εκτίμησης κινδύνου και επιτρέπουν την προσαρμογή των εν λόγω σε διαφορετικού μεγέθους συστήματα (Sanz and Gawlik, 2014).

Καθώς οι περισσότερες ανατολικές πολιτείες της Αυστραλίας έχουν πλέον ξεπεράσει την ξηρασία, η αίσθηση του επείγοντος έχει διαλυθεί. Παρόλα αυτά, η κοινότητα έχει υιοθετήσει την εξοικονόμηση νερού και το μεγαλύτερο μέρος της ανακύκλωσης μη πόσιμου νερού πρωτοβουλίες. Η ανακύκλωση του νερού έχει γίνει το κύριο ρεύμα για τις περισσότερες νέες αναπτύξεις ή την εκ νέου ανάπτυξη των υφιστάμενων αστικών περιοχών. Οι περισσότεροι οργανισμοί έχουν πλέον επικαιροποιήσει τους κανονισμούς τους ώστε να επιτρέπουν τη χρήση αποκεντρωμένων λύσεων, όπως όπως η ανακύκλωση γκρίζου νερού και οι δεξαμενές βρόχινου νερού στις αστικές περιοχές.

Παρελθόντα εμπόδια σε μη πόσιμες εφαρμογές σε αστικές περιοχές, όπως η χρήση ανακυκλωμένου νερού για την πυρόσβεση, το ξέπλυμα τουαλέτας και τους πύργους ψύξης σε μεγάλο βαθμό έχουν αφαιρεθεί. Η κυβέρνηση έχει ιδρύσει το Αυστραλιανό Κέντρο Ανακύκλωσης Νερού της Αριστείας να αναλάβει την έρευνα και την ανάπτυξη της ανακύκλωσης του νερού για τη διεύρυνση της χρήσης των ανακυκλωμένο νερό και να ξεπεράσει ορισμένα από τα τεχνολογικά εμπόδια που υπάρχουν σήμερα. Λόγω της σημαντικές βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν στην ανατολική Αυστραλία την άνοιξη του 2010 και το καλοκαίρι του 2011, η πίεση για την ανάπτυξη περαιτέρω έμμεσης (και άμεσης) επαναχρησιμοποίησης πόσιμου νερού έχει μειωθεί. Ωστόσο, οι Αυστραλοί την τελευταία δεκαετία, έχουν ραγδαία κλιματική αλλαγή και τα συστήματα ανακυκλωμένου νερού αναγνωρίζονται πλέον ως ζωτικής σημασίας στοιχείο ενός ποικιλόμορφου χαρτοφυλακίου πηγών ύδρευσης για τη μείωση των κλιματικών κινδύνων.

Με βάση τα παραπάνω προέκυψε και η ιδέα «των πόλεων του μέλλοντος», όπου το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο για να γίνουν οι πόλεις πιο βιώσιμες διασφαλίζοντας ότι το ανακυκλωμένο νερό θα συνεχίσει να αποτελεί πολύτιμη πηγή νερού για το μέλλον (Apostolidis et al., 2011). Έτσι στον ακόλουθο Πίνακα 5.11 αναγράφονται οι κανονισμοί που επικρατούν σε διάφορες περιοχές της Αυστραλίας (Sanz and Gawlik, 2014).

**Πίνακας 5.11** Κανονιστικό πλαίσιο για διάφορες περιοχές της Ωκεανίας (Sanz and Gawlik, 2014).

Administrative areas	Type of criteria	Comments
<b>National level</b>	<p>Guidelines:</p> <p>Government of Australia (NRMMC-EPHC-AHMC)</p> <p>Guidelines for water recycling: managing health and environmental risks" Phase 1, 2006</p> <p>Phase 2 - Augmentation of drinking water supplies - 2008</p> <p>Phase 2: Stormwater harvesting and reuse - 2009</p> <p>Phase 2 - Managed aquifer recharge - 2009</p>	
<b>Victoria</b>	The use of treated sewage and greywater (recycled water) in Victoria is currently regulated under the <i>Environment Protection Act 1970</i>	<p>Guidelines for Environmental Management: Use of Reclaimed Water (EPA publication 464.2)</p> <p>Guidelines for Environmental Management: Dual Pipe Water Recycling Schemes - Health and Environmental Risk Management (EPA publication 1015).</p> <p>Guide for the completion of a Recycled Water Quality Management Plan - For Class A water recycling schemes</p> <p>Guidelines for validating treatment processes for pathogen reduction: Supporting Class A recycled water schemes in Victoria</p>
<b>New South Wales</b>	<p>Environmental Guidelines: Use of Effluent by Irrigation (Dept. of Environment &amp; Conservation, 2004)</p> <p>Managing Urban Stormwater - Harvesting and Reuse (Dept. of Environment &amp; Conservation, 2006)</p>	
<b>Queensland</b>	<p><i>Water Supply (Safety and Reliability) Act 2008</i></p> <p>Approval required through Department of Energy and Water Supply including submission of a Recycled Water Management Plan (RWMP)</p>	
<b>South Australia</b>		The South Australia Recycled Water Guidelines (2012)
<b>Tasmania</b>	Policy on Water Quality Management , 1997	Effluent Reuse Feasibility Study Guidelines, August 2011
<b>Western Australia</b>		Guidelines for the Non-Potable Uses of Recycled Water in Western Australia (2011)

## 5.3 Ευρωπαϊκές Νομοθεσίες

### 5.3.1 Κανονισμός ΕΕ 2020/741 – επαναχρησιμοποίηση υδάτων

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και με το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις 25 Μαΐου του 2020 ορίστηκε ο νέος Κανονισμός 2020/741 ο οποίος σχετίζεται με τις ελάχιστες απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων. Σκοπός του παρόντος κανονισμού είναι να καταστεί κατάλληλος αρωγός για την ομαλή εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης των υδάτων διευκολύνοντας τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να στραφούν εάν το επιθυμούν στην επαναχρησιμοποίηση των υδάτων και να εγγυηθεί ότι το ανακτημένο νερό θα είναι ασφαλές για γεωργική χρήση προστατεύοντας το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Ο Κανονισμός εφαρμόζεται όταν τα επεξεργασμένα αστικά λύματα επαναχρησιμοποιούνται σύμφωνα με το Άρθρο 12 παράγραφος 1 της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ για την γεωργική άρδευση όπως το Παράρτημα Ι τμήμα 1 του εν λόγω κανονισμού.

Λίγες είναι οι χώρες που εφαρμόζουν την επαναχρησιμοποίηση διότι έχουν θεσπίσει εθνικά νομοθετήματα ή πρότυπα. Ο κανονισμός αυτός πρέπει να είναι ευέλικτος ώστε να δίνει την δυνατότητα σε άλλα κράτη μέλη να εφαρμόσουν τους κανόνες για την επαναχρησιμοποίηση σε μεταγενέστερο χρόνο. Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων έχει σχετικά μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από άλλες εναλλακτικές μεθόδους υδροδότησης λόγω χάρη της αφαλάτωσης. Με την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων μειώνεται η σπατάλη νερού και εξοικονομείται νερό. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο κόστος των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων καθώς και στην έλλειψη κοινών ενωσιακών περιβαλλοντικών και υγειονομικών προτύπων για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων και κυρίως όσο αναφορά γεωργικά προϊόντα, κινδύνους για την υγεία και το περιβάλλον και προϊόντα που έχουν αρδευτεί με ανακτημένο νερό. Στο κομμάτι της γεωργικής άρδευσης η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να συμβάλει στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας καθώς μπορεί να αξιοποιήσει τα θρεπτικά συστατικά από το ανακτημένο νερό για χρήση καλλιεργειών με την βοήθεια τεχνικών υδρολίπανσης. Έτσι, θα μπορούσε να μειωθεί και η ανάγκη χρήσης ανόργανων λιπασμάτων. Ουσιαστικά, μπορεί να είναι ένας τρόπος αποκατάστασης των θρεπτικών ουσιών όπως αυτού του αζώτου, φωσφόρου, καλίου στους βιογεωχημικούς κύκλους. Παρόλα αυτά οι χρήστες θα πρέπει να ενημερώνονται για την περιεκτικότητα σε θρεπτικά του ανακτημένου νερού.

Οι φορείς λειτουργίας εγκατάστασης ανάκτησης μεταφέρουν και αποθηκεύουν το ανακτημένο νερό μετά τον αγωγό διάθεσης της εγκατάστασης ανάκτησης, πριν το παραδώσουν στους επόμενους παράγοντες της αλυσίδας, όπως ο φορέας διανομής ανακτημένου νερού, ο φορέας αποθήκευσης ανακτημένου νερού ή ο τελικός χρήστης. Κρίνεται εύλογο λοιπόν, να οριστεί το σημείο συμμόρφωσης, για να οριστούν τα όρια της ευθύνης του φορέα λειτουργίας εγκατάστασης ανάκτησης και του επόμενου παράγοντα της αλυσίδας.

Ως προς τα σχέδια διαχείρισης κινδύνου για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων θα πρέπει να εγγυώνται την ασφαλή χρήση και διαχείριση του ανακτημένου νερού μηδενίζοντας τους κινδύνους για την ανθρώπινη ζωή, τα ζώα και το περιβάλλον. Η ανάπτυξη αυτών των σχεδίων διαχείρισης κινδύνου, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχουσες διεθνείς κατευθυντήριες γραμμές ή πρότυπα, όπως οι ISO 20426:2018 Κατευθυντήριες γραμμές για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του κινδύνου για την υγεία, για την επαναχρησιμοποίηση μη πόσιμου νερού, οι ISO 16075:2015 Κατευθυντήριες γραμμές για την επεξεργασία λυμάτων που έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία για αρδευτικά έργα ή οι κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ. Λόγω του κανονισμού οφείλεται να καλύπτεται το ανακτημένο νερό, το οποίο προέρχεται από λύματα που έχουν συλλεχθεί σε δίκτυα αποχέτευσης, έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ και υποβάλλονται σε

περαιτέρω επεξεργασία είτε στην υφιστάμενη εγκατάσταση είτε σε εγκατάσταση ανάκτησης, για την τήρηση των παραμέτρων που καθορίζονται στο παράρτημα Ι του παρόντος κανονισμού.

Σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ, οι οικισμοί με ισοδύναμο πληθυσμό (ι.π.) κάτω των 2.000 δεν απαιτείται να διαθέτουν δίκτυο αποχέτευσης. Ωστόσο, τα αστικά λύματα από οικισμούς με ι.π. κάτω των 2.000 που εισέρχονται σε δίκτυο αποχέτευσης θα πρέπει να υποβάλλονται σε κατάλληλη επεξεργασία πριν από την απόρριψή τους σε γλυκά ύδατα ή εκβολές ποταμών, σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ. Στο πλαίσιο αυτό, τα λύματα από οικισμούς με ι.π. κάτω των 2.000 θα πρέπει να εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος κανονισμού μόνο όταν συλλέγονται με δίκτυο αποχέτευσης και υπόκεινται σε επεξεργασία σε εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Ομοίως, ο παρών κανονισμός δεν θα πρέπει να αφορά τα βιοαποικοδομήσιμα βιομηχανικά υγρά απόβλητα από σταθμούς που ανήκουν στους βιομηχανικούς τομείς που απαριθμούνται στο παράρτημα ΙΙΙ της οδηγίας 91/271/ΕΟΚ, με εξαίρεση τα λύματα τα οποία προέρχονται από τους εν λόγω σταθμούς εισέρχονται σε δίκτυο αποχέτευσης και υποβάλλονται σε επεξεργασία σε σταθμό επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Για την διασφάλιση της βέλτιστης επαναχρησιμοποίησης των υδάτινων πόρων αστικών λυμάτων πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη εκπαίδευση στους τελικούς χρήστες ώστε το ανακτημένο νερό που θα χρησιμοποιείται να είναι κατάλληλης κατηγορίας ποιοτικά και ειδικά σε περίπτωση που είναι άγνωστος ο προορισμός του θα πρέπει να εφαρμόζονται κατάλληλοι φραγμοί. Στο Άρθρο 1 του κανονισμού θεσπίστηκαν ελάχιστες απαιτήσεις για την ποιότητα και την παρακολούθηση των υδάτων καθώς για την διαχείριση κινδύνου, για την ασφαλή χρήση ανακτημένου νερού στο πλαίσιο μίας ολοκληρωμένης διαχείρισης υδάτων.

Ο στόχος του κανονισμού είναι η εγγύηση πως το ανακτημένο νερό είναι ασφαλές για γεωργική άρδευση προστατεύοντας το περιβάλλον και την υγεία ανθρώπων και ζώων. Δεύτερον προάγει την κυκλική οικονομία, στηρίζοντας την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων της οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

Στην συνέχεια το Άρθρο 6 πραγματεύεται τις υποχρεώσεις άδειας για το ανακτημένο νερό. Πιο συγκεκριμένα για την παραγωγή και παροχή ανακτημένου νερού το οποίο πρόκειται να καταλήξει στην γεωργία για αρδευτικούς λόγους όπως προσδιορίζεται στο Παράρτημα Ι τμήμα 1 όπου απαιτείται άδεια. Δεύτερο σημείο αναφοράς είναι το γεγονός ότι υποβάλλεται αίτηση για χορήγηση άδειας ή τροποποίηση στην αρμόδια αρχή του εκάστοτε κράτους μέλους για την λειτουργία της εγκατάστασης. Η άδεια βασίζεται στο σχέδιο διαχείρισης κινδύνου για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων και επίσης η αρμόδια αρχή συμβουλευείται και ανταλλάσσει σχετικές πληροφορίες με άλλες σχετικές αρχές κυρίως ύδρευσης και υγείας.

Ωστόσο η αρμόδια αρχή θα χορηγήσει άδεια χωρίς καθυστέρηση εφόσον κρίνει την πληρότητα της αίτησης. Η άδεια επανεξετάζεται τακτικά και τα κράτη μέλη έχουν την δυνατότητα να απαιτήσουν την αποθήκευση, διανομή και χρήση ανακτημένου νερού να υποβληθεί σε ειδική άδεια για να εφαρμοστούν οι πρόσθετες απαιτήσεις και φραγμοί για την διαχείριση του κινδύνου όπως αναφέρεται στο Άρθρο 5 παράγραφος 4. Στον παρών κανονισμό το Παράρτημα Ι τμήμα 2 γίνεται αναφορά για τις ελάχιστες απαιτήσεις που θα πρέπει να ισχύουν για το ανακτημένο νερό που προβλέπεται για γεωργική άρδευση.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 5.12 στον οποίο καθορίζονται οι κατηγορίες ποιότητας του ανακτημένου νερού καθώς και οι επιτρεπόμενες χρήσεις και μέθοδοι άρδευσης για την κάθε κατηγορία.

**Πίνακας 5.12** Κατηγορίες ποιότητας του ανακτημένου νερού και επιτρεπόμενη γεωργική χρήση και μέθοδος άρδευσης (EUROPA, 2020).

<b>Ελάχιστη κατηγορία ποιότητας του ανακτημένου νερού</b>	<b>Κατηγορία καλλιέργειας (*)</b>	<b>Μέθοδος άρδευσης</b>
<b>A</b>	Όλες οι καλλιέργειες εδώδιμων φυτών που καταναλώνονται ωμά των οποίων το βρώσιμο τμήμα έρχεται σε άμεση επαφή με ανακτημένο νερό και τα ριζώδη φυτά που καταναλώνονται ωμά.	Όλες οι μέθοδοι άρδευσης.
<b>B</b>	Καλλιέργειες εδώδιμων φυτών που καταναλώνονται ωμά όταν το βρώσιμο μέρος παράγεται πάνω από το έδαφος και δεν βρίσκεται σε άμεση επαφή με ανακτημένο νερό, καλλιέργειες εδώδιμων φυτών που μεταποιούνται και καλλιέργειες μη εδώδιμων φυτών, συμπεριλαμβανομένων των καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται για τη διατροφή γαλακτοπαραγωγικών ζώων ή ζώων που παράγουν κρέας.	Όλες οι μέθοδοι άρδευσης.
<b>Γ</b>	Καλλιέργειες εδώδιμων φυτών που καταναλώνονται ωμά όταν το βρώσιμο μέρος παράγεται πάνω από το έδαφος και δεν βρίσκεται σε άμεση επαφή με ανακτημένο νερό, καλλιέργειες εδώδιμων φυτών που μεταποιούνται και καλλιέργειες μη εδώδιμων φυτών, συμπεριλαμβανομένων των καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται για τη διατροφή γαλακτοπαραγωγικών ζώων ή ζώων που παράγουν κρέας.	Στάγδην άρδευση (**) ή άλλη μέθοδος άρδευσης που αποφεύγει την άμεση επαφή με το βρώσιμο μέρος της καλλιέργειας.
<b>Δ</b>	Βιομηχανικές και ενεργειακές καλλιέργειες και καλλιέργειες σπόρων.	Όλες οι μέθοδοι άρδευσης. (***)

(\*) Εάν ο ίδιος τύπος αρδευόμενης καλλιέργειας εμπίπτει σε πολλαπλές κατηγορίες του πίνακα 1, ισχύουν οι απαιτήσεις της αυστηρότερης κατηγορίας.

(\*\*) Στάγδην άρδευση είναι ένα σύστημα μικροάρδευσης φυτών με σταγόνες ή μικρά ρυάκια νερού και συνίσταται στην παροχή νερού σε σταγόνες πάνω στο έδαφος ή απευθείας κάτω από την επιφάνειά του σε πολύ χαμηλές ροές (2-20 λίτρα/ώρα) μέσω ενός συστήματος πλαστικών σωλήνων μικρής διαμέτρου στο οποίο προσαρμίζονται εκροές που ονομάζονται σταλάκτες.

(\*\*\*) Στις περιπτώσεις μεθόδων άρδευσης τεχνητής βροχής, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην προστασία της υγείας των εργαζομένων ή των παρευρισκομένων. Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόζονται κατάλληλα προληπτικά μέτρα.

Παρόλα αυτά, υπάρχει και το ενδεχόμενο να χρησιμοποιούνται κατάλληλα πρόσθετα μέτρα που αναφέρεται στο Άρθρο 5 παράγραφος 4 που έχουν ως αποτέλεσμα την επίτευξη απαιτήσεων ποιότητας που ορίζονται στον παρακάτω πίνακα. Αυτά τα πρόσθετα μέτρα μπορεί να βασίζονται στον ενδεικτικό κατάλογο προληπτικών μέτρων που αναφέρονται στο σημείο 7 του παραρτήματος II του Κανονισμού ή σε οποιοδήποτε άλλο ισοδύναμο εθνικό ή διεθνές πρότυπο, π.χ. το πρότυπο ISO 16075-2. Επομένως οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ποιότητα του νερού καθορίζονται στον Πίνακα 5.13.

**Πίνακας 5.13** Απαιτήσεις ποιότητας του ανακτημένου νερού για γεωργική άρδευση (EUROPA, 2020).

Κατηγορία ποιότητας ανακτημένου νερού	Ενδεικτικός τεχνολογικός στόχος	Απαιτήσεις ποιότητας				
		E. coli (αριθμός/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Άλλα
A	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, διήθηση και απολύμανση	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1.000 cfu/l, όταν υπάρχει κίνδυνος αερόλυσης Εντερικά νηματούδη (αβγά ελμίνθων): ≤ 1 αβγό/l για άρδευση βοσκητόπων ή χορτονομής
B	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	≤ 100	Σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ (Παράρτημα I πίνακας 1)	Σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ (Παράρτημα I πίνακας 1)	-	
Γ	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	≤ 1 000			-	
Δ	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	≤ 10 000			-	

Το ανακτημένο νερό θεωρείται ότι συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις που ορίζονται στον Πίνακα 5.13 όταν οι μετρήσεις για το εν λόγω ανακτημένο νερό πληρούν όλα τα ακόλουθα κριτήρια:

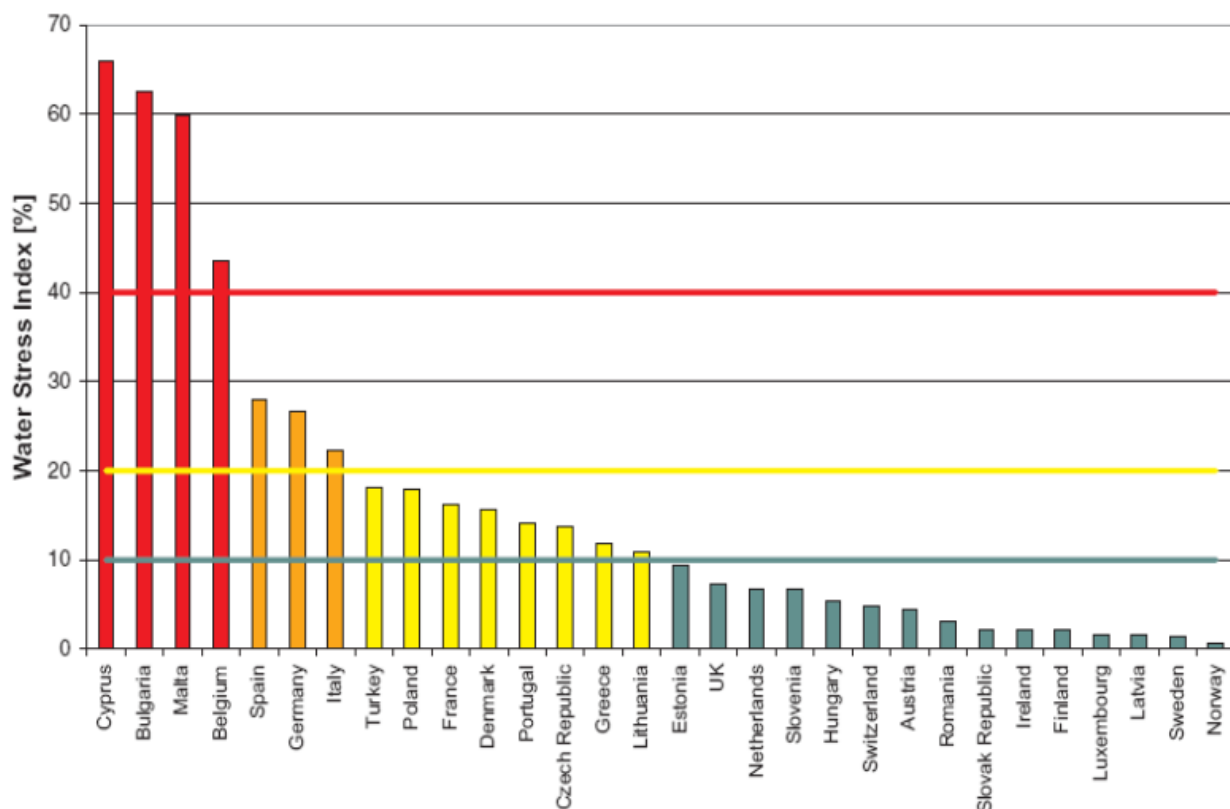
- Οι αναφερόμενες τιμές για το E.coli, τη Legionella spp. και τα εντερικά νηματούδη πληρούνται στο 90% ή περισσότερο των δειγμάτων· καμία από τις τιμές των δειγμάτων δεν υπερβαίνει το όριο μέγιστης απόκλισης της 1 λογαριθμικής μονάδας από την αναφερόμενη τιμή για το E.coli και τη Legionella spp. και το 100% της αναφερόμενης τιμής για τα εντερικά νηματούδη.
- Οι αναφερόμενες τιμές για το BOD<sub>5</sub>, τα TSS και τη θολότητα στην κατηγορία A πληρούνται στο 90% ή περισσότερο των δειγμάτων καμία από τις τιμές των δειγμάτων δεν υπερβαίνει το ανώτατο όριο απόκλισης του 100% της αναφερόμενης τιμής.

### 5.3.2 Χώρες της Ευρώπης

Στην ζώνη της Ευρώπης πάνω από το 84% του πληθυσμού είναι συνδεδεμένο με υπηρεσίες συλλογής λυμάτων και από αυτό πάνω από το 94% συνδέεται και με μία από τις 70.000 υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων από την πλειοψηφία των εγκαταστάσεων έχει διαπιστωθεί ότι συμμορφώνονται με την Οδηγία 91/271 της ΕΕ. Τα λύματα αυτά που παράγονται από μια ΕΕΛ έχουν δείξει οι έρευνες ότι λειτουργούν ευεργετικά ως προς την ποιότητα των ποταμών υποδοχής. Βασικό ζήτημα των λυμάτων από μία τέτοια μονάδα επεξεργασίας είναι εκτός από τα υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης BOD είναι και τα επίπεδα αλάτων.

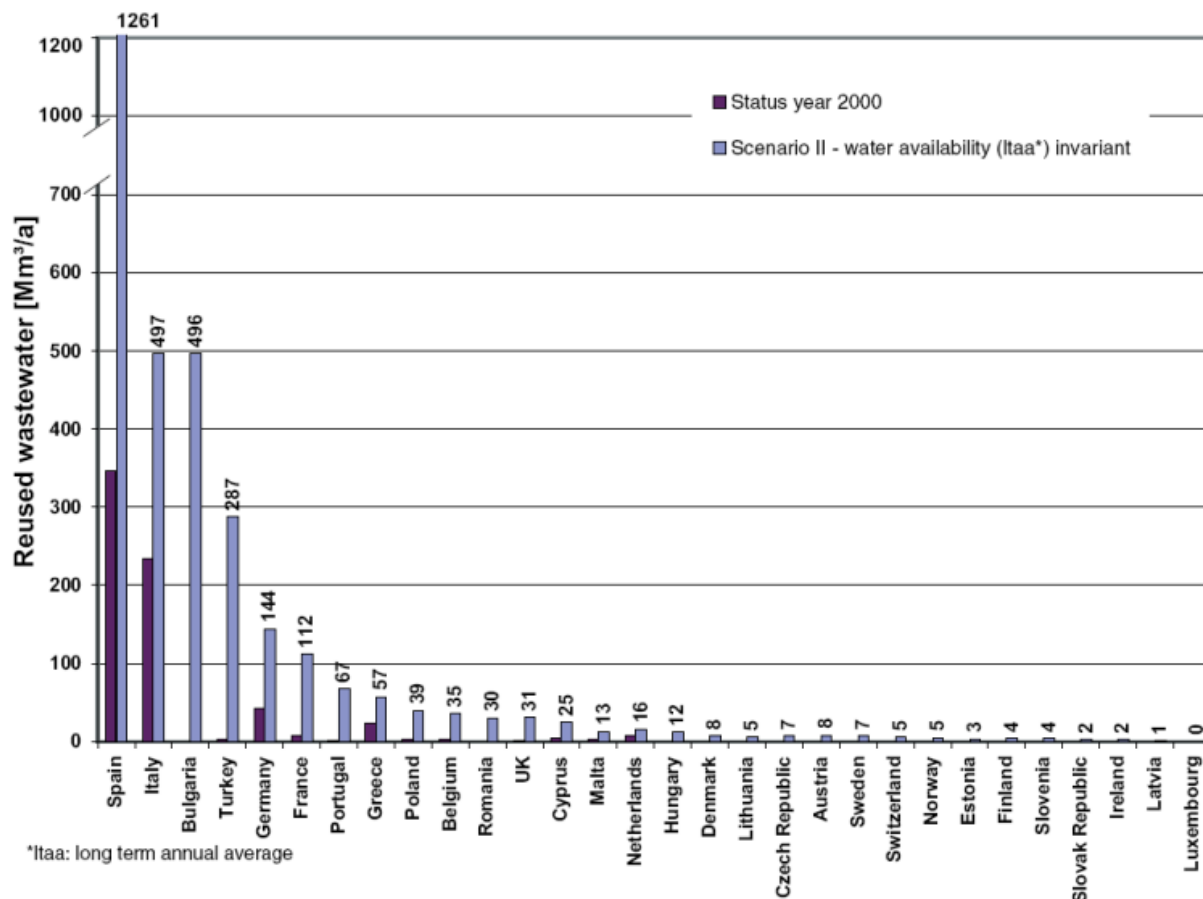
Αυτό συναντάται κυρίως σε μονάδες που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές διότι υπάρχει πιθανότητα να εισχωρήσει το θαλασσινό νερό μέσω του υπόγειου υδροφορέα. Η υψηλή συγκέντρωση σε άλατα μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση στην παραγωγή των γεωργικών καλλιεργειών (Angelakis and Gikas, 2014). Η εικόνα σε θέματα επαναχρησιμοποίησης υδάτων στην Ευρώπη έχει πολύ καλές προοπτικές καθώς το ποσοστό του δείκτη υδατικής καταπόνησης (WSI) δηλαδή η αναλογία άντλησης/διαθεσιμότητα είναι πάνω από μέτρια στο 50% των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ το 25% των χωρών είναι σε υψηλά επίπεδα. Παρακάτω, παρουσιάζεται το Διάγραμμα 5.3 στο οποίο εμφανίζεται η κατάσταση για κάθε χώρα στην Ευρώπη.





**Διάγραμμα 5.3** WSI% (λόγος αφαίρεσης/διαθεσιμότητας): WSI κάτω από 10%, χαμηλό. WSI από 10% έως 20%, μέτρια. WSI από 20% έως 40%, υψηλό και WSI πάνω από 40%, σοβαρό (Angelakis and Gikas, 2014).

Πάνω από 200 έργα επαναχρησιμοποίησης υδάτων έχουν υλοποιηθεί στην ΕΕ με εκτιμώμενο όγκο 750 Mm<sup>3</sup>/έτος ενώ τα επίπεδα της Αμερικής είναι 3.850 Mm<sup>3</sup>/έτος. Η κατάσταση της επαναχρησιμοποίησης των υδάτων είναι αρκετά διαφορετική στις χώρες της βόρειας και νότιας Ευρώπης. Στη νότια Ευρώπη, το νερό επαναχρησιμοποιείται κυρίως για γεωργική άρδευση και για αστικές ή περιβαλλοντικές εφαρμογές, ενώ στη βόρεια Ευρώπη το νερό επαναχρησιμοποιείται κυρίως για αστικές, περιβαλλοντικές ή βιομηχανικές εφαρμογές. Ο όγκος επαναχρησιμοποίησης του νερού σε επίπεδο ΕΕ το 2025 εκτιμάται σε περίπου 3.222 m<sup>3</sup>/έτος, (Διάγραμμα 5.4) γεγονός που εκτιμάται ότι θα εξοικονομήσει το 0,9 % της συνολικής άντλησης νερού το έτος 2025. Ωστόσο, στα νότια κράτη, π.χ. Μάλτα, Κύπρος, Ελλάδα και Ισπανία, το επαναχρησιμοποιούμενο νερό μπορεί να καλύψει έως και το 26%, 7,6%, 5% και 3%, αντίστοιχα, της μελλοντικής τους ζήτησης νερού.



**Διάγραμμα 5.4** Επαναχρησιμοποίηση νερού στην Ευρώπη (Angelakis and Gikas, 2014).

Πολλές χώρες της ΕΕ ακολουθούν ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ ή Πρότυπα ISO ή προσεγγίσεις άλλων χωρών όπως εκείνες της Αυστραλίας, του Ισραήλ και των ΗΠΑ αλλά και κανονισμούς από άλλους εθνικούς φορείς (Gancheva et al., 2018). Ορισμένα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν θεσπίσει τους δικούς τους κανονισμούς ανακύκλωσης νερού τα τελευταία χρόνια. Επί του παρόντος, όλα τα μεσογειακά κράτη της ΕΕ, πλην της Μάλτας, έχουν θεσπίσει νέα κριτήρια ή έχουν αναθεωρήσει τα υφιστάμενα.

Τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης του νερού έχουν εκδοθεί ως κανονισμοί. Επικεντρώνονται κυρίως σε εφαρμογές γεωργίας και τοπίου, αλλά και πρόσθετες χρήσεις, όπως η επαναφόρτιση υδροφορέων που δεν χρησιμοποιούνται για πόσιμη παροχή και περιβαλλοντικές χρήσεις καλύπτονται επίσης στις περιπτώσεις της Ελλάδας, της Ιταλίας και της Ισπανίας.

Ακόμη, ο ΠΟΥ έχει συστήσει κριτήρια υγείας για τους υδροφόρους ορίζοντες που επαναφορτίζονται με επαναχρησιμοποιούμενο νερό. Συνολικά, με βάση τα καθορισμένα όρια των παραμέτρων, τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υδάτων μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- I. Γαλλικά κριτήρια, τα οποία βασίζονται στα αναθεωρημένα κριτήρια του ΠΟΥ και στις κατευθυντήριες γραμμές της Αυστραλίας.
- II. Οι κανονισμοί της Κύπρου, της Ελλάδας και της Ιταλίας, οι οποίοι βασίζονται λίγο πολύ στους κανονισμούς της Καλιφόρνιας.
- III. Τα κριτήρια της Πορτογαλίας και της Ισπανίας, τα οποία σε σύγκριση με τους δύο προηγούμενους τύπους, ακολουθούν μια ενδιάμεση γραμμή.

Στην Ευρώπη, δεν υπάρχουν οδηγίες ή κανονισμοί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Ωστόσο, αρκετές περιβαλλοντικές οδηγίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη νομοθεσίας που θα διέπει τη μελλοντική επαναχρησιμοποίηση του νερού σε επίπεδο ΕΕ, όπως περιγράφεται στην Ενότητα 6 του “Water Reuse in Europe – Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation – European Commission 2014”. Μεταξύ αυτών των οδηγιών, το άρθρο 12 της οδηγίας για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (91/271/EEC) απαιτεί ότι "τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται όποτε χρειάζεται" και "οι οδοί διάθεσης ελαχιστοποιούν τις δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον", με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος από τις δυσμενείς επιπτώσεις της απόρριψης λυμάτων. Παρά την έλλειψη κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης νερού σε επίπεδο ΕΕ, αρκετά κράτη μέλη και αυτόνομες περιφέρειες έχουν δημιουργήσει τα δικά τους νομοθετικά πλαίσια, κανονισμούς ή κατευθυντήριες γραμμές για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης νερού (Sanz and Gawlik, 2014). Όπως διαπιστώνεται και παρακάτω στον Πίνακα 5.14 με βάση τα στοιχεία της έκθεσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναγράφονται οι νομοθεσίες για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων σε διάφορες κράτη μέλη την ΕΕ (Gancheva et al., 2018).

**Πίνακας 5.14** Γενική απογραφή του Κανονιστικού Πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων στα διάφορα μέλη κράτη της ΕΕ (Gancheva et al., 2018).

Member State	Water reuse legislation	Guidelines	Standards	Other relevant measures or incentives
AT	No	No	No	None identified
BE	No	Proposal for guidelines on water quality in the Flemish region but there is no information about the progress so far <sup>56</sup>	No	Water reuse measures for some RBMPs
BG	No	Consideration of guidelines for the water reuse implementation but there is no information about the progress so far <sup>57</sup>	No	Water reuse measures for some RBMPs
CY	Law N.106(I)/2002 (amendments 2002-2009) concerning 'The Control of the Waters Pollution' and associated regulations K.D.P. 407/2002, 772/2003, 254/2003 and 269/2005, K.D. 379/2015	Code of Good Agriculture Practice (regulation K.D.P. 407/2002)	Law 106 (I) 2002 and associated regulations K.D.P. 772/2003 and K.D.P. 269/2005	Water reuse measures in the RBMP
CZ	No	No	No	Water reuse measures for some RBMPs
DE	No	No	No	Four regions provide subsidies for rainwater reuse and the building regulations include rainwater catchment with a fee for discharging it into the sewer <sup>58</sup>
DK	No	The Danish government issued guidelines on water use in food businesses in 2014 (Vejledning nr. 9236 af 29. april 2014 om	No	None identified

<sup>56</sup> BIO Deloitte, ICF GHK and Cranfield University, 2015, Optimising water reuse in the EU, Final report – Part I.

<sup>57</sup> TYPASA, 2013, Updated Report on Wastewater Reuse in the European Union.

<sup>58</sup> TYPASA, 2013, Updated Report on Wastewater Reuse in the European Union.

Member State	Water reuse legislation	Guidelines	Standards	Other relevant measures or incentives
		fødevarehygiejne, kap. 10 or 'Guidelines on hygiene') in order to provide clarity concerning the current water-related regulations that are considered as relatively complex <sup>59</sup>		
EE	No	No	No	None identified
EL	Joint Ministerial Decree 145116/11 or CMD No 145116 Measures, limits and procedures for reuse of treated wastewater	Joint Ministerial Decree 145116/11	Joint Ministerial Decree 145116/11	None identified
ES	Royal Decree 1620/2007: The legal framework for the reuse of treated wastewater	Royal Decree 1620/2007	Royal Decree 1620/2007	Water reuse measures for some RBMPs
FI	No	No	No	None identified
FR	Decree from 2 August 2010 related to the use of water from treated urban wastewater for irrigation of crops and green areas (amended in 2014 - JORF num.0153 of 4 July 2014)	Health Guidelines for reuse, after treatment, of wastewater for crop and green spaces irrigation (CSHPF, 1991); Technical recommendations about the wastewater treatments necessary to ensure compliance with the French Guidelines published by the Association of Water Supply and Sewerage Practitioners (AGHTM, 1996)	Decree from 2 August 2010 related to the use of water from treated urban wastewater for irrigation of crops and green areas	Financial incentives are available from the Catchment Authorities for reuse projects in industry <sup>60</sup> ; Water reuse measures are also included in some RBMPs
HR	No	No	No	None identified
HU	No	No	No	The Environmental Programme and the RBMP promote the local reuse of treated wastewater for irrigation where lands are affected by water scarcity <sup>61</sup>

<sup>59</sup> BIO Deloitte, ICF GHK and Cranfield University, 2015, Optimising water reuse in the EU, Final report – Part I.

<sup>60</sup> TYPISA, 2013, Updated Report on Wastewater Reuse in the European Union.

<sup>61</sup> TYPISA, 2013, Updated Report on Wastewater Reuse in the European Union.

Member State	Water reuse legislation	Guidelines	Standards	Other relevant measures or incentives
IE	No	No	No	None identified
IT	Decree 11 May 1999, n. 152, Environmental Code	Decree of Environmental Ministry 185/2003 (DM 185/2003) Technical measures for reuse of Wastewater	Decree 11 May 1999, n. 152, Environmental Code	Water reuse measures for some RBMPs
LT	No	No	No	None identified
LU	No	No	No	None identified
LV	No	No	No	None identified
MT	No	Guidelines on water reuse, including quality standards and a publicly available information system on the quality of the treated effluent are under preparation <sup>62</sup>	No	Water reuse measures in the RBMP
NL	No	No	No	Taxes and limits on aquifer abstraction make industrial wastewater reuse attractive <sup>63</sup>
PL	No	No	No	None identified
PT	NP 4434 2005 Reuse of reclaimed urban water for Irrigation	Guidelines of the National Regulator for water supply, wastewater and wastes services, (ERSAR): ERSAR Technical guide No14 for water reuse, 2010	NP 4434 2005 Reuse of reclaimed urban water for Irrigation	Water reuse measures for some RBMPs
RO	No	No	No	Indirectly water reuse is covered by Government Decision no. 188/20.03.2002 approving norms for discharging into aquatic environment of used waters and Law no. 241/2006 regarding the water supply and sewage services <sup>64</sup>
SE	No	No	No	None identified
SI	No	No	No	None identified

<sup>62</sup> BIO Deloitte, ICF GHK and Cranfield University, 2015, Optimising water reuse in the EU, Final report – Part I.

<sup>63</sup> TYPISA, 2013, Updated Report on Wastewater Reuse in the European Union.

<sup>64</sup> Amec Foster Wheeler Environment et al. 2016, EU-level instruments on water reuse, Final report to support the Commission's Impact Assessment.

Member State	Water reuse legislation	Guidelines	Standards	Other relevant measures or incentives
SK	No	No	No	None identified
UK	No	No	No	Water reuse with membranes is part of the Enhanced Capital Allowances (ECA) scheme that provides financial incentives for the industry to reuse wastewater through tax incentives <sup>65</sup>

**Sources:** TYPISA, 2013, Updated Report on Wastewater Reuse in the European Union;

JRC, 2014, Water Reuse in Europe, Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation;

BIO Deloitte, ICF GHK and Cranfield University, 2015, Optimising water reuse in the EU, Final report – Part I;

Amec Foster Wheeler Environment et al. 2016, EU-level instruments on water reuse, Final report to support the Commission's Impact Assessment;

Information reported by the Member States to the EIONET Central Data Repository (CDR) concerning the implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC).

**Notes:** RBMP = River Basin Management Plan.

Υπόμνημα κωδικών χωρών μελών Ευρωπαϊκής Ένωσης			
Country Codes:			
<b>AT</b>	Austria	<b>IE</b>	Ireland
<b>BE</b>	Belgium	<b>IT</b>	Italy
<b>BG</b>	Bulgaria	<b>LT</b>	Lithuania
<b>CY</b>	Cyprus	<b>LU</b>	Luxembourg
<b>CZ</b>	Czech Republic	<b>LV</b>	Latvia
<b>DE</b>	Germany	<b>MT</b>	Malta
<b>DK</b>	Denmark	<b>NL</b>	The Netherlands
<b>EE</b>	Estonia	<b>PL</b>	Poland
<b>EL</b>	Greece	<b>PT</b>	Portugal
<b>ES</b>	Spain	<b>RO</b>	Romania
<b>FI</b>	Finland	<b>SE</b>	Sweden
<b>FR</b>	France	<b>SI</b>	Slovenia
<b>HR</b>	Croatia	<b>SK</b>	Slovakia
<b>HU</b>	Hungary	<b>UK</b>	United Kingdom

Τα πιο ολοκληρωμένα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για πρακτικές επαναχρησιμοποίησης νερού και εκδίδονται από κράτη μέλη της ΕΕ:

- Κύπρος
- Γαλλία
- Ελλάδα
- Ιταλία
- Πορτογαλία
- Ισπανία

Τα πρότυπα της Κύπρου, της Γαλλίας, της Ελλάδας, της Ιταλίας και της Ισπανίας περιλαμβάνονται ως κανονισμοί στην εθνική νομοθεσία. Στην Πορτογαλία, τα πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι κατευθυντήριες γραμμές, αλλά λαμβάνονται υπόψη από την εθνική κυβέρνηση όταν εκδίδονται άδειες επαναχρησιμοποίησης νερού στη χώρα. Όλα τα πρότυπα που αξιολογήθηκαν αναφέρονται στην επαναχρησιμοποίηση αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, εκτός από τα πρότυπα της Κύπρου και της Πορτογαλίας που αναφέρονται μόνο στα αστικά λύματα (Sanz and Gawlik, 2014). Στον Πίνακα 5.15 αναφέρονται οι προβλεπόμενες χρήσεις για την επαναχρησιμοποίηση νερού που περιλαμβάνονται στα πρότυπα των κρατών μελών της ΕΕ για τις έξι χώρες που προαναφέρθηκαν.

**Πίνακας 5.15** Προβλεπόμενες χρήσεις για την επαναχρησιμοποίηση νερού περιλαμβάνονται στα πρότυπα των κρατών μελών της ΕΕ (Sanz and Gawlik, 2014).

Country	Standards reference	Issuing institution
<b>Cyprus</b>	Law 106 (I) 2002 Water and Soil pollution control and associated regulations KDP 772/2003, KDP 269/2005	Ministry of Agriculture, Natural resources and Environment Water development Department (Wastewater and reuse Division)
<b>France</b>	JORF num.0153, 4 July 2014 Order of 2014, related to the use of water from treated urban wastewater for irrigation of crops and green areas	Ministry of Public Health Ministry of Agriculture, Food and Fisheries Ministry of Ecology, Energy and Sustainability
<b>Greece</b>	CMD No 145116 Measures, limits and procedures for reuse of treated wastewater	Ministry of Environment Energy and Climate Change
<b>Italy</b>	DM 185/2003 Technical measures for reuse of wastewater	Ministry of Environment Ministry of Agriculture, Ministry of Public Health
<b>Portugal</b>	NP 4434 2005 Reuse of reclaimed urban water for irrigation	Portuguese Institute for Quality
<b>Spain</b>	RD 1620/2007 The legal framework for the reuse of treated wastewater	Ministry of Environment Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, Ministry of Health

Στην Κύπρο, ο Κώδικας Ορθής Αγροτικής Πρακτικής (Κ.Δ.Π.263/2007) δημιουργήθηκε ως μέρος της εφαρμογής της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ της ΕΕ για την προστασία των υδάτων από τη ρύπανση που προκαλείται από νιτρικά άλατα γεωργικών πηγών. Ο Κώδικας αποσκοπεί στην προώθηση κατευθυντήριων γραμμών για την παροχή βοήθειας στους αγρότες στη μείωση και την πρόληψη της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται από γεωργικά λιπάσματα και στον καθορισμό αποδεκτών περιβαλλοντικών όρων για τη χρήση των αστικών λυμάτων για σκοπούς άρδευσης. Αφορά κυρίως την εφαρμογή λιπασμάτων στο έδαφος, την ανακύκλωση και επεξεργασία λυμάτων και τη διάθεση λυμάτων.

Η Πορτογαλική Ρυθμιστική Αρχή Υπηρεσιών Ύδρευσης και Αποχέτευσης εξέδωσε Τεχνικό Οδηγό για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, για την υποστήριξη της υλοποίησης έργων επαναχρησιμοποίησης νερού. Ο Οδηγός αυτός εστιάζει σε πτυχές ποιότητας των λυμάτων των προτεινόμενων εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνει πρόσθετες χρήσεις από αυτές που περιγράφονται στο NP 4434, (δηλαδή αστικές χρήσεις) και λαμβάνει υπόψη η οικονομική βιωσιμότητα και δημόσια αποδοχή των έργων επαναχρησιμοποίησης νερού.

Τα πρότυπα πρέπει να συγκρίνονται με προσοχή, καθώς δεν υπάρχει ομοιογένεια μεταξύ των πτυχών που καλύπτονται από τον κανονισμό κάθε κράτους μέλους. Γενικά, τα πρότυπα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κριτήρια:

- Προβλεπόμενες χρήσεις.
- Αναλυτικές παράμετροι.
- Μέγιστη οριακή τιμή που επιτρέπεται για κάθε παράμετρο.
- Πρωτόκολλα παρακολούθησης.
- Πρόσθετα προληπτικά μέτρα για την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος.



Τα περισσότερα από τα πρότυπα προορίζονται για γεωργικές, αστικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Οι ισπανικοί και ελληνικοί κανονισμοί ισχύουν για μεγάλο αριθμό επιτρεπόμενων χρήσεων, για τις περισσότερες από τις οποίες περιλαμβάνουν ακριβή περιγραφή. Η Ισπανική νομοθεσία καλύπτει τις περισσότερες χρήσεις ανακτημένου νερού (αστικές, γεωργικές, βιομηχανικές, ψυχαγωγικές και περιβαλλοντικές) και είναι η μόνη που επιτρέπει την ανακύκλωση νερού για άρδευση ιδιωτικών κήπων.

Για την υλοποίηση αυτού χρειάζεται έκδοση άδειας υπό την προϋπόθεση ότι το δίκτυο είναι χωριστικό. Υπάρχει ομοιότητα με τις οδηγίες της USEPA, της Αυστραλίας και της Καλιφόρνιας για τα ζητήματα της επαναχρησιμοποίησης υδάτων. Στη αντίθετη πλευρά η κανονισμός της Κύπρου απαγορεύει την βιομηχανική ή αστική χρήση ανακτημένου νερού. Οι ιταλικοί κανονισμοί περιγράφουν διάφορες αστικές, γεωργικές και βιομηχανικές χρήσεις. Το ανακτημένο νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για όλες τις καλλιέργειες που προορίζονται για ανθρώπινη ή ζωική κατανάλωση, για μη εδώδιμες καλλιέργειες και για δημόσιους χώρους πρασίνου (ακόμη και για αθλητικές εγκαταστάσεις). Επιτρέπεται η βιομηχανική χρήση εάν δεν υπάρχει άμεση επαφή με τρόφιμα, φαρμακευτικά ή καλλυντικά προϊόντα.

Τα χαρακτηριστικά και οι οριακές τιμές για βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση καθορίζονται από τα ενδιαφερόμενα μέρη ανάλογα με τις απαιτήσεις της βιομηχανικής διαδικασίας και θα πρέπει, τουλάχιστον, να συμμορφώνονται με τις οριακές τιμές που ορίζονται για τις απορρίψεις υδάτων στα επιφανειακά ύδατα. Τα Γαλλικά πρότυπα αναφέρονται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού για άρδευση γεωργικών εκτάσεων και περιοχές με πράσινο. Εξαίρεση αποτελούν οι βιομηχανικές και αστικές χρήσεις καθώς και η ενίσχυση και επαναφόρτιση των υδροφορέων. Οι πορτογαλικές κατευθυντήριες γραμμές αναφέρονται μόνο στην άρδευση αστικών περιοχών και στη γεωργία, αν και ο Τεχνικός Οδηγός που εκδόθηκε το 2010 περιλαμβάνει άλλες χρήσεις όπως καθαρισμό δρόμων, βιομηχανική επεξεργασία νερού και πύργους ψύξης.

Οι κύριες εφαρμογές του νερού στην Πορτογαλία είναι για άρδευση γεωργικών και τοπίων, κυρίως για άρδευση γηπέδων γκολφ, γι' αυτό δόθηκε προτεραιότητα στην έκδοση κατευθυντήριων γραμμών για την επαναχρησιμοποίηση του νερού για άρδευση. Οι προβλεπόμενες χρήσεις των προτύπων που αξιολογήθηκαν συνοψίζονται στον Πίνακα 5.16.

**Πίνακας 5.16** Προβλεπόμενες χρήσεις για επαναχρησιμοποίηση νερού που περιλαμβάνονται στα πρότυπα των κρατών μελών της ΕΕ (Sanz and Gawlik, 2014).

Intended use of reclaimed water	Cyprus	France	Greece	Italy	Portugal	Spain
Irrigation of private gardens						✓
Supply to sanitary appliances				✓		✓
Landscape irrigation of urban areas (parks, sports grounds and similar)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Street cleaning			✓	✓		✓
Soil compaction			✓			
Fire hydrants			✓	✓*		✓
Industrial washing of vehicles				✓		✓
Irrigation of crops eaten raw	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Irrigation of crops not eaten raw	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Irrigation of pastures for milk or meat producing animals		✓	✓	✓	✓	✓
Aquaculture						✓
Irrigation of trees without contact of reclaimed water with fruit for human consumption	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Intended use of reclaimed water	Cyprus	France	Greece	Italy	Portugal	Spain
Irrigation of ornamental flowers without contact of reclaimed water with the product		✓	✓	✓		✓
Irrigation of industrial non-food crops, fodder, cereals	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Water process, and cleaning in industry other than the food industry			✓	✓**		✓
Water process and cleaning in the food industry			✓	✓**		✓
Cooling towers and evaporative condensers			✓	✓		
Golf course irrigation	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ornamental ponds without public access			✓			
Aquifer recharge by localised percolation	✓		✓			✓
Aquifer recharge by direct injection	✓		✓			✓
Irrigation of woodland and green areas not accessible to the public		✓	✓	✓	✓	✓
Silviculture						✓
Environmental uses (maintenance of wetlands, minimum stream flows and similar)						✓

\* only for industrial uses.

\*\* reclaimed water cannot be used in direct contact with food, pharmaceuticals or cosmetic products.

Στην Ισπανία το νομικό πλαίσιο σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων είναι προχωρημένο συγκριτικά με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς καθορίζεται από το Βασιλικό Διάταγμα (Royal Decree) 1620/2007 και αναφέρεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα αναγράφονται μέγιστες αποδεκτές τιμές, η παρουσία ή όχι κάποιων παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο της χρήσης του νερού, μέτρα διαχείρισης κινδύνου για άρδευση και επαναφόρτιση υδροφορέα, συχνότητες δειγματοληψίας και ανάλυσης καθώς και απαιτήσεις αιτήσεων για άδειες. Λόγω του φαινομένου της λειψυδρίας η νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση υδάτων συμπληρώνεται από οδηγίες που έχουν αναπτυχθεί σε ορισμένες περιοχές της Ισπανίας όπως στην Καταλονία ή στην Ανδαλουσία (Sanz and Gawlik, 2014).

Στην Γαλλία τα υφιστάμενα πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι το Διάταγμα που ισχύει είναι αυτό της 2ας Αυγούστου 2010 σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση του νερού από την επεξεργασία καθαρισμού αστικών λυμάτων για άρδευση καλλιεργειών ή χώρων πρασίνου και αναψυχής. Στις 25 Μαΐου του 2016 υπήρξε αναθεώρηση του άρθρου 14. Να σημειωθεί ότι η νομοθεσία είναι αντίστοιχη με την γεωργική χρήση της λυματολάσπης διότι και η ποιότητα του ανακτημένου νερού αλλά και η ποιότητα της λυματολάσπης παράγονται από μία ΕΕΛ. Στο σύνολο έχουν προσδιοριστεί 6 παράμετροι ποιότητας νερού οι οποίοι είναι οι εξής:

- Προέλευση λυμάτων (επεξεργασμένα απόβλητα αστικής προέλευσης).
- Απαγορευμένες χρήσεις (ακατέργαστα λύματα).
- Προσέγγιση (αριθμητικές οριακές τιμές και εύρος επιπέδου νερού).
- Παράμετροι (COD, N, P, E.coli κτλ.).
- Παρακολούθηση (δειγματοληψία και ανάλυση E.coli).
- Μέτρα ιχνηλασιμότητας (όγκος νερού, χρόνος παρακολούθησης).

Η νομοθεσία στην Ιταλία σε θέματα επαναχρησιμοποίησης νερού συναντάται πρώτη φορά ως αρχική νομοθεσία το 1976 με τον Νόμο 319/1976 με την γνωστή ονομασία (Νόμος Merli) ο οποίος συμπληρώθηκε αργότερα, με το όνομα «Κριτήρια Μεθοδολογία και Γενικά Τεχνικά Χαρακτηριστικά». Έπειτα, το νομοθετικό διάταγμα 11 Μαΐου 1999 αρθ. 152, Περιβαλλοντικός Κώδικας καθορίζει τα όρια αναλόγως τον τύπο λαχανικών και βοσκοτόπων. Όμως, στις 12/6/2003 σε συνέχεια του Νόμου 152/11-5-1999 θεσπίστηκε Διάταγμα-Νόμος 185/03 που εξετάζει 54 παραμέτρους.

Ορισμένες παράμετροι αναφέρονται για πόσιμο νερό και άλλες για αρδευτικό νερό καθώς επίσης τα υφιστάμενα πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση διακρίνονται με βάση τις παρακάτω συνιστώσες:

- I. Προέλευση λυμάτων (επεξεργασμένα αστικά και βιομηχανικά λύματα).
- II. Χρήσεις και περιορισμοί (3 κατηγορίες, γεωργία, βιομηχανική, αστική χρήση μη πόσιμες).
- III. Προσέγγιση (οριακές τιμές ποιοτικών μικροβιακών και φυσικοχημικών παραμέτρων).
- IV. Παράμετροι (pH, αγωγιμότητα, Fe, Mn, Cl κτλ.).

Η Κύπρος θεωρείται μία από τις πιο πρωτοπόρες χώρες στην επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Το νομοθετικό πλαίσιο της Κύπρου έχει μεγάλο εύρος, περιλαμβάνοντας οδηγίες, κανονισμούς και διατάγματα θωρακίζοντας ένα προστατευόμενο σύστημα επεξεργασία λυμάτων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Συγκεκριμένα, η Κύπρος εξέδωσε τον Κρατικό Νόμο Ν.106(I)/2002 που σχετίζεται με τον έλεγχο της ρύπανσης των υδάτων και τους κανονισμούς Κ.Δ.Π.407/2002, 772/2003 254/2003, Κ.Δ.Π.269/2005. Ακόμη λόγω ρύπανσης εδάφους ή υδάτων κατά την απόρριψη λυμάτων υποχρεούται έκδοση Άδειας από το Υπουργείο Γεωργίας Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τον νέο Κανονισμό Κ.Δ.379/2015 αναφέρονται τα πρότυπα ποιότητας νερού από επαναχρησιμοποίηση λυμάτων καθώς απαγορεύει την άρδευση επεξεργασμένων λυμάτων για λαχανικά που καταναλώνονται ωμά για καλλιέργειες προς εξαγωγή και για καλλωπιστικά φυτά. Αντίστοιχα για λαχανικά που καταναλώνονται μαγειρεμένα και για άλλες καλλιέργειες οι οδηγίες που ακολουθούνται είναι αυτές του ΠΟΥ (Kirhensteine et al., 2016).

Στην Πορτογαλία το νομοθετικό πλαίσιο καθορίζεται από το Πορτογαλικό Ινστιτούτο Ποιότητας ως νόμος NP 4434 2005 ο οποίος αναφέρεται στην επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού για άρδευση. Υπάρχουν οδηγίες με την ονομασία Portuguese Standard NP 4434 και περιλαμβάνουν παραμέτρους για παράδειγμα μικροβιολογικά και χημικά όρια. Επίσης προβλέπονται τρεις κατηγορίες καλλιεργειών ανάλογα την χρήση, δηλαδή ως κατηγορία Α ανήκουν τα λαχανικά που αναλώνονται ωμά, ως κατηγορία Β περιλαμβάνονται δημόσια πάρκα, κήποι, αθλητικές εγκαταστάσεις και δάση που επιτρέπεται η ανθρώπινη πρόσβαση και τέλος ως κατηγορία Γ ορίζονται οι καλλιέργειες λαχανικών που μαγειρεύονται, αμπελώνες και οπωρώνες (Sanz and Gawlik, 2014).

Μέχρι στιγμής, δεν υπάρχει ρύθμιση για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η μόνη αναφορά σε αυτό είναι το άρθρο 12 της ευρωπαϊκής οδηγίας για τα λύματα (91/271/EEC) που αναφέρει: «Επεξεργασμένα τα λύματα θα επαναχρησιμοποιούνται όποτε κρίνεται σκόπιμο». Για να γίνει πραγματικότητα αυτή η δήλωση, κοινή απαιτούνται ορισμοί για το τι είναι «κατάλληλο». Η επικείμενη οδηγία πλαίσιο της ΕΕ δεν αναφέρει συγκεκριμένα τη σκοπιμότητα της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων, αλλά εισάγει μια ποσοτική διάσταση στη διαχείριση των υδάτων, πέρα από τη συνήθη ποιοτική διάσταση, η οποία μπορεί να τονώσει την εξέταση της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων. Επίσης, αναφέρει ότι «οι υδάτινοι πόροι πρέπει να είναι επαρκείς ποιότητα και ποσότητα για την κάλυψη άλλων οικονομικών απαιτήσεων». Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων είναι ένας πόρος που προσεγγίζεται για οικονομικούς λόγους. Όπως φαίνεται και παρακάτω, υπάρχουν πολλές διαφορετικές στάσεις σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στην Ευρώπη. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα από χώρες της Βόρειας Ευρώπης.

Στην Ιρλανδία περίπου το 75% του ιρλανδικού πόσιμου νερού αντλείται από τα επιφανειακά ύδατα, το υπόλοιπο τροφοδοτείται από πηγάδια και γεωτρήσεις. Περίπου 1000 δημόσια συστήματα ύδρευσης αποδίδουν πάνω από 1,2 Mm<sup>3</sup> νερού την ημέρα. Λόγω του ήπιου και υγρού κλίματος της Ιρλανδίας, η ανάγκη άρδευσης η γεωργία είναι πρακτικά ανύπαρκτη. Το νερό ψύξης τείνει να αντλείται απευθείας από ποτάμια ή λίμνες. Δεν γνωρίζουμε καμία εθελοντική επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην Ιρλανδία.

Αντίστοιχα, στην Νορβηγία περίπου το 87% του πληθυσμού λαμβάνει νερό από τοπικές λεκάνες απορροής και το 13% από τα υπόγεια ύδατα. Περίπου το 90% του πληθυσμού τροφοδοτείται με νερό από το 1600 εργοστάσιο ύδρευσης. Το υπόλοιπο προμηθεύεται από μικρές ιδιωτικές εργασίες. Τα 400 από τα δημόσια έργα ύδρευσης παράγουν νερό με ποιότητα σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ΕΕ, τροφοδοτώντας το 60% του πληθυσμού (συμπεριλαμβανομένου του Όσλου) (Angelakis and Bontoux, 2001). Στη συνέχεια, τα 1200 μικρότερα υδάτινα έργα παράγουν νερό που δεν ανταποκρίνεται σε αυτά τα πρότυπα, τροφοδοτώντας το 30% του πληθυσμός. Σύμφωνα με εθνικές στατιστικές, τα νορβηγικά υδάτινα έργα αποδίδουν σχεδόν 600 L/cpd αλλά μόνο 130 L/cpd χρησιμοποιούνται σε ιδιωτικά νοικοκυριά. Η βιομηχανική κατανάλωση ισούται με 100 L/cpd και αν επιπλέον 100 L/cpd χρησιμοποιούνται σε επιχειρηματικές επιχειρήσεις, ιδρύματα και δημοτικές τεχνικές εργασίες. Αυτά τα στοιχεία δείχνουν συνολική διαρροή 40–50%. Καθώς η Νορβηγία είναι ευλογημένη με άφθονο γλυκό νερό, το θέμα επαναχρησιμοποίηση λυμάτων σπάνια εξετάζεται. Αλλά λόγω των υψηλών τιμολογίων νερού σε ορισμένες περιοχές βιομηχανικές εταιρείες ανακυκλώνουν νερό επεξεργασίας και ψύξης.

Στην Ολλανδία ορισμένες περιοχές (στα νοτιοδυτικά, ανατολικά και βορειοανατολικά της χώρα) μπορεί να αντιμετωπίσουν έλλειψη νερού κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων. Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση είναι δυνατή όταν η ποιότητα των λυμάτων είναι επαρκής για την άρδευση των καλλιεργειών. Τα πρότυπα της βακτηριολογικής ποιότητας των

λυμάτων είναι ως επί το πλείστον πολύ κακή ποιοτικά για πόσιμο νερό, για βοοειδή και για νερά κολύμβησης.

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων μπορεί να είναι καλή επιλογή για ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές όπως συστήματα ψύξης, νερό για καθαρισμό και ούτω καθεξής. Μέχρι στιγμής, η συνολική ποσότητα επαναχρησιμοποιούμενων επεξεργασμένων λυμάτων στην Ολλανδία είναι μικρή. Σε τοπικό επίπεδο τα λύματα χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση της στάθμης του νερού, νερό για πυρόσβεση και ούτω καθεξής. Επαναχρησιμοποίηση νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπική κατάσταση δηλαδή την διαθεσιμότητα «καλής ποιότητας» εκροής σε “ανταγωνιστική” απόσταση (σε σύγκριση με τα επιφανειακά ύδατα).

Στο εγγύς μέλλον, πιθανότατα η επαναχρησιμοποίηση θα αυξηθεί. Στη γεωργία, τα λύματα θα αποθηκεύονται και μάλιστα θα υποβάλλονται σε επεξεργασία ώστε να πληρούν τα απαιτούμενα πρότυπα αυτόν τον σκοπό. Για τις βιομηχανίες, η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων θα είναι μια επιλογή με την προϋπόθεση ότι είναι οικονομικά αποδοτική. Με βάση την ολλανδική κυβέρνηση επιβάλλονται φόροι και όρια στην άντληση υδροφορέων για την αποκατάσταση της αρχικής στο επίπεδο των υπόγειων υδάτων, η επαναχρησιμοποίηση βιομηχανικών λυμάτων γίνεται όλο και πιο ενδιαφέρουσα.

Μία ακόμη περίπτωση είναι αυτή του Ηνωμένου Βασιλείου όπου στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης αρκετά προγράμματα εφαρμόζονται πιλοτικά για την ανακύκλωση λυμάτων από πλυντήρια ρούχων, λουτρά και ντους, για το ξέπλυμα των τουαλετών που αντιπροσωπεύουν ένα τρίτο της επαναχρησιμοποίησης οικιακών λυμάτων. Σε μερικά από αυτά, τα νερά της βροχής συγκεντρώθηκαν από την οροφή του εν λόγω σπίτι συνδυάζονται με τα λύματα. Συνολικά, δεν υπάρχει συνεπής ή εκτενής πρότυπο επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο. Κανονικά, υπήρχε αρκετό νερό για να συναντηθεί τόσο λίγα συστήματα επαναχρησιμοποίησης έχουν αναπτυχθεί. Μετά τις ξηρασίες του τελευταίου λίγα χρόνια, αυτές αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά με σημαντικές δημόσιες, πολιτικές και κλιματική πίεση στο Ηνωμένο Βασίλειο για τη σωστή χρήση του νερού, με την επιφύλαξη κατάλληλων διαβεβαιώσεων σχετικά με την ποιότητα και κόστος.

Αυτή τη στιγμή υπάρχει μια προσπάθεια να εναρμονιστούν οι διάφορες προσεγγίσεις για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στο ευρωπαϊκό επίπεδο. Μια ομάδα διεθνών εμπειρογνομόνων έχει συγκληθεί με πρωτοβουλία του ΠΟΥ και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για να αναθεωρήσει την τελευταία λέξη της τεχνολογίας και να παράγει καθοδήγηση για την ευρωπαϊκή Κατευθυντήριες γραμμές (Angelakis and Bontoux, 2001).

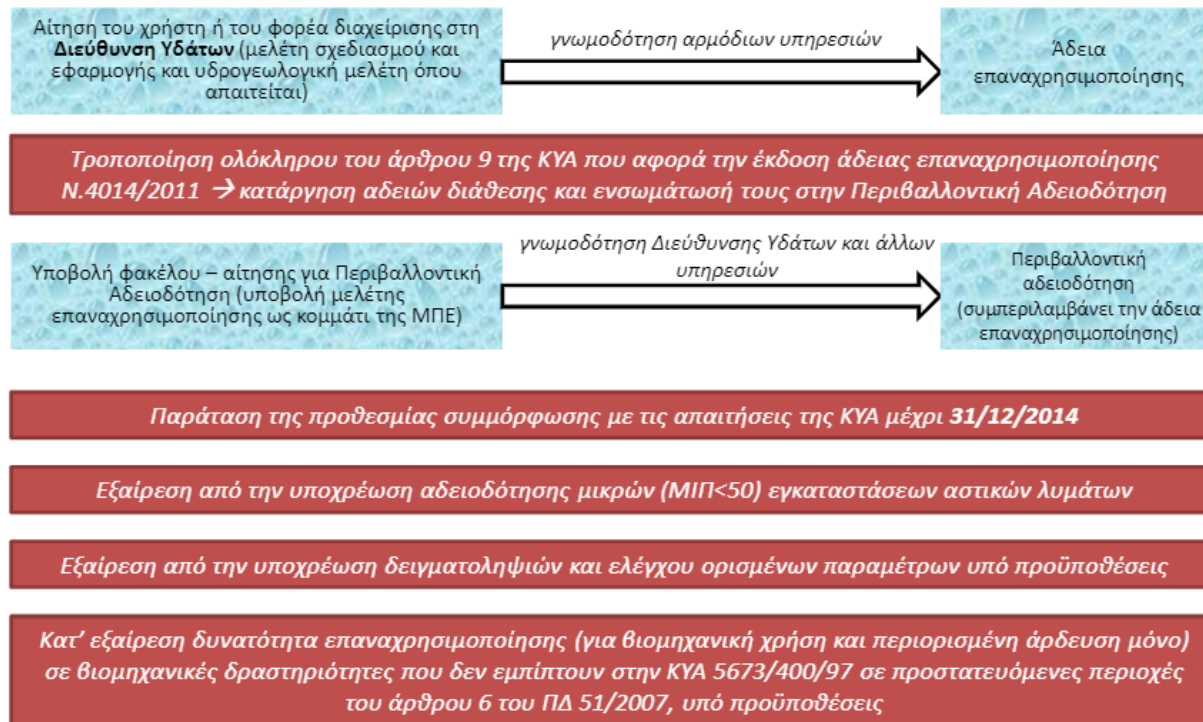
### **5.3.3 Η περίπτωση της Ελλάδας**

Στον τομέα προστασίας των υδάτων έχει σημειώσει μία αξιόλογη παραγωγή νομοθετημάτων. Πρώτη συναντάται είναι η Οδηγία πλαίσιο 2000/60/EC για την αειφόρο διαχείριση, ακολουθεί η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων και, τέλος η Οδηγία 98/15/ΕΚ που τροποποιεί την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ και ρυθμίζει τη συλλογή, επεξεργασία και διάθεση των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, κυρίως σε ό,τι αφορά ευαίσθητες περιοχές. Το νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων είναι η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ. Ειδικά σε ό,τι αφορά την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, αυτή ρυθμίζει την προστασία του περιβάλλοντος από αστικά λύματα και υγρά απόβλητα, που απορρίπτονται σε υδάτινους αποδέκτες από οικισμούς και βιομηχανίες.

Για την πραγματοποίηση αυτού, η οδηγία ορίζει την ορθή διαχείριση των υγρών αποβλήτων από αστικές περιοχές, των μιγμάτων υγρών αποβλήτων και των υγρών αποβλήτων από βιομηχανίες. Η

εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με την Ευρωπαϊκή οδηγία έγινε μέσω της Κοινής Υπουργικής Απόφασης με αριθ. 5673/400/14.3.97. Όμως το νομοθετικό πλαίσιο (Διάγραμμα 5.5) αποσαφηνίστηκε και έγινε πιο συγκεκριμένο μέσω της δημοσίευσης της Κ.Υ.Α.145116/2011 (Φ.Ε.Κ.354Β/8-3-2011) με τίτλο «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις» που στην πορεία τροποποιήθηκε εν μέρει με την Κ.Υ.Α.191002/2013.

### Τροποποίηση της ΚΥΑ 145116/2011 με την ΚΥΑ 191002/2013 (ΦΕΚ Β 2220)



**Διάγραμμα 5.5** Βασικά σημεία τροποποίησης της ΚΥΑ145116/2011 και της ΚΥΑ191002/2013 (ΦΕΚ Β 2220) (<https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrisimopoiisi-epexergasmenon-ygron-apovliton.html>).

Σύμφωνα με τις συγκεκριμένες Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στην Ελλάδα καθορίζεται και οι χρήσεις του ανακτημένου νερού γίνονται ξεκάθαρες, αναφέροντας παραμετρικά όρια για φυσικοχημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Επιπροσθέτως, ορίζονται το πλήθος ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας που θα πρέπει να πληρούν τα λύματα καθώς και τα απαραίτητα αγρονομικά χαρακτηριστικά για γεωργική άρδευση. Από μια πανοραμική σκοπιά η ΚΥΑ145116/2011 εστιάζει αφενός στην προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων εξοικονομώντας υδάτινους πόρους και αφετέρου στην βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπογείων υδροφορέων διασφαλίζοντας πάντα την Δημόσια Υγεία. Με βάση το άρθρο 3 της νομοθεσίας επιτρέπεται να γίνεται επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων μόνο σε:

- Γεωργική χρήση (άρδευση)
- Βιομηχανική χρήση
- Αστική και περιαστική χρήση
- Τροφοδότηση υπογείων υδροφορέων

Να σημειωθεί πως υπάρχει περιορισμός στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ καθώς αναφέρεται στο άρθρο 3 ότι δεν περιλαμβάνεται η ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων, η άμεση ή έμμεση ανακύκλωση για πόση με εξαίρεση τις περιπτώσεις στο άρθρο 8, η επαναχρησιμοποίηση για χρήσεις κολύμβησης, η επαναχρησιμοποίηση για άλλες οικιακές χρήσεις και η περίπτωση



διάθεσης σε υδάτινους αποδέκτες. Γενικότερα, η ΚΥΑ απαρτίζεται από 19 άρθρα και περιλαμβάνει τρία παραρτήματα στα οποία παρουσιάζονται ποιοτικά και ποσοτικά όλοι οι φυσικοχημικοί, τοξικολογικοί και μικροβιολογικοί παράμετροι των ανακτημένων υγρών αποβλήτων. Παρακάτω αναγράφεται ο Πίνακας 5.17 από το Παράρτημα Ι:

**Πίνακας 5.17** Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (<https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrísismopoiísi-epexergasmenon-ygron-apovliton.html>).

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Περιορισμένη άρδευση</b> Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</p> <p><b>Βιομηχανική χρήση</b> Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p>Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του άρθρου 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά<sup>(6)</sup></p>	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία <sup>(α), (β)</sup> Απολύμανση <sup>(γ)</sup>	<p>BOD<sub>5</sub>, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>EC: μια ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Απεριόριστη άρδευση</b> Όλες οι καλλιέργειες όπως οπωροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.</p> <p><b>Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης</b> επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ<sup>(η)</sup></p>	≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία <sup>(ε)</sup> ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια επεξεργασία <sup>(στ)</sup> και Απολύμανση <sup>(δ)</sup>	<p>BOD<sub>5</sub>, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>EC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ' εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής μία ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl<sub>2</sub> συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηριδία (TC/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p><b>Αστική χρήση</b> Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p> <p><b>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων</b> που δεν emπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις</p> <p><b>Περιστικό πράσινο</b> συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών<sup>(4)</sup></p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95 % των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή -</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία<sup>(8)</sup> ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία<sup>(9)</sup> και Απολύμανση<sup>(κ)</sup></p>	<p>BOD<sub>5</sub>, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>TC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δύο ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl<sub>2</sub> συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Η συγκεκριμένη Υπουργική Απόφαση θωρακίζει και περιορίζει σε μεγάλο βαθμό πολλές περιπτώσεις εφαρμογής της επαναχρησιμοποίησης. Αυτό αφορά κυρίως το κομμάτι της άρδευσης όπου χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες καθαρού νερού το οποίο θα μπορούσε να αντικατασταθεί με το ανακτημένο νερό. Ωστόσο, κάτι τέτοιο λειτουργεί και εποικοδομητικά σε ένα βαθμό διότι αποφεύγεται ενδεχόμενη μόλυνση των καθαρών νερών σε υπόγειους υδροφορείς. Ασφαλώς, όμως μπορεί να λεχθεί ότι ο φόβος μόλυνσης των καθαρών νερών δεν μπορεί να είναι εμπόδιο στην εφαρμογή της πρακτικής της επαναχρησιμοποίησης, απλώς θα πρέπει να γίνει ο εμπλουτισμός με ασφαλή τρόπο, ώστε να μην διακυβευτεί η δημόσια υγεία και να διασφαλιστεί η προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι το νομοθετικό πλαίσιο είναι εκεί για να διευκολύνει την εφαρμογή της χρήσης εκ νέου του ανακτημένου νερού από τα αστικά λύματα, θεσπίζοντας τις απαραίτητες δικλίδες ασφαλείας αμβλύνοντας αυτή τη διαδικασία. Στη Ελλάδα, η διαδικασία της επαναχρησιμοποίησης από τον νόμο είναι πολύπλοκη, χρονοβόρα, ακριβή και γραφειοκρατική. Έτσι, η νομοθεσία μεταφράζεται ως ένα τροχοπέδη για την αντικατάσταση του καθαρού νερού με ανακτημένο από τα αστικά λύματα, με αποτέλεσμα να συνεχίζεται η υπάρχουσας απαρχαιωμένη πρακτική. Η αξιοποίηση της επαναχρησιμοποίησης ως εναλλακτικός τρόπος για την αντιμετώπιση του προβλήματος λειψυδρίας στη χώρα, ιδιαίτερα τη θερινή περίοδο που οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες, και ιδίως στα ελληνικά νησιά περιθωριοποιείται.

Στην περίπτωση της Ελλάδας η μακροπρόθεσμη ετήσια διαθεσιμότητα γλυκού νερού φτάνει τα 72.000 Mm<sup>3</sup>. Οι ετήσιες εκμεταλλεύσεις γλυκού νερού αποτελούν μόνο το 13% της θεωρητικής διαθεσιμότητας και εκτιμάται στα 9.539 Mm<sup>3</sup>. Σχεδόν το 61% των εκμεταλλεύσεων προέρχεται από επιφανειακά υδάτινα σώματα, το 38% αφαιρείται από τα υπόγεια ύδατα, ενώ σχεδόν το 1% προέρχεται από άλλες πηγές, όπως από αφαλατωμένο νερό ή από επεξεργασμένα λύματα. Οι χρήσεις νερού από τον εγχώριο τομέα, τη μεταποίηση, την κτηνοτροφία και την παραγωγή ενέργειας αντιπροσωπεύουν 14%, 2%, 1% και 1% αντίστοιχα.

Όπως διαπιστώνεται τα όρια των ελληνικών προτύπων είναι αυστηρά και αυτό συναντάται για παράδειγμα σε παραμέτρους όπως το βιοχημικό οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>), τα ολικά διαλυμένα στερεά

(TDS) και τα παθογόνα (E.coli). Επιπλέον, δεν επιτρέπουν την επιφανειακή εφαρμογή για την επαναφόρτιση των υδροφορέων που προορίζονται για πόσιμο νερό. Περιορισμός εντοπίζεται και στην περίπτωση εμπλουτισμού των υδροφορέων για χρήση πόσιμου νερού, επιφανειακή διάθεση, χρήση μη πόσιμου νερού με άμεση έγχυση καθώς κρίνεται απαραίτητη δευτεροβάθμια, προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση. Η διαχείριση των υδατικών πόρων γίνεται από εταιρείες ή ιδιώτες και ο τύπος διαχείρισης των υδάτων ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών χρήσεων νερού. Το νερό άρδευσης είναι αυτοδιαχειριζόμενο, και εξασφαλίζεται συνήθως μέσω παράνομων γεωτρήσεων, ή παρέχεται από μικρούς συλλογικούς οργανισμούς. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει επεξεργασία για τα γεωργικά λύματα (Kirhensteine et al., 2016).

## 6. Μεθοδολογία τιμολόγησης και περιβαλλοντικό κόστος νερού

### Τιμολόγηση

Με τον όρο τιμολόγηση χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε επιχειρηματική διαδικασία καθορισμού της τιμής πώλησης ενός αγαθού ή της παροχής υπηρεσίας σε αντιδιαστολή με την διατίμηση που επιβάλλει ο κρατικός φορέας. Η τιμολόγηση σε γενικές γραμμές θα πρέπει να καλύπτει τόσο το μέσο κόστος παραγωγής όσο και το επιπλέον κέρδος του επιχειρηματία. Θεωρητικά, η τιμή προσδιορίζεται σε οριακά επίπεδα κόστους και εσόδων. Στην ελεύθερη αγορά ακολουθούνται διάφορες τεχνικές-στρατηγικές και επίσης σε όλες τις περιπτώσεις προτού πραγματοποιηθεί η τιμολόγηση γίνεται η κοστολόγηση, ενώ παράγωγο της τιμολόγησης που θα αναλυθεί στο τρέχων κεφάλαιο είναι το τιμολόγιο.

Μία κοινωνικά επιχείρηση υπηρεσιών νερού κατά την τιμολόγηση των υπηρεσιών θα πρέπει να λάβει υπόψη της ποιες δαπάνες πρέπει να καλύψει. Κάποιες από αυτές είναι τα έξοδα του προσωπικού, δαπάνες λειτουργίας, συντήρησης του δικτύου διανομής, απόσβεση πάγιων εγκαταστάσεων, δάνεια κτλ. Οφείλει δηλαδή να έχει έναν ισολογισμό που να παρέχει επαρκή κίνητρα στους χρήστες για την αποδοτική χρήση των υδατικών πόρων (Πελτέκης, 2019).

Αξίζει να σημειωθεί πως, η τιμολόγηση νερού ακολουθεί κάποια πρότυπα ώστε να μπορεί να καλύπτεται νομικά. Στην Ελλάδα για παράδειγμα, σημαντική αναφορά γίνεται στην Οδηγία 2000/60 και συγκεκριμένα στο άρθρο 9 για την ανάκτηση του κόστους για υπηρεσίες ύδατος και στο Παράρτημα III όπου γίνεται λόγος για οικονομική ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, προβλέπεται η τήρηση της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» και της ανάκτησης του κόστους υπηρεσιών ύδατος που λαμβάνει υπόψη της τον υπολογισμό της προσφοράς και την ζήτηση νερού (<https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/odigia-plaisio-gia-ta-nera/>). Από το άρθρο 9 της Οδηγίας Πλαίσιο για να υπάρξει μία αποτελεσματική πολιτική τιμολόγησης οι κεντρικοί πυλώνες είναι:

- Η ανάκτηση κόστους που αναφέρεται στο χρηματικό ποσό που θα πληρώσει ο καταναλωτής για τις υπηρεσίες νερού.
- Η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» που μέσω αυτής της αρχής καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο το κόστος πρέπει να κατανεμηθεί στους χρήστες.
- Η παροχή κινήτρων για αποτελεσματική χρήση η οποία εστιάζει στην επίδραση της τιμής του νερού συγκριτικά με την συμπεριφορά του χρήστη.

Δυστυχώς, υπάρχει κάποια ασάφεια ως προς τον ακριβή ορισμό της τιμολόγησης πλήρους κόστους. Στην παρούσα εργασία οι σχέσεις που θα αναφερθούν θα είναι μεταξύ του πλήρους κόστους προσφοράς, του πλήρους οικονομικού κόστους και του πλήρους κόστους. Επίσης, περιλαμβάνονται ορισμοί που δείχνουν τη σχέση μεταξύ της οικονομικής αξίας και της πλήρους αξίας. Εκτός από το κόστος και την αξία, η τρίτη παράμετρος που απαιτείται για την εφαρμογή της πολιτικής τιμών νερού είναι το τιμολόγιο ή αλλιώς η τιμή που θα χρεώνεται για την υπηρεσία νερού. Κατά την βιβλιογραφία η τιμολόγηση του νερού συχνά συγχέεται με το κόστος, την αξία και την τιμή. Για μια σαφή ανάλυση πολιτικής είναι σημαντικό να διατηρούνται οι τρεις αυτές έννοιες διακριτές (Rogers et al., 2001).

Η τιμολόγηση του νερού εστιάζει στην εκτίμηση του χρηματικού εκείνου ποσού σύμφωνα με το πολιτικό και κοινωνικό σύστημα για την εξασφάλιση της ανάκτησης του κόστους, και της βιωσιμότητας, καθώς και ενδεχόμενες επιχορηγήσεις ή επιδοτήσεις. Ένα τιμολόγιο μπορεί να λάβει πολλές διαφορετικές μορφές. Κάθε μορφή ή σχέδιο θα καλύπτει έναν συγκεκριμένο στόχο. Ο "καλύτερος" σχεδιασμός τιμολογίου για μια συγκεκριμένη κοινότητα και κατάσταση είναι εκείνος που επιτυγχάνει την πιο επιθυμητή ισορροπία μεταξύ των στόχων που είναι σημαντικοί για τη

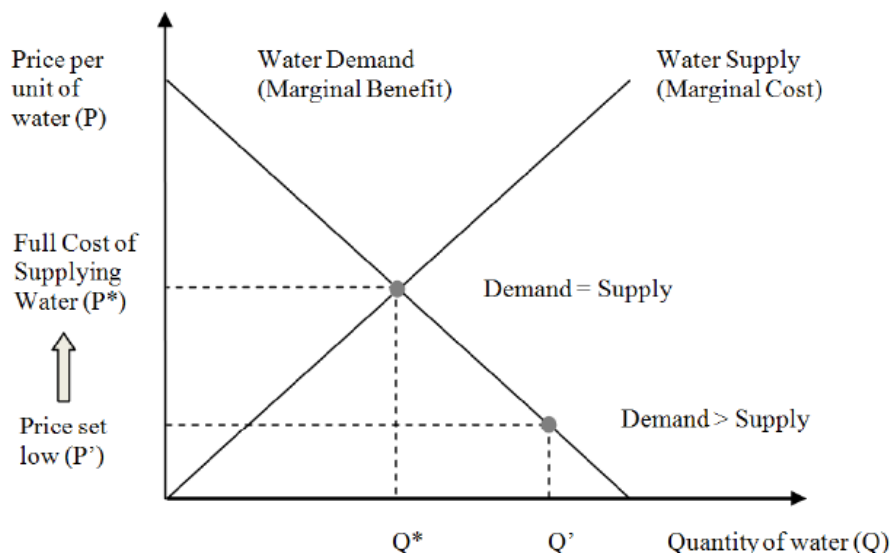
συγκεκριμένη κοινότητα. Οι καταναλωτές και οι προμηθευτές νερού έχουν διαφορετικές προσδοκίες από τα τιμολόγια νερού. Στους καταναλωτές προτιμάται νερό υψηλής ποιότητας σε προσιτή και σταθερή τιμή. Οι προμηθευτές επιθυμούν να καλύπτουν όλα τα έξοδα και να έχουν σταθερή βάση εσόδων. Το επίπεδο και η διάρθρωση των τελών για τις υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης έχουν συνέπειες πολύ πέρα από αυτές τις προσδοκίες.

Τα τέλη που σχετίζονται με το νερό αναμένεται να δημιουργήσουν τα έσοδα, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της προσφοράς και του προμηθευτή, τη διαχείριση της ζήτησης, την ανάπτυξη και τη βελτίωση της δημόσιας ευημερίας και της ισότητας. Κανένας σχεδιασμός τιμολογίου δεν μπορεί να ικανοποιήσει όλους τους στόχους. Το κλειδί για την άμβλυνση της κατάστασης είναι να προσδιορίσει η επιχείρηση ή η κοινότητα τους στόχους που είναι πιο σχετικοί με την εκάστοτε συνθήκη της. Πρακτικά μία προσέγγιση που να πληρούνται οι πιο βασικές προϋποθέσεις για την ορθή εφαρμογή της τιμολόγησης και την πραγματοποίηση διαφόρων τιμολογίων είναι η εξής:

- Το τιμολόγιο πρέπει να μεγιστοποιεί την αποτελεσματική κατανομή των πόρων.
- Οι χρήστες νερού θα πρέπει να θεωρούν το τιμολόγιο δίκαιο και οι τιμές πρέπει να είναι δίκαιες για όλες τις κατηγορίες πελατών.
- Πρέπει να αποφέρουν επαρκή έσοδα.
- Παροχή σταθερότητας καθαρών εσόδων.
- Κατανοητή διαδικασία καθορισμού συντελεστών για το κοινό.
- Προώθηση της διατήρησης των πόρων.
- Η διαδικασία καθορισμού των τιμολογίων θα πρέπει να αποφεύγει τους κλυδωνισμούς των τιμών.
- Εύκολη εφαρμογή.
- Οι τιμές πρέπει να είναι μελλοντικές.
- Να συμπεριλαμβάνεται το περιβαλλοντικό κόστος.
- Αποφυγή σύγκρουσης με άλλες κυβερνητικές πολιτικές.
- Διαφάνεια τιμών για τα χαρακτηριστικά της παροχής, όπως η ποιότητα του νερού, η αξιοπιστία της παροχής, η συχνότητα της παροχής.
- Ποικιλία στην δομή των τιμολογίων ανάλογα με τη μετρήσιμη κατανάλωση.
- Υπό εξελιγμένες δομές τιμών να λαμβάνονται υπόψη οι ημερήσιες αιχμές και οι εποχιακές διακυμάνσεις στην ζήτηση νερού.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι, η αξία χρήσης του νερού είναι ίση με το μέγιστο ποσό το οποίο οι διάφοροι χρήστες του είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν. Η επιθυμία αυτή για πληρωμή αντανakλά την προθυμία του συγκεκριμένου χρήστη να θυσιάσει ένα μέρος της κατανάλωσης άλλων αγαθών για μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού.

Με άλλα λόγια, οι καταναλωτές θα χρησιμοποιούν το νερό όσο το όφελος από ένα επιπλέον κυβικό μέτρο είναι μεγαλύτερο από το κόστος το οποίο καλούνται να πληρώσουν για την ποσότητα αυτή (το εμβαδόν του αριστερού τριγώνου που σχηματίζεται από την νοητή κατακόρυφη γραμμή  $x=Q^*$  δηλαδή όταν ισχύει ότι το  $\text{Benefit} > \text{Cost}$ ). Αντίστοιχα, σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.1 όταν το κόστος νερού είναι μεγαλύτερο από το όφελος τότε η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά, γεγονός που δεν είναι κερδοφόρο για μία επιχείρηση υδάτων καθώς υπάρχει πλεόνασμα. Επομένως, η αξία του νερού, προκύπτει στο σημείο ισορροπίας της αγοράς, όπου το οριακό κόστος μιας επιπλέον ποσότητας νερού είναι ίσο με το οριακό όφελος από τη χρήση της ποσότητας αυτής (σημείο  $Q^*$ ,  $P^*$  στο Διάγραμμα 6.1).

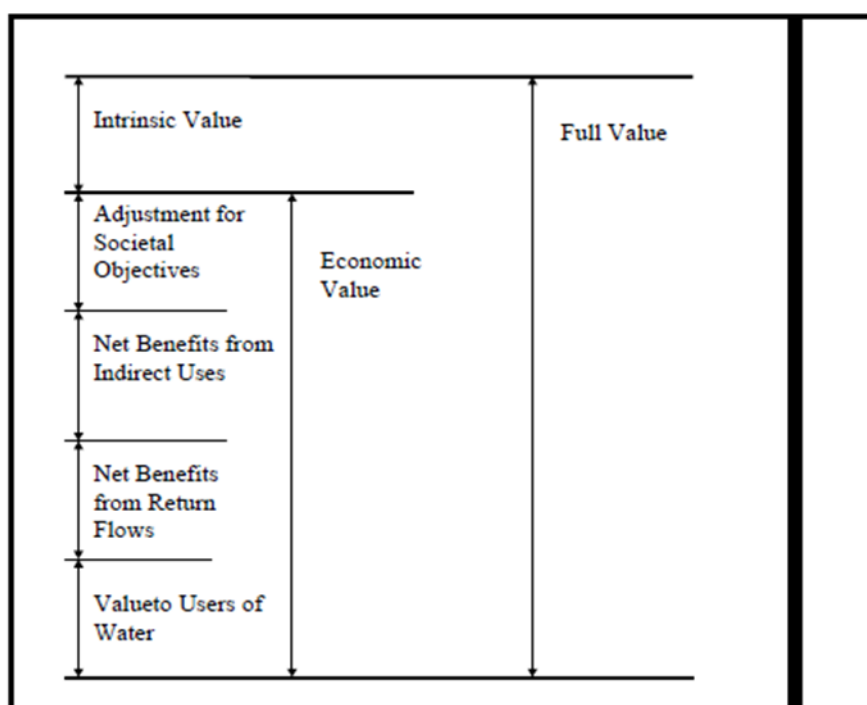


**Διάγραμμα 6.1** Οικονομικός μηχανισμός εξισορρόπησης για την ζήτηση και την προσφορά νερού (Wu, 2011).

### Κοστολόγηση υπηρεσιών νερού

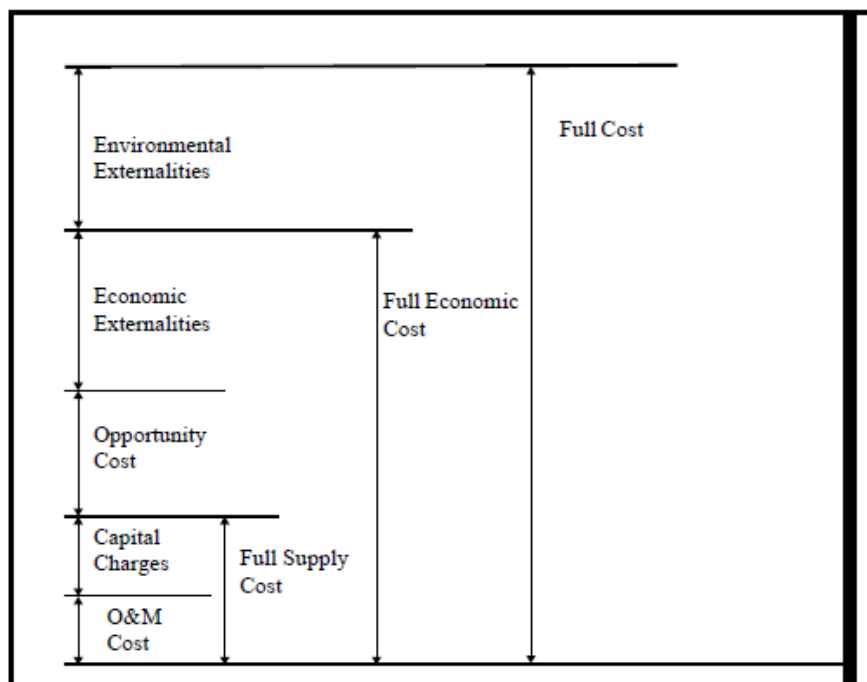
Η κοστολόγηση υπηρεσιών νερού περιλαμβάνει τον υπολογισμό του συνολικού κόστους για να παρέχεται το νερό και οι υπηρεσίες αποχέτευσης να ικανοποιούν τους τελικούς χρήστες. Το συνολικό κόστος στην περίπτωση αυτή αποτελείται από το κόστος κεφαλαίου, το λειτουργικό κόστος, το κόστος συντήρησης, το κόστος διοίκησης, το περιβαλλοντικό κόστος, το κόστος πόρου, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.

Όπως προαναφέρθηκε η κοστολόγηση αποτελεί το πρώτο στάδιο για την εκτίμηση της τιμής ενός αγαθού όπως το νερό που έχει και οικονομική υπόσταση. Η κοστολόγηση του νερού σύμφωνα με την πλήρη αξία περιλαμβάνει μία σειρά από διαφορετικά κόστη γεγονός που αναπαρίσταται στο Διάγραμμα 6.2 και στο Διάγραμμα 6.3 όπου διακρίνονται και μικρές διαφορές ανάμεσα στο κόστος και στην αξία του νερού.



**Διάγραμμα 6.2** Γενικές αρχές για την αξία του νερού (Rogers et al., 2001).



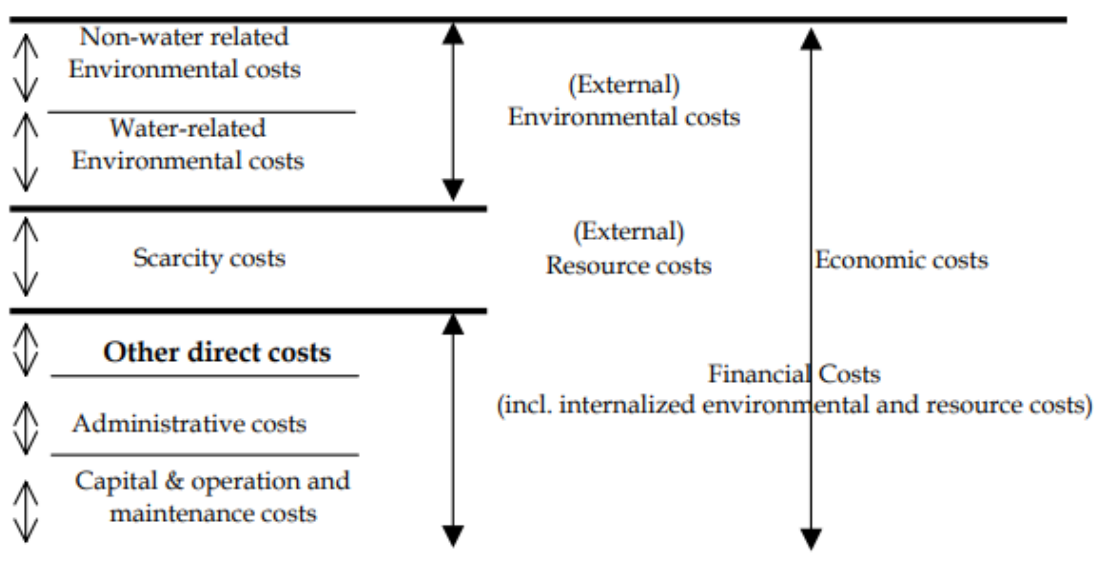


**Διάγραμμα 6.3** Γενικές αρχές για το κόστος του νερού (Rogers et al., 2001).

Με βάση το Διάγραμμα 6.3, το συνολικό κόστος αποτελείται από το οικονομικό κόστος και το περιβαλλοντικό κόστος. Το περιβαλλοντικό κόστος αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος της ζημιάς που προκαλείται στο περιβάλλον και στο οικοσύστημα από τις διάφορες χρήσεις νερού. Θα αναλυθεί πιο κάτω στην εργασία. Στην συνέχεια, το οικονομικό κόστος διαιρείται σε κόστος προσφοράς, σε κόστος ευκαιρίας και σε οικονομικές εξωτερικότητες. Το κόστος προσφοράς με την σειρά του αποτελείται από το κόστος κεφαλαίου και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Για να γίνει αντιληπτό το συνολικό κόστος του νερού, μία καλύτερη εκδοχή είναι αυτή στο Διάγραμμα 6.4 που ακολουθεί απεικονίζοντας τα κόστη στα οποία χωρίζεται το συνολικό κόστος. Το συνολικό κόστος χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- I. Το περιβαλλοντικό κόστος.
- II. Το κόστος των πόρων.
- III. Το χρηματοοικονομικό κόστος.



**Διάγραμμα 6.4** Είδη κόστους νερού (European Commission, 2003).

Με την βοήθεια λοιπόν του Διαγράμματος 6.4 θα αναλυθούν τα κόστη που λαμβάνονται υπόψη στο συνολικό κόστος. Πρωτίστως, το περιβαλλοντικό κόστος διχοτομείται σε κόστος που δεν συνδέεται με το νερό και σε κόστος που συνδέεται με το νερό δηλαδή (έμμεσο και άμεσο) αντίστοιχα. Το κόστος φυσικών πόρων σχετίζεται με την έλλειψη νερού δηλαδή την διαθεσιμότητα σε θέμα ποσότητας του νερού και το χρηματοοικονομικό κόστος το οποίο περιλαμβάνει τα κόστη λειτουργίας, συντήρησης, διοίκησης, κεφαλαίου και άλλου άμεσου κόστους. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι για την κοινωνία το συνολικό κόστος είναι ουσιαστικά το οικονομικό κόστος (Διάγραμμα 6.4) ενώ το αναφερόμενο ως οικονομικό κόστος πρακτικά αποτελεί το χρηματοοικονομικό κόστος.

### Χρηματοοικονομικό κόστος

Με μία πιο εσωτερική οπτική ως χρηματοοικονομικό κόστος ορίζεται οποιαδήποτε διαδικασία σύλληψης και διανομής νερού και αφορά τον κάθε χρήστη ξεχωριστά. Η κάθε διαδικασία έχει ορισμένες δαπάνες οι οποίες διακρίνονται σε (European Commission, 2003):

- Κόστος λειτουργίας (*operating cost*) δηλαδή η διαφορά των εσόδων και των εξόδων μίας υπηρεσίας παροχής νερού ώστε να είναι σε θέση να λειτουργεί π.χ. μισθοί προσωπικού, ενέργεια, επεξεργασία και διάθεση ιλύος, έξοδα υλικών κτλ.
- Κόστος συντήρησης (*maintenance cost*) δηλαδή το συνολικό κόστος για τη συντήρηση του υφιστάμενου και νέου μηχανικού εξοπλισμού υπηρεσιών παροχής νερού ώστε να είναι σε κατάσταση εξυπηρέτησης έως το πέρας ζωής τους.
- Κόστος διοίκησης (*administrative cost*) δηλαδή στο σύνολο των εξόδων ως προς την διαχείριση των υδατικών πόρων (κόστος παροχής, ελέγχου μέτρησης, κόστος έρευνας κτλ.)
- Κόστος κεφαλαίου (*capital charge*) το οποίο διαχωρίζεται σε κόστος νέων επενδύσεων π.χ. έξοδα προετοιμασίας, σε κόστος απόσβεσης περιουσιακών στοιχείων για μελλοντική αντικατάσταση και σε κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου δηλαδή η διαφορά μεταξύ των κερδών από την παρούσα κατάσταση κεφαλαίου και την αμέσως επόμενη εναλλακτική.
- Άλλο άμεσο κόστος (*other direct cost*) το οποίο αναφέρεται σε έξοδα που προέκυψαν από απώλειες της γεωργικής παραγωγής λόγω δέσμευσης της υδάτινης περιοχής.

Το χρηματοοικονομικό κόστος όπως τονίστηκε παραπάνω αφορά επενδύσεις, την λειτουργία και συντήρηση υποδομών και την απόσβεση κεφαλαίου. Ωστόσο, συνηθίζεται να εκτιμάται μέσω των ισολογισμών και των προϋπολογισμών υπηρεσιών νερού. Πιο αναλυτικά, γίνεται λόγος για το κόστος νέων επενδύσεων και των εξόδων που προκύπτουν καθώς μπορεί να υπολογιστεί μέσω του Ετήσιου Ισοδύναμου Κόστους και άλλων κοστών. Η μέθοδος αυτή μετατρέπει την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ – Net Present Value, NPV) μίας καινούργιας επένδυσης σε ένα ετήσιο ποσό ή ενοίκιο ίδιας αξίας. Για να μπορέσει να γίνει αυτό θα πρέπει να καταμετρηθούν ο χρόνος που έγιναν οι νέες επενδύσεις αλλά και το κόστος αυτών. Η ΚΠΑ με χρήση προεξοφλητικού επιτοκίου και η μετατροπή της στο Ετήσιο Ισοδύναμο Κόστος (Annual Equivalent Cost, AEC) το οποίο είναι ένα ενιαίο ετήσιο κόστος που έχει μια παρούσα αξία ίση με την παρούσα αξία του έργου (Metcalf and Eddy, 2003), γίνεται μέσω των παρακάτω τύπων:

$$AEC = \frac{NPV * i}{(1 - (1 + i)^{lifetime})}$$

Όπου,

- $NPV = \sum_{t=0}^n \frac{PV_n}{(1+i)^n}$  Καθαρή Παρούσα Αξία
- $i$  επιτόκιο
- $lifetime$  η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού

Το συνολικό κόστος και τα συνολικά οφέλη προκύπτουν κατά την διάρκεια ολοκλήρωσης έργου και πρέπει να προεξοφληθούν σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο επιτόκιο ώστε να υπολογιστεί η παρούσα αξία. Παρατηρείται ότι η αξία του ποσού που καταβάλλεται και λαμβάνεται αυτή την στιγμή που μιλάμε είναι διαφορετική από την αξία του ίδιου του ποσού στο μέλλον (προεξόφληση). Δηλαδή γίνεται λόγος για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας μελλοντικού ποσού και αντίστοιχα η μελλοντική αξία παρόντος ποσού. Αυτό σημαίνει ότι, θα μειωθεί η αξία των μελλοντικών ποσών και συγχρόνως θα αυξηθεί η αξία του παρόντος ποσού. Αυτή η συνθήκη υποδηλώνει ότι είναι προτιμότερη η άμεση είσπραξη μίας χρηματικής μονάδας παρά μίας μελλοντικής, γεγονός που δείχνει την διαχρονική αξία του χρήματος. Μια από τις μεθόδους αυτές που αναδεικνύουν την αξία του χρήματος είναι η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value Method) ή της Παρούσας Αξίας (Present Value Method). Αναλύοντας αυτή τη μέθοδο συμπεραίνεται ότι η παρούσα αξία ενός ποσού που καταβάλλεται μελλοντικά έχει ισοδύναμη αξία με το ποσό που θα μπορούσε να έχει εάν πληρωνόταν σήμερα υπό σταθερές τιμές. Σημαντικό κομμάτι που εξετάζεται είναι ο συντελεστή προεξόφλησης. Όταν πραγματοποιείται μία επένδυση που επηρεάζει το δημόσιο συμφέρον τότε το μελλοντικό κόστος και τα οφέλη προεξοφλούνται σε σημερινές τιμές για να μπορούν να συγκριθούν. Ουσιαστικά γίνεται φανερό πως με τον ρυθμό προεξόφλησης κρίνεται αν το έργο αξίζει να υλοποιηθεί ή όχι. Ο ρυθμός προεξόφλησης δεν έχει κάποιον κανόνα ώστε να προσδιορίζεται αλλά μπορεί να επηρεάσει το επενδυτικό επίπεδο της οικονομίας δηλαδή να διαμορφώσει μία πολιτική.

Στην πράξη ποικίλλει ανάλογα την χώρα καθώς γίνονται δοκιμές ώστε να χρησιμοποιηθεί όσο τον δυνατόν πιο ορθά για την δημιουργία ενός έργου. Δεν πρέπει να λησμονηθεί το γεγονός ότι η έννοια της προεξόφλησης έχει και μία κοινωνική πλευρά η οποία προκαλεί κάποια ερωτηματικά όσο αναφορά το κομμάτι των επιπτώσεων μακροπρόθεσμα και αναφέροντας κυρίως τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους. Γεννούνται δηλαδή ερωτηματικά για το πώς θα είναι η κατάσταση στο μέλλον και αν θα υπάρχουν αναστρέψιμες ή μη ζημιές καθώς επίσης και με πόση βεβαιότητα θα αποφευχθούν νοσηρές καταστάσεις. Αυτό οδήγησε τους οικονομολόγους να χρησιμοποιούν χαμηλούς ρυθμούς προεξόφλησης προκαλώντας μεγαλύτερη βαρύτητα στο μακροπρόθεσμο κόστος από ενδεχόμενες περιβαλλοντικές βλάβες (Καρβούνης και Γεωργακέλλος, 2003).

Επομένως, το χρηματοοικονομικό κόστος υπολογίζεται ως το άθροισμα των ετήσιων εξόδων δηλαδή :

$$T_{financial}C = OMC + AdmC + AEC + D_{depreciation}C$$

Όπου,

- $T_{financial}C$  συνολικό χρηματοοικονομικό κόστος νερού
- $OMC$  ετήσιο κόστος λειτουργίας και παρακολούθησης της επιχείρησης
- $AdmC$  κόστος διαχείρισης της επιχείρησης
- $AEC$  ετήσιο ισοδύναμο κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης
- $D_{depreciation}C$  κόστος απόσβεσης πάγιων περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης

Με βάση τους παραπάνω τύπου το χρηματοοικονομικό κόστος μπορεί να υπολογιστεί σχετικά εύκολα και λαμβάνεται υπόψη μόνο αυτό διότι ο υπολογισμός του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους των φυσικών πόρων είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Επίσης στο χρηματοοικονομικό κόστος δεν περιλαμβάνονται επενδύσεις που έγιναν στο παρελθόν στα αρδευτικά δίκτυα. Πρέπει να σημειωθεί πως το χρηματοοικονομικό κόστος χωρίζεται σε σταθερό και μεταβλητό. Το γεγονός αυτό επηρεάζει την μεθοδολογία τιμολόγησης καθώς το σταθερό κόστος δεν εξαρτάται από την

ποσότητα του νερού που καταναλώνεται και οφείλεται σε χρήση σταθερών συντελεστών παραγωγής. Το σταθερό χρηματοοικονομικό κόστος αποτελείται από το ενοίκιο, την αμοιβή της εργασίας του μόνιμου προσωπικού, τις επενδύσεις σε αρδευτικά συστήματα και τις ετήσιες δαπάνες όπως συντήρηση, τόκοι κτλ. Αντιθέτως το μεταβλητό κόστος αντιπροσωπεύει το σύνολο της αξίας των μεταβλητών συντελεστών που χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού. Δηλαδή έξοδα τρίτων, αμοιβές εποχιακού προσωπικού, τρέχουσες δαπάνες-φόροι-τέλη και τα έξοδα υπηρεσίας παροχής νερού ανάλογα με την ποσότητα που καταναλώνονται.

### **Κόστος Φυσικών Πόρων**

Με την σειρά του το κόστος των φυσικών πόρων αντιπροσωπεύει την απώλεια όφελους λόγω περιορισμού στην διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων σε βαθμό μεγαλύτερο του φυσικού ρυθμού. Σύμφωνα με την European Commission το 2003 ο όρος αυτός αντιπροσωπεύει το κόστος των διαφυγόντων ευκαιριών που υφίστανται άλλες χρήσεις λόγω της μείωσης του πόρου πέρα από το φυσικό ποσοστό της ανάκτησης ή αποκατάστασης του. Το συγκεκριμένο κόστος συνδέεται με την υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδάτων και αφορά τους μελλοντικούς και τωρινούς χρήστες. Το κόστος διαφυγόντων ευκαιριών πρέπει να υπολογίζεται στο χρηματικό κόστος αλλά είναι περίπλοκο κάτι τέτοιο. Βέβαια να αναφερθεί πως το κόστος των φυσικών πόρων έχει ποσοτικό χαρακτήρα και μπορεί να υπολογισθεί σε αντίθεση με το περιβαλλοντικό κόστος που αφορά περισσότερο ποιοτικά χαρακτηριστικά (European Commission, 2003). Η εκτίμηση του κόστους των πόρων απαιτεί την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου στην περιοχή μελέτης. Εάν υπάρχει έλλειμμα νερού (ή αναμένεται), τότε υπάρχει κόστος πόρων.

### **Περιβαλλοντικό Κόστος**

Ως γνωστόν η περιβαλλοντική ρύπανση επιδεινώνεται ολοένα και πιο πολύ με την ανάπτυξη της κοινωνίας και της οικονομίας, τα θέματα προστασίας του περιβάλλοντος έχουν λάβει μεγάλη προσοχή σε όλες τις χώρες. Αξίζει να σημειωθεί πως το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ (World Economic Forum – WEF) κατά την δημοσίευση το 2019 σχετικά με τους Παγκόσμιους Κινδύνους εκτίμησε τους δέκα κορυφαίους κινδύνους που επηρεάζουν την παγκόσμια ανάπτυξη την επόμενη δεκαετία και η «Κρίση του Νερού» κατείχε την τέταρτη θέση ως προς τον βαθμό των επιπτώσεων και την ένατη ως προς την πιθανότητα εμφάνισης. Κάτι τέτοιο προκαλεί μείωση των διαθέσιμων πόρων νερού αλλά και μη λειτουργικά συστήματα διαχείρισης νερού και ως εκ τούτου χρίζεται απαραίτητο να ενσωματωθούν περιβαλλοντικά και οικονομικά δεδομένα στην διαχείριση των υδατικών πόρων δηλαδή να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο λογιστικού συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Όσο αφορά την εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους στηρίζεται πρώτον στην ανάλυση των επιπτώσεων των χρηστών νερού στα οικοσυστήματα και δεύτερον στους υδατικούς πόρους. Υπάρχει μεγάλη δυσκολία για τον προσδιορισμό του περιβαλλοντικού κόστους στον κύκλο του νερού διότι πρέπει να γίνει γνωστό το κόστος που πηγάζει από τη ρύπανση λόγω γεωργίας, βιομηχανίας, διατήρησης και συντήρησης ταμιευτήρων, επιπτώσεων μεταφοράς νερού από υδατικά διαμερίσματα ή λεκάνες απορροής κτλ.

Για τον λόγο αυτό γίνεται μία προσπάθεια προσδιορισμού του με την βοήθεια της περιβαλλοντικής λογιστικής. Η περιβαλλοντική λογιστική είναι μία διαδικασία (λογιστικό ή στατιστικό σύστημα) καταγραφής, ανάλυσης και αναφοράς οικονομικών και οικολογικών επιπτώσεων για την αντιμετώπισης περιβαλλοντικών ζητημάτων. Σύμφωνα και με το Διάγραμμα 6.4 το περιβαλλοντικό κόστος αναφέρεται στο εσωτερικό και εξωτερικό κόστος των βημάτων που είναι απαραίτητα για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επιχειρήσεων, καθώς και σε άλλα κόστη που προκύπτουν για την επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων και κανονισμών.

Το εσωτερικό περιβαλλοντικό κόστος είναι οι δαπάνες που μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια σε νομισματικούς όρους και πρέπει να βαρύνουν τις επιχειρήσεις λόγω των επιπτώσεων των οικονομικών τους δραστηριοτήτων στο περιβάλλον. Από την άλλη πλευρά το εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος είναι εκείνο που δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια σε νομισματικούς όρους και να ληφθεί υπόψη από τις επιχειρήσεις. Το περιβαλλοντικό κόστος των υδατικών πόρων δεν περιορίζεται μόνο σε νομισματικά στοιχεία αλλά περιλαμβάνει χρήσιμες πληροφορίες καθώς μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους όπως μέσω των μονάδων όγκων νερού ή άλλων περιγραφικών τρόπων. Λόγο της πολυπλοκότητας υιοθετούνται διάφορων ειδών μέθοδοι αποτίμησης για την μέτρηση του περιβαλλοντικού κόστους (Wang and Huang, 2022).

Σε γενικές γραμμές οι τρόποι υπολογισμούς του περιβαλλοντικού κόστους χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις μεθόδους που αποκαλύπτουν προτίμηση ή βασίζονται στην αγορά και στις μεθόδους που εκμαιεύουν τη διάθεση των ατόμων για πληρωμή ή αποζημίωση για υποθετικές αλλαγές της ποιότητας του περιβάλλοντος. Κάποιες βασικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί από διάφορους ειδικούς αναφέρονται παρακάτω (Wang and Huang, 2022; Kampas et al., 2013):

- Μέθοδος Κόστους Ταξιδιού (Travel Cost Method, TCM): Η μέθοδος αυτή εστιάζει στο κόστος του ταξιδιού ή της πρόσβασης σε ένα χώρο αναψυχής. Η εκτίμηση της αξίας στηρίζεται στην κατασκευή μοντέλων σχετικά με τη ζήτηση για αναψυχή και γεννάται το ερώτημα πως βελτιώνει ή επιδεινώνει την ποιότητα του νερού ενισχύει ή μειώνει τις δυνατότητες αναψυχής. Με βάση την European Commission τα μοντέλα αυτά μετρούν το επίπεδο ικανοποίησης τον χρόνο και τα χρήματα συγκριτικά με την δραστηριότητα. Επίσης η μέθοδος αυτή διακρίνεται σε ανεξάρτητη μέθοδο κόστους ταξιδιού και σε μέθοδο κόστους ταξιδιού ανά ζώνη. Η διαφορά του είναι ότι στη δεύτερη περίπτωση μετράται η ζήτηση περιβαλλοντικών αγαθών με βάση τον αριθμό ετήσιων ταξιδιών κατά κεφαλή σε συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη.
- Μέθοδος Ενδεχόμενης Αποτίμησης: Η μέθοδος είναι επίσης γνωστή ως υποθετική προσέγγιση αγοράς. Είναι μια δημοφιλής μέθοδος για την αξιολόγηση της αξίας των δημόσιων αγαθών με άυλα οφέλη, όπως το περιβάλλον. Η μέθοδος μετρά τις αξίες των αγαθών ή των υπηρεσιών (ή την τιμή αποζημίωσης που είναι διατεθειμένοι να δεχτούν οι άνθρωποι) κυρίως εξετάζοντας απευθείας με μια έρευνα ερωτηματολογίου τις οικονομικές συμπεριφορές των ερωτηθέντων σε υποθετικές αγορές για να εξακριβωθεί η προθυμία των καταναλωτών να πληρώσουν.
- Μέθοδος Οικολογικής Αποζημίωσης: Η προσέγγιση αυτή εξισορροπεί τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορες συμπεριφορές ανάπτυξης. Ως οικολογική αποζημίωση αναφέρεται στην αποζημίωση για τις ζημιές σε οικολογικές λειτουργίες ή αξίες που προκαλούνται από τη μηχανική ανάπτυξη και κατασκευή μέσω της δημιουργίας, αποκατάστασης, βελτίωσης ή διατήρησης οικοτόπων για τη διασφάλιση της συνολικής οικολογικής ποιότητας και τη διατήρηση του αρχικού ή ακόμη υψηλότερου επιπέδου. Η αποζημίωση για το οικολογικό περιβάλλον αναφέρεται στη «μη καθαρή απώλεια» της «εκτάσεως πόρων» και στη «βιολογική λειτουργία» των οικολογικών πόρων. Επίσης πιθανόν να προκύψει περιβαλλοντικό κόστος κατά την ανάπτυξη και λειτουργία των υδατικών πόρων.

Για παράδειγμα όσον αφορά το περιβαλλοντικό κόστος της λεκάνης απορροής ενός ταμιευτήρα, διάφορες περιβαλλοντικές δαπάνες πραγματοποιήθηκαν κατά τη λειτουργία του ταμιευτήρα. Επιπλέον, πριν από τη λειτουργία του ταμιευτήρα, πραγματοποιήθηκαν δαπάνες λόγω περιβαλλοντικών ζημιών καθώς και δαπάνες για την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής βλάβης κατά τις περιόδους σχεδιασμού και κατασκευής. Οι περιβαλλοντικές δαπάνες κατά την περίοδο κατασκευής κεφαλαιοποιούνται και αποσβένονται ετησίως κατά την περίοδο λειτουργίας του ταμιευτήρα βάσει κανονισμών.

Επομένως, κατασκευάζεται μια εξίσωση για τον υπολογισμό του ετήσιου συνολικού περιβαλλοντικού κόστους των υδάτινων πόρων ως εξής:

$$WEC = \frac{BWE C}{50 + OWEC}$$

Όπου,

- **WEC** το περιβαλλοντικό κόστος των υδάτινων πόρων
- **BWEC** και το **OWEC** είναι το περιβαλλοντικό κόστος των υδάτινων πόρων κατά τις περιόδους κατασκευής και λειτουργίας αντίστοιχα

Το κόστος περιβάλλοντος αποτελείται από το κόστος εξάντλησης των φυσικών πόρων και το κόστος υποβάθμισης της ποιότητας του περιβάλλοντος. Ως εκ τούτου, οι υπολογισμοί του περιβαλλοντικού κόστους κατά τις περιόδους κατασκευής και λειτουργίας ορίζονται ως εξής:

**BWEC** = εξάντληση φυσικών πόρων κατά την κατασκευή  
+ υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος κατά την κατασκευή

**OWEC** = εξάντληση φυσικών πόρων κατά τη λειτουργία  
+ υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος κατά τη λειτουργία

Ωστόσο μία ακόμη μέθοδος που προτάθηκε από τους Ando and Khanna (2004) για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους για άρδευση στη γεωργία, εκτιμώντας τη ζημιά από την ρύπανση υπόγειου υδροφορέα. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε ο ακόλουθος τύπος:

$$EC = V_1 * AC * a$$

Όπου,

- **EC** περιβαλλοντικό κόστος
- **V<sub>1</sub>** ποσότητα νερού που έχει υποστεί ρύπανση
- **AC** μέσο κόστος της επιπλέον χρέωσης του πόσιμου νερού εξαιτίας των περιβαλλοντικών ζημιών
- **a** ενδεχόμενη συνεισφορά της αρδευόμενης γεωργίας στη ρύπανση των υπόγειων νερών

Για την μείωση λοιπόν του σφάλματος που ενδέχεται να υπάρχει σε αυτή τη μέθοδο λόγω της υπερεκτίμησης της ζημιάς που προέρχεται από την υπόθεση της χρήσης ολόκληρου του αποθέματος υπόγειου νερού για ύδρευση. Γίνεται φανερό πως οι περιβαλλοντικές ζημιές υπολογίζονται με βάση όλη την ποσότητα του νερού που έχει ρυπανθεί παρότι υπάρχουν περιπτώσεις που μόνο ένα τμήμα νερού αντλείται ανά έτος, επομένως για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα ο προηγούμενος τύπος μετατρέπεται σε:

$$EC = V_2 * \beta * TC * a$$

Όπου,

- **V<sub>2</sub>** όγκος υπόγειου νερού που αντλείται και χρήζει απορρύπανση
- **β** αναλογία της έκτασης της περιοχής που εξετάζεται σε σχέση με την λεκάνη που ανήκει
- **TC** μέσο κόστος απορρύπανσης νερού
- **a** ενδεχόμενη συνεισφορά της αρδευόμενης γεωργίας στη ρύπανση των υπόγειων νερών.



## Οικονομική ανάλυση και ανάλυση κόστους – ωφέλειας

Ένα χρήσιμο εργαλείο για να γίνει ανάκτηση του κόστους είναι η οικονομική ανάλυση η οποία χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το συνολικό νομισματικό κόστος και τα οφέλη όλων των πόρων που δεσμεύονται σε ένα έργο επαναχρησιμοποίησης. Η οικονομική ανάλυση έχει σχεδιαστεί για να προβλέπει και να αξιολογεί τις επιπτώσεις των εναλλακτικών πολιτικών μακροπρόθεσμα και σε όσους επηρεάζονται είτε άμεσα είτε έμμεσα. Οικονομικές αναλύσεις εκτελούνται έτσι ώστε να προσδιοριστεί εάν οι εναλλακτικές λύσεις έργων έχουν καθαρό χρηματικό όφελος και να ταξινομήσει τις εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με το σχετικό όφελος. Συγκεκριμένα, η οικονομική ανάλυση χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει το ερώτημα εάν ένα έργο επαναχρησιμοποίησης νερού είναι οικονομικά εφικτό (δηλαδή, εάν υπάρχει η προθυμία και η δυνατότητα πληρωμής της εργασίας). Ο στόχος μιας οικονομικής ανάλυσης είναι να προσδιορίσει την εναλλακτική λύση του έργου που θα επιτύχει το υψηλότερο καθαρό όφελος για το κοινό. Η παραδοσιακή προσέγγιση για την εκτέλεση μιας οικονομικής ανάλυσης για έργα πόρων είναι η εκτέλεση ανάλυσης οφέλους – κόστους. Η προσέγγιση οφέλους – κόστους προσαρμόζεται συνήθως όταν εφαρμόζεται σε θέματα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού. Λόγω δυσκολιών στον ποσοτικό προσδιορισμό των οφελών σε νομισματικούς όρους, γίνονται προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν αναλύσεις ελάχιστου κόστους, όπως η σχέση κόστους – αποτελεσματικότητας, η οποία θα εξηγηθεί παρακάτω.

Για έργα δημοσίου, όπως έργα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού, μια προσπάθεια θα πρέπει να γίνεται για να ποσοτικοποιούνται όλα τα κόστη και τα οφέλη που σχετίζονται με ένα έργο, όχι μόνο οι δαπάνες που θα υποστεί ο χορηγός του έργου. Η οικονομική ανάλυση περιλαμβάνει το κόστος και τα οφέλη για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και για τους πληρωτές, καθώς και όλες τις εξωτερικές επιδράσεις από άλλες προοπτικές, όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η οικονομική ανάλυση περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- I. Προσδιορισμός και εκτίμηση όλων των χρηματικών δαπανών και οφελών του έργου σε τιμές αγοράς.
- II. Κατανομή των δαπανών για σκοπούς του έργου εάν ένα έργο είναι έργο πολλαπλών σκοπών.
- III. Κατανομή του κόστους μεταξύ των συμμετεχόντων στο έργο.
- IV. Ανάπτυξη μηχανισμών χρηματοδότησης κεφαλαίων, όπως πωλήσεις ομολόγων ή δάνεια.
- V. Σχεδιασμός δομών συντελεστών, τελών, φόρων ή άλλων εσόδων για την αποπληρωμή του κόστους.
- VI. Προσδιορισμός δυσμενών οικονομικών επιπτώσεων σε μη συμμετέχοντες, όπως οι πόσιμοι χρήστες νερού.

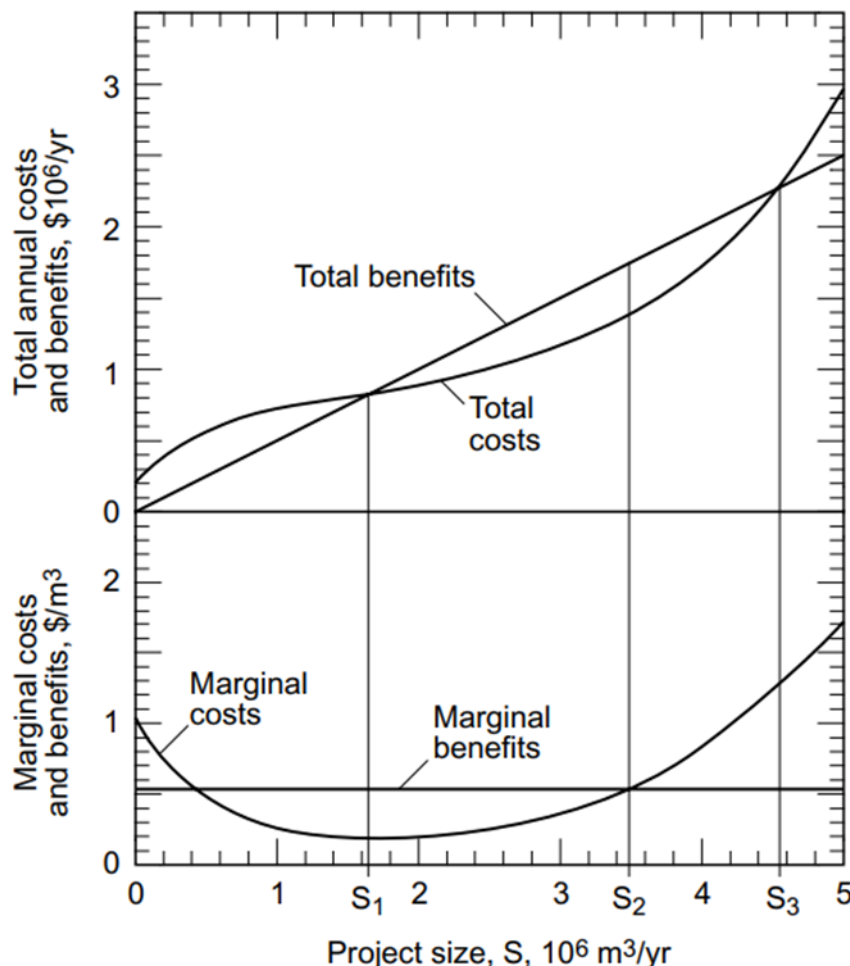
**Η ανάλυση κόστους – ωφέλειας (cost-benefit analysis)** είναι μία μεθοδολογία της οποίας η σημασία έχει αυξηθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια. Εμφανίζεται επι του πρακτέος είτε ως χρηματοοικονομική εκτίμηση από έναν επενδυτή προκειμένου να υπολογιστεί η απόδοση του κεφαλαίου που επενδύεται είτε ως ευρύτερη εκτίμηση λαμβάνοντας υπόψιν τα εξωτερικά κοινωνικά κόστη και οφέλη που δημιουργούνται από μία επιχειρηματική δραστηριότητα και είτε ως γενική εκτίμηση των επιπτώσεων που μπορεί να προκύψουν από τη συνολική λειτουργία μία οικονομίας.

Αναλύοντας λοιπόν τη διαδικασία αυτή διαπιστώνεται πως συγκρίνει εναλλακτικά πιθανά σχέδια επένδυσης ή δράσης σύμφωνα με τα καθαρά κοινωνικά οφέλη (net social benefits) τα οποία θα παραχθούν. Με τον όρο «καθαρά κοινωνικά οφέλη» αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ του κοινωνικού οφέλους και του κοινωνικού κόστους. Το αποτέλεσμα αυτής της αφαίρεσης μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό και θα πρέπει να εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες. Πολλές φορές όμως δεν μπορούν όλα τα κόστη να προσδιοριστούν για διάφορους λόγους αλλά θα πρέπει να καταγραφούν και να αναφερθούν ξεχωριστά ώστε να ληφθούν υπόψη από τους αρμόδιους. Η

μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως προτού υλοποιηθεί το σχέδιο ώστε να διερευνάται εάν το εξεταζόμενο σχέδιο θα είναι κερδοφόρο. Υπάρχει περίπτωση η μέθοδος να εφαρμοστεί και ετεροχρονισμένα, μετά δηλαδή από την πραγματοποίηση το σχεδίου όπου θα συγκριθεί το πόσο αναμενόμενα ήταν τελικά τα αποτελέσματα.

Στην περίπτωση που υπάρχουν ενδείξεις ότι οι τιμές της αγορά δεν αντανakλούν το κόστος ευκαιρίας των πόρων τότε πιθανών οι πόροι δεν χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά και χρειάζεται να γίνει αξιολόγηση διαφόρων καταστάσεων, μεγεθών και εναλλακτικών επιλογών. Επομένως, ένα έργο το οποίο έχει υψηλότερο λόγο ωφέλειας – κόστους έχει προτεραιότητα σε σχέση με ένα που έχει χαμηλότερο λόγο. Ουσιαστικά, οι οικονομικές αναλύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για τον εντοπισμό της εναλλακτικής λύσης με το μικρότερο κόστος σε μια ομάδα διακριτών εναλλακτικών λύσεων για την επίτευξη ενός στόχου έργου, αλλά και για τη βελτιστοποίηση ενός δεδομένου σε σχέση με το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά και όσο το δυνατόν με πιο αποδοτική χρήση των πόρων.

Η βελτιστοποίηση περιλαμβάνει τη χρήση της ανάλυσης οριακού κόστους. Το οριακό κόστος είναι το κόστος που σχετίζεται με την προσθήκη μιας συγκεκριμένης δυνατότητας έργου ή την προσθήκη μιας αύξησης μεγέθους στο έργο ή στοιχείου του έργου. Το Διάγραμμα 6.5 που ακολουθεί δείχνει τη χρήση του συνολικού ή μέσου κόστους και όφελους και το τι ισχύει με τα οριακά οφέλη και κόστη. Είναι οικονομικά αποδοτικό να προσθέσετε ή να αυξήσετε τη δυνατότητα του έργου το μέγεθος εάν το οριακό κόστος είναι μικρότερο από τη σχετική αύξηση των οφελών. Κάθε αύξηση της πρόσθετης ζήτησης που προστίθεται στο σύστημα ανακυκλωμένου νερού σχετίζεται με δυνητικό οριακό κόστος πρόσθετης επεξεργασίας λυμάτων, πρόσθετων αγωγών, πρόσθετη ημερήσια ή εποχιακή αποθήκευση και λειτουργικό κόστος επεξεργασίας και άντλησης.



**Διάγραμμα 6.5** Χρήση οριακών κόστη και οφέλη για το μέγεθος του έργου βελτιστοποίηση (Metcalf and Eddy, 2003).

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 6.5 χωρίζεται σε δύο σκέλη, το πάνω που αναφέρεται στο συνολικό ετήσιο κόστος και όφελος και στο κάτω μέρος όπου γίνεται λόγος για το ελάχιστο κόστος και όφελος. Και στις δύο περιπτώσεις τα μεγέθη αυτά εξετάζονται συναντήσει του μεγέθους  $S$  (μίας πρόσθετης υπηρεσίας ή εργασίας σε ένα έργο επαναχρησιμοποίησης). Όσο αφορά το κάτω μέρος του διαγράμματος από το διάστημα 0 έως  $S_1$  το οριακό κόστος μειώνεται καθώς μεγαλώνει το έργο. Ανάμεσα στο διάστημα  $S_1$  έως  $S_2$  οποιοδήποτε έργο θεωρείται δικαιολογημένο και τέλος από το σημείο  $S_2$  και μετά το οριακό κόστος αρχίζει να αυξάνεται διότι υπάρχει εκτεταμένη διανομή για προσέγγιση περισσότερων χρηστών που είναι πιο μακριά ή έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε νερό. Αρχίζει δηλαδή να γίνεται μη οικονομικό το έργο και επίσης ως βέλτιστο μέγεθος θεωρείται το  $S_2$ . Στην πάνω περίπτωση του διαγράμματος από το διάστημα  $S_1$  έως  $S_3$  διαπιστώνεται ότι το οριακό κόστος θεωρείται οικονομικά αποδεκτό διότι το συνολικό όφελος είναι μεγαλύτερο από το κόστος.

Ένα παράδειγμα, πότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ανάλυση οριακού κόστους είναι στο πλαίσιο της εξέτασης εάν θα αναβαθμιστεί από τη δευτεροβάθμια σε τριτοβάθμια επεξεργασία για την παροχή περισσότερου ανακτημένου νερού. Έστω ότι έχει εντοπιστεί μια συγκεκριμένη αγορά για ένα έργο που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει  $1,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$  ανακτημένου νερού ποιότητας δευτερογενούς επεξεργασίας. Λόγω των λιγότερων περιορισμών στη χρήση του ανακτημένου νερού τριτοβάθμιας επεξεργασίας, το δυναμικό αγορά για το ανακυκλωμένο νερό τριτοβάθμιας ποιότητας θα μπορούσε να είναι  $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Υπάρχει ένα βασικό κόστος για αυτό το έργο με χρήση δευτερογενών λυμάτων, που αποτελείται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διανομής.

Για την αναβάθμιση της επεξεργασίας σε τριτοβάθμια και για την αξιοποίηση του ανακτημένου νερού, θα πρέπει να υπάρχει:

- Οριακό κόστος του προστιθέμενου επιπέδου επεξεργασίας.
- Η επέκταση της χωρητικότητας της δευτερογενούς και τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την εξυπηρέτηση επιπλέον χρηστών.
- Η επέκταση του αγωγού σύστημα διανομής για να προσεγγίσει τους πρόσθετους χρήστες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν μόνο τριτοβάθμια επεξεργασία ανακτημένο νερό.

Εάν η βάση της αιτιολόγησης του έργου είναι το κόστος εναλλακτικών λύσεων παροχής νερού, τότε η αναβάθμιση σε τριτοβάθμια επεξεργασία θα δικαιολογείται εάν το οριακό κόστος ήταν μικρότερο από την παροχή  $0,5 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$  από ανάπτυξη νέων γλυκών υδάτων. Επίσης ένα άλλο συνηθισμένο παράδειγμα όπου θα πρέπει να εφαρμόζεται η ανάλυση οριακού κόστους είναι ο προσδιορισμός της γεωγραφικής έκτασης ενός συστήματος διανομής ανακυκλωμένου νερού. Για να φτάσει το ανακτημένο νερό στο καθένα νέος χρήστης υπάρχουν οριακά κόστη πρόσθετου αγωγού για τον χρήστη και διευρυμένη ικανότητα επεξεργασίας, εγκαταστάσεων άντλησης και αγωγών για την εξυπηρέτηση της πρόσθετης ζήτησης νερού (Metcalf and Eddy, 2003).

Πολλές φορές η **ανάλυση κόστους – ωφέλειας δεν είναι εφαρμόσιμη** επειδή δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί σε χρηματικές μονάδες ένα έργο. Την λύση σε αυτό το πρόβλημα την δίνει η **ανάλυση αποτελεσματικότητας – κόστους** όπου με βάση τα δεδομένα οφέλη που υπάρχουν η μέθοδος αυτή επικεντρώνεται στην αναζήτηση του πιο οικονομικού τρόπου επίτευξης του έργου. Στην πραγματικότητα εξετάζονται εναλλακτικές λύσεις οι οποίες θα φέρουν τον πλησιέστερο αν όχι το ιδανικό αποτέλεσμα και θα μπορέσει να επιτευχθεί ο στόχος του έργου. Επομένως, η ανάλυση κόστους – αποτελεσματικότητας χρησιμοποιείται για να καθορίσει ποια εναλλακτική λύση έργου θα έχει ως αποτέλεσμα το ελάχιστο συνολικό κόστος πόρων με την πάροδο του χρόνου για την επίτευξη των στόχων του έργου. Η προϋπόθεση είναι ότι το επίπεδο των πρωτογενών παροχών είναι το ίδιο για όλες τις υπό εξέταση εναλλακτικές ή ότι όλες οι εναλλακτικές πληρούν ένα ελάχιστο δηλωμένο επίπεδο παροχών. Η πιο οικονομική εναλλακτική λύση έργου είναι η εναλλακτική στην οποία η ανάλυση καθορίζει ότι έχει το χαμηλότερο καθαρό οικονομικό κόστος (παρούσα αξία ή ισοδύναμη ετήσια αξία) εκτός εάν το μη χρηματικό κόστος είναι υπερισχύον ενώ επιτυγχάνονται οι ελάχιστοι στόχοι του έργου. Ενώ μια ανάλυση κόστους – αποτελεσματικότητας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην οικονομική ανάλυση, τα άυλα κόστη και τα οφέλη (Metcalf and Eddy, 2003).

Με την αποτελεσματικότητα των δράσεων ή των έργων ως προς την επίτευξη τους δηλωμένους στόχους τους μετρώνται και τα οφέλη (James and Lee, 1971). Οι δύο πιο συνηθισμένοι στόχοι των έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού είναι η παραγωγή μιας χρήσιμης παροχής νερού και η μείωση της ρύπανσης στο περιβάλλον. Όλα τα κόστη που προκαλούνται από εναλλακτικές λύσεις έργων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην οικονομική ανάλυση. Δυστυχώς υπάρχει μια τάση να αγνοούνται τα κόστη που μπορεί να είναι απαραίτητα για την υλοποίηση του έργου αλλά όχι ευθύνη του φορέα που εκτελεί τη μελέτη σκοπιμότητας.

Για παράδειγμα, οι επιτόπιες δαπάνες μετατροπής, που ονομάζονται επίσης και έξοδα μετασκευής, είναι απαραίτητα για τους χρήστες που χρησιμοποιούν αυτήν τη στιγμή γλυκό νερό για τη μετατροπή της υποδομής σε ανακυκλωμένο νερό. Η εγκατάσταση διπλού οι υδραυλικές εγκαταστάσεις ή η προειδοποίηση ειδικής σήμανσης για ακατάλληλη χρήση του ανακτημένου νερού, είναι παραδείγματα. Ο υπεύθυνος του έργου ενδέχεται να μην σκοπεύει να πληρώσει για αυτά τα έξοδα.

Παρ' όλα αυτά, αποτελούν μέρος του έργου και θα πρέπει να υπολογιστούν στην οικονομική ανάλυση. Παρακάτω θα εξεταστούν και θα αναλυθούν οι μεθοδολογίες τιμολόγησης που εφαρμόζονται στην αγορά.

## Μέθοδοι Τιμολόγησης νερού ύδρευσης και άρδευσης

Θεωρείται ότι μια επαρκής τιμολογιακή δομή μπορεί να είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο για τη διατήρηση του νερού και την κοινωνική ισότητα. Οι Lopez-Nicolas et al. (2018) σχεδίασε και αξιολόγησε ένα αποτελεσματικό και δίκαιο δυναμικό τιμολόγιο για το αστικό νερό, λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική αξία του νερού όταν αυτό είναι σπάνιο, προωθώντας έτσι την αποδοτική χρήση του νερού με τον περιορισμό της κατανάλωσης. Οι Guerrini et al. (2018) επιβεβαίωσε ότι είναι ζωτικής σημασίας να επενδύονται σε δραστηριότητες εκπαίδευσης και επικοινωνίας πελατών με επίκεντρο συγκεκριμένες ηλικιακές ομάδες όταν προτείνονται αλλαγές τιμολογίων.

Εν ολίγοις, η θέσπιση τιμολογίων νερού επιδιώκει την επίτευξη πολλαπλών στόχων, μεταξύ των οποίων επισημαίνονται τα σημαντικότερα τα οποία είναι:

- I. Πλήρης ανάκτηση κόστους: Όλα τα συνολικά έσοδα που προέρχονται από τα τιμολόγια νερού καλύπτουν όλα τα έξοδα που προκύπτουν για την παροχή της υπηρεσίας νερού. Το κόστος νερού θα πρέπει να αντικατοπτρίζει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης καθώς και το κεφαλαιουχικό κόστος παροχής και διαχείρισης υπηρεσιών νερού, συμπεριλαμβανομένου της χρηματοδότησης. Όμως έχει αποδειχθεί ότι η ανάκτηση του κόστους ακόμη δεν έχει επιτευχθεί στην πράξη.
- II. Οικονομική Αποδοτικότητα: Οι υπηρεσίες νερού πρέπει να παρέχονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται το καθαρό όφελος για την κοινότητα δηλαδή να υπάρχει κοινωνική ευημερία στον μέγιστο βαθμό. Επίσης, η οικονομική αποδοτικότητα απαιτεί οι τιμές να αντικατοπτρίζουν το κόστος παραγωγής και παράδοσης νερού.
- III. Ισότητα: Προσέγγιση με δύο τρόπους. Πρώτος τρόπος, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι φορολογούμενοι πρέπει να πληρώνουν ανάλογα με τα οφέλη που λαμβάνουν από το δημόσιο. Δεύτερος, η ικανότητα πληρωμής αυτό θεωρεί είναι ότι όλοι οι φορολογούμενοι πρέπει να πληρώνουν ανάλογα με τους πόρους τους.
- IV. Απλότητα: Τα τιμολόγια νερού θα πρέπει να παρέχουν στους χρήστες κατανοητές πληροφορίες σχετικά με την υπηρεσία. Ακόμη, συνιστάται η αποφυγή περίπλοκων τιμολογιακών δομών, όπως η χρήση μεγάλου αριθμού διαφορετικών μπλοκ για ογκομετρικές χρεώσεις ή η ύπαρξη πάρα πολλών προσαρμογών.
- V. Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα: Συνδέεται με την προώθηση της αειφόρου χρήσης των φυσικών πόρων.

Σε γενικές γραμμές η τιμολόγηση υπηρεσιών νερού επιθυμεί να προσφέρει κάποια κίνητρα στους χρήστες για περισσότερη εξοικονόμηση και μείωση της ρύπανσης. Επομένως, διαπιστώνεται ότι η χρέωση των χρηστών νερού είναι σημαντική για τρεις λόγους:

- Απελευθερώνει πόρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς.
- Αυξάνει την αποτελεσματικότητα συνδέοντας τα έσοδα που συγκεντρώνονται για μια συγκεκριμένη υπηρεσία.
- Ενημερώνει για το πραγματικό κόστος της υπηρεσίας, το οποίο ενθαρρύνει την ορθολογική κατανάλωση.

## **Έργα επαναχρησιμοποίησης**

Στόχος όλων των έργων επαναχρησιμοποίησης είναι η μεγιστοποίηση των συνολικών οφελών (είναι η διαφορά μεταξύ των εισοδήματος και του κόστους). Αυτό δείχνει αν το έργο είναι εφικτό ή όχι. Δύο τύποι έργων επαναχρησιμοποίησης των υδάτων:

- I. Έργα επαναχρησιμοποίησης των υδάτων στα οποία το νερό δεν χρεώνεται.
- II. Έργα επαναχρησιμοποίησης υδάτων στα οποία το νερό είναι χρεώσιμο.

Έργα επαναχρησιμοποίησης νερού στα οποία το νερό δεν χρεώνεται:

- Πρόκειται για έργα δημοσίου συμφέροντος.
- Το αναγεννημένο νερό χρεώνεται με μηδενικό τιμολόγιο (για σκοπούς όπως η επαναφόρτιση των υδροφόρων οριζόντων, η συντήρηση ή η αποκατάσταση υδάτινων σωμάτων, το πότισμα δημόσιων κήπων κτλ.).
- Προκειμένου να δικαιολογηθεί η οικονομική σκοπιμότητα των εν λόγω έργων, η ανάλυση κόστους – οφέλους (ΑΚΟ) πρέπει να περιλαμβάνει όχι μόνο εσωτερικά αλλά και εξωτερικά οφέλη. Για παράδειγμα, (Seguí et al. 2009) ποσοτικοποίησαν την οικονομική αξία χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του κόστους ταξιδιού για την αποκατάσταση ενός υγροτόπου χρησιμοποιώντας αναγεννημένο νερό.

Έργα επαναχρησιμοποίησης νερού στα οποία το νερό είναι χρεώσιμο:

- Το αναγεννημένο νερό σε αυτά τα έργα παρέχεται σε ιδιώτες χρήστες.
- Οι κανονισμοί επιτρέπουν διαφορετικές χρήσεις νερού, όπως άρδευση γηπέδων γκολφ και βιομηχανική χρήση, αν και η γεωργική άρδευση είναι η πιο διαδεδομένη χρήση.

Η εφαρμογή μιας μεθόδου τιμολόγησης νερού διαφέρει από κράτος σε κράτος και ακόμη από περιοχή σε περιοχή στο κομμάτι της ύδρευσης αλλά και της άρδευσης. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα λογικό διότι σε κάθε περιοχή τα δεδομένα και οι συνθήκες που επικρατούν είναι διαφορετικά ως προς τους καταναλωτές, το είδος και την ζήτηση σε ποσότητες νερού. Σύμφωνα με τους οικονομολόγους δεν έχει οριστεί η πιο κατάλληλη πολιτική τιμολόγησης νερού γεγονός που δεν εξυπηρετεί τους αρμόδιους να πάρουν πολιτικές αποφάσεις. Ένα παράδειγμα το οποίο προτάθηκε από τον (Molino et al., 2013) για την ανάκτηση του κόστους και τη δημιουργία τιμολογίου του νερού είναι το γεγονός ότι πρέπει το τιμολόγιο να είναι ίσο με ή μεγαλύτερο από το κόστος που συνδέεται με τις διαδικασίες αυτές. Σύμφωνα και από στατική έρευνα, η τιμή πώλησης του ανακτημένου νερού (SPRW) πρέπει να είναι:

$$SPRW \geq \frac{(IC + OMC + FC + T)}{AVW}$$

Όπου,

- **SPRW** η τιμή πώλησης του αναγεννημένου νερού (\$/m<sup>3</sup>)
- **IC** η επένδυση (\$)
- **OMC** το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης (\$)
- **FC** το χρηματοοικονομικό κόστος (\$)
- **T** οι φόροι σε (\$)
- **AVW** ο ετήσιος όγκος ανακτημένου νερού (m<sup>3</sup>)

Όπως φαίνεται στην εξίσωση προηγουμένως, τα οικονομικά στοιχεία για την επίτευξη πλήρους ανάκτησης του κόστους στο νερό επαναχρησιμοποίησης είναι γνωστά. Ωστόσο, τα πραγματικά έργα επαναχρησιμοποίησης νερού σπάνια χρεώνουν πλήρως ανάκτηση του κόστους από τους χρήστες νερού, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτείται κάποιος βαθμός επιδότησης. Η χρήση αυτή δεν περιλαμβάνει συμπεριλαμβάνει καθόλου την έννοια του περιβαλλοντικού κόστους και γενικώς κάποιου είδους συντελεστή για την εκτίμηση των κοστών που δεν είναι εύκολα υπολογίσιμοι. Γι' αυτό με βάση την βιβλιογραφία παρακάτω θα αναφερθούν σημαντικές μέθοδοι τιμολόγησης.

Οι πιο γνωστές εφαρμόσιμες μέθοδοι τιμολόγησης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, η κάθε μία με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Γι' αυτόν τον λόγο για να αποφασιστεί ποια μέθοδος εξυπηρετεί την εκάστοτε περιοχή θα πρέπει να γίνει έλεγχος των συνθηκών και των εναλλακτικών



λύσεων που μπορούν να εφαρμοστούν (Tsur et al., 2004). Επομένως, οι μέθοδοι τιμολόγησης είναι:

- I. Ογκομετρική μέθοδος (Volumetric Pricing Method)
- II. Μη ογκομετρική μέθοδος (Non Volumetric Pricing Method)
- III. Μέθοδος βασισμένη στους νόμους της αγοράς

### Ογκομετρική μέθοδος

Με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται η τιμή του ανά μονάδα όγκου που παρέχεται στο σημείο όπου λαμβάνεται η μέτρηση. Για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να είναι γνωστός ο όγκος του νερού που χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης ή έστω ένα σύνολο χρηστών και επίσης πρέπει να υπάρχει μια υπηρεσία διαχείρισης νερού η οποία θα θέτει την τιμή διότι θα είναι εκείνη υπεύθυνη και θα συλλέγει τις αμοιβές του νερού (Bosworth et al., 2002). Κατά την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται υψηλά κόστη για την εγκατάσταση οργάνων μέτρησης και τις περιοδικές μετρήσεις κατανάλωσης και λειτουργίας κεντρικών υπηρεσιών διαχείρισης υδατικών πόρων. Ακόμη, προϋποθέτει συγκεκριμένες μεθόδους μεταφοράς νερού όπως ένα ολοκληρωμένο δίκτυο με σωλήνες υπό πίεση ώστε να είναι αποδοτικές. Η ογκομετρική μέθοδος εφαρμόζεται με πολλές παραλλαγές και παρακάτω αναφέρονται οι πιο συχνές περιπτώσεις :

- Φθίνον Κλιμακωτό Τιμολόγιο: Το τιμολόγιο αυτό είναι δομημένο έτσι ώστε η τιμή της μονάδας κάθε επόμενης διαδοχικής κλίμακας να χρεώνεται χαμηλότερα από τις προηγούμενες. Οι μεταβολές αυτές γίνονται με την βοήθεια κλίμακας ποσοτήτων κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα, κάθε τιμή αντιπροσωπεύει συγκεκριμένες ομάδες ποσοτήτων νερού. Ο τρόπος αυτός δεν ευνοεί την εξοικονόμηση του νερού παρόλα αυτά έχει σταθερές απολαβές στην επιχείρηση ύδρευσης που εφαρμόζεται.
- Αυξάνον Κλιμακωτό Τιμολόγιο: Αποτελεί το αντίθετο του φθίνον τιμολογίου. Δηλαδή, όσο αυξάνεται η κατανάλωση αυξάνεται και η τιμή. Ο κάθε καταναλωτής χρεώνεται με μία σχετικά χαμηλή τιμή για κατανάλωση έως μία συγκεκριμένη ποσότητα. Η ποσότητα αυτή καθορίζει το τέλος της πρώτης κλίμακας. Αν η ποσότητα που καταναλώθηκε είναι μεγαλύτερη τότε ο καταναλωτής χρεώνεται με μεγαλύτερη μοναδιαία τιμή μέχρι το τέλος της δεύτερης κλίμακας. Μία τέτοια εφαρμογή βοηθάει στην εξοικονόμηση αλλά είναι δύσκολή στο κομμάτι του καθορισμού της κλίμακας των τιμών.
- Σταθερή Τιμολόγηση: Αυτό το είδος τιμολόγησης όπως προδίδει και το όνομα σχετίζει τη χρέωση με τον όγκο κατανάλωσης αλλά επιβάλλει σε όλους τους χρήστες μία ενιαία τιμή. Το γεγονός αυτό φαίνεται πως δεν έχει ένα χαρακτήρα κοινωνικού δικαίου και διακρίνει την εκάστοτε χρήση που επιθυμεί να έχει ο πελάτης π.χ. ένα νοικοκυριό και ένας αγρότης δεν έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε ποσότητες νερού.
- Εποχιακά Τιμολόγια: Τα τιμολόγια αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις ζήτησης νερού που μεταβάλλονται από εποχή σε εποχή. Μια περίοδο αιχμής όπως είναι αυτή των θερινών μηνών η τιμή είναι μεγαλύτερη διότι η διαθεσιμότητα είναι περιορισμένη.
- Συνδυασμός με κάποιο πάγιο ή Διττό Τιμολόγιο (Two-PartTarif): Η κατηγορία αυτή τιμολογίου περιλαμβάνει ένα σταθερό και ένα μεταβλητό μέρος στην τιμή του νερού. Το σταθερό μέρος ποικίλλει αναλόγως με τα χαρακτηριστικά του χρήστη ενώ το μεταβλητό μέρος χρεώνει για κάθε μονάδα προϊόντος που καταναλώνεται. Το πρόβλημα που προκύπτει κατά την εφαρμογή αυτού του τύπου τιμολογίου είναι ο καθορισμός του πιο κερδοφόρου συνδυασμού της σταθερής χρέωσης και της πρόσθετης τιμής για κάθε μονάδα που αγοράζεται. Σε έργα επαναχρησιμοποίησης νερού το διττό τιμολόγιο χωρίζεται στο πάγιο τέλος (€/έτος) και στην ογκομετρική φόρτιση (€/m<sup>3</sup>). Το πάγιο τέλος περιλαμβάνει το κόστος επένδυσης δηλαδή δίκτυο διανομής και τριτοβάθμια επεξεργασία, το κόστος υποδομής και εξωτερικότητες που δεν σχετίζονται με τον όγκο. Από την άλλη η ογκομετρική φόρτιση συμπεριλαμβάνει τα κόστη λειτουργίας, συντήρησης, άντλησης και

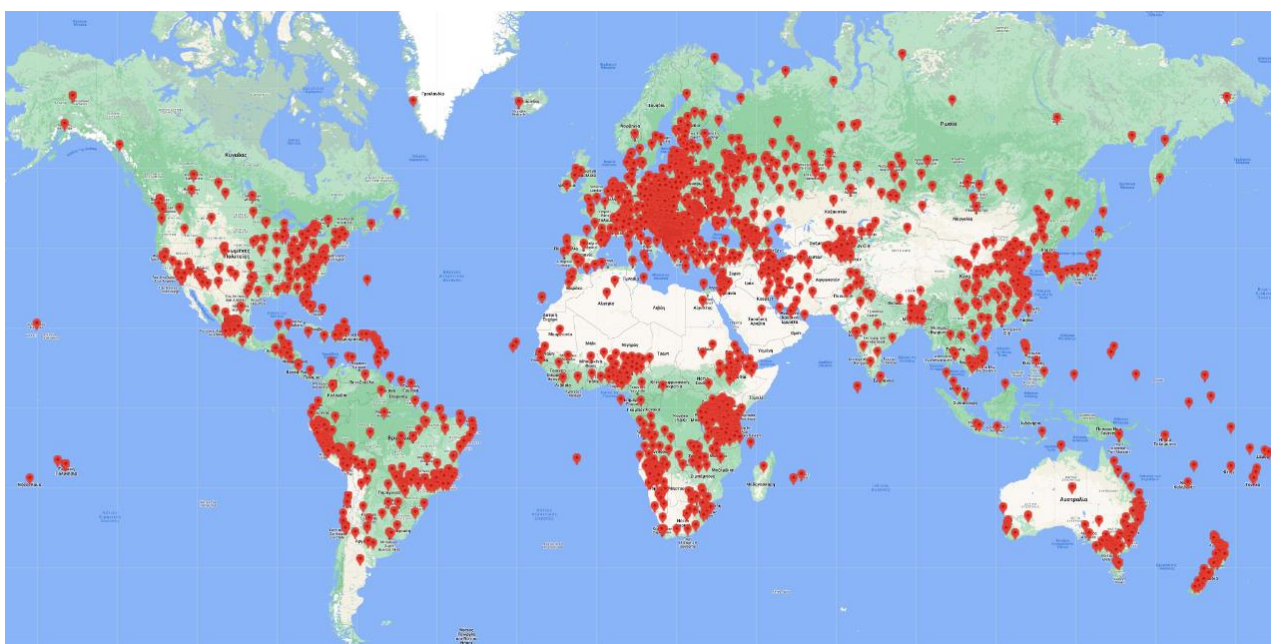
παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων καθώς και εξωτερικότητες που σχετίζονται με τον όγκο του ανακτημένου νερού. Να σημειωθεί επίσης ότι το συγκεκριμένο τιμολόγιο εφαρμόζεται συνήθως για αρδευτική χρήση.

- Τιμολόγηση με βάση τα οριακά κόστη (Marginal Cost Pricing): Αυτού του είδους τα τιμολόγια έχουν ως σκοπό μία πιο αποτελεσματική κατανομή των υδατικών πόρων καθώς με τη μέθοδο αυτή ο καταναλωτής θα είναι σε θέση να γνωρίζει άμα μπορεί να καταναλώσει επιπλέον μια μονάδα προϊόντος. Αυτό για να γίνει θα πρέπει το νερό να αντιμετωπίζεται μόνο σαν οικονομικό αγαθό αλλά αυτό δεν είναι εφικτό στην πράξη (Osmon et al., 2003).

Επιπλέον να αναφερθεί ότι στον αγροτικό τομέα δηλαδή για νερό άρδευσης όπου υπάρχουν πολλοί μικροκαλλιεργητές και το νερό διανέμεται σε ανοιχτά κανάλια, το κόστος εγκατάστασης συσκευών μέτρησης νερού και παρακολούθησης μεμονωμένων χρηστών είναι συχνά απαγορευτικά ακριβό. Ιδίως σε συστήματα σχεδιασμένα να παρέχουν ομοιόμορφα χρονοδιαγράμματα άρδευσης σε μεγάλες εκτάσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το νερό μπορεί να παραδοθεί σε ένα ενδιάμεσο σημείο, π.χ. οργανώσεις αγροτών. Πολλές φορές οι κρατικές υπηρεσίες και φορείς δεν είναι σε θέση να μετρήσουν ή να χρεώσουν ογκομετρικά μεμονωμένους αγρότες καθώς και η υπόθεση ότι οι οργανώσεις των αγροτών θα είναι καλύτερα εξοπλισμένες για να το κάνουν είναι αμφισβητήσιμη.

Ίσως υπάρχει περιθώριο συνδυασμού της ογκομετρικής χρέωσης (σε μια ομάδα χρηστών) και της χρέωσης βάσει περιοχής για τα μέλη αυτής της ομάδας. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι η ογκομετρική τιμολόγηση μπορεί να είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε συστήματα που λειτουργούν εκ περιτροπής παράδοση ή μέσω αναλογικής κατανομής για μεγάλο ποσοστό της αρδευόμενης έκτασης στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Όμως ενδέχεται να υπάρχει κάποιο περιθώριο για μετάβαση προς συστήματα τακτοποιημένης παράδοσης και ογκομετρικής παράδοσης σε συγκεντρωτικό επίπεδο.

Για μία καλύτερη αποτύπωση της ογκομετρικής μεθόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρονική πλατφόρμα <https://tariffs.ib-net.org/> η οποία αποτελεί μια παγκόσμια βάση δεδομένων για την αναζήτηση τιμολογίων ύδρευσης και αποχέτευσης. Περιλαμβάνει 222 χώρες, 2805 βοηθητικά προγράμματα (όνομα και πόλη) και 20703 τιμολόγια διεθνώς. Η ακόλουθη Εικόνα 6.1 απεικονίζει τις περιοχές που λαμβάνουν χώρα όλα τα τιμολόγια.



**Εικόνα 6.1** Χάρτης τιμολογίων παγκοσμίως μέσω της πλατφόρμας IBNet (<https://tariffs.ib-net.org/>).

Συγκεκριμένα δίνονται πληροφορίες για την περιοχή, την χώρα, την υπηρεσία (νερό, λύματα), την περίοδο (μηνιαία, τετράμηνο, ετησίως), τύπος τιμολογίου. Στο κομμάτι που γίνεται λόγος για τον τύπο τιμολογίου αναφέρονται συνολικά ότι μετρήθηκαν τα εξής τιμολόγια:

- Flat Rate (Κατ' αποκοπή ή γραμμικό επιτόκιο) = 831
- Jump Tariffs = 87
- Other = 170
- Volumetric (Ογκομετρικό) = 19615

Επίσης, παρουσιάζονται σε διαγράμματα και σε πίνακα οι τιμές και όλες οι χρεώσεις που συμπεριλαμβάνονται για τα 15 m<sup>3</sup> τα 50 m<sup>3</sup> και τα 100 m<sup>3</sup>. Συνήθως το τιμολόγιο της ογκομετρικής μεθόδους είναι για μετρήσεις νερού είτε λυμάτων και αποτελείται από μία σταθερή χρέωση, μία μεταβλητή, άλλα έξοδα και το VAT (ΦΠΑ) και την ημερομηνία αναφοράς τιμολογίου. Ο λόγος που μετράτε σε 15 m<sup>3</sup> και σε 100 m<sup>3</sup> είναι το γεγονός ότι τα 15 m<sup>3</sup> αντιπροσωπεύουν ένα νοικοκυριό τεσσάρων ατόμων με την υπόθεση ότι το άτομο καταναλώνει 125 L/day \* 4 άτομα \* 30 days/month. Άρα αυτό το γινόμενο υπολογίζεται στα 15.000 L/month τα 4 άτομα, δηλαδή 15 m<sup>3</sup>/month. Από την άλλη τα 100 m<sup>3</sup> αντιπροσωπεύουν τον όγκο μία δεξαμενής νερού για την παροχή νερού σε νοικοκυριά.

### Μη Ογκομετρική μέθοδος

Όταν δεν εφαρμόζεται η ογκομετρική μέθοδος λόγω κόστους χρησιμοποιούνται οι μη ογκομετρικές μέθοδοι οι οποίες τιμολογούν το νερό άρδευσης βάσει της ποσότητας του παραγόμενου προϊόντος, της χρήσης συντελεστών παραγωγής και την έκταση της αρδευόμενης περιοχής. Συγκεκριμένα αναφέρονται οι εξής περιπτώσεις :

- Τιμολόγηση με βάση συντελεστές παραγωγής (Input Pricing): Πρόκειται για μία μέθοδος όπου βασικό ρόλο παίζει κάποιος συντελεστής παραγωγής που σχετίζεται με το νερό π.χ. χρησιμοποιούμενο λίπασμα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της είναι η επίδραση με εξωτερικούς παράγοντες που δεν έχουν σχέση με το νερό. Για παράδειγμα, δύο αγρότες που λόγω διαφορετικής ποιότητας χωραφιών ή διαφορετικής καλλιέργειας αγοράζουν διαφορετικές ποσότητες λιπάσματος και παρότι μπορεί να χρησιμοποιούν την ίδια ποσότητα νερού θα πληρώσουν διαφορετικά ποσά ή η περίπτωση ενός αγρότη που αγοράζει μια δεδομένη ποσότητα λιπάσματος αλλά τελικά δεν τη χρησιμοποιεί όλη (επειδή μπορεί να καλλιεργεί τελικά μικρότερη έκταση) και βρίσκεται στη θέση να έχει πληρώσει κάτι παραπάνω από αυτό που θα όφειλε.
- Τιμολόγηση βάση αρδευόμενη έκταση ή στρεμματική τιμολόγηση (Per-Area Pricing): Στην μέθοδο αυτή το νερό πληρώνεται με βάση την καλλιεργούμενη έκταση που αρδεύεται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το είδος της καλλιέργειας ή το ποσό του νερού που απαιτείται για άρδευση. Θεωρείται πως η τιμολόγηση με βάση την αρδευόμενη έκταση δεν γίνεται κίνητρο εξοικονόμησης νερού και η κατανάλωση νερού αυξάνεται σε σχέση και με την ογκομετρική μέθοδο. Επίσης είναι κατάλληλη για περιπτώσεις στις οποίες δεν υπάρχει ποικιλία καλλιεργειών οπότε οι ανάγκες σε νερό είναι ανάλογες των εκτάσεων (Easter and Liu, 2005).

Άλλες μη ογκομετρικές μέθοδοι που περιγράφονται στη βιβλιογραφία είναι: η τιμολόγηση παραγωγής, όπου το τέλος νερού επιβάλλεται σε κάθε μονάδα παραγωγής που παράγεται από τον χρήστη και την τιμολόγηση των εισροών, όπου ένας αγρότης πληρώνει για το νερό άρδευσης έμμεσα μέσω υψηλότερων τιμών για εισροές που αγοράζονται από την κυβέρνηση ή την υπηρεσία ύδρευσης. Τόσο η τιμολόγηση εισροών όσο και εκροών αποφεύγουν την ανάγκη μέτρησης του όγκου του νερού που εκτρέπεται ή καταναλώνεται.

Ωστόσο, κανένα μέτρο δεν ευνοείται από τους οικονομολόγους λόγω των επιπτώσεων στρέβλωσης στην τιμή των καλλιεργειών. Αυτή η ανασκόπηση δεν βρήκε στοιχεία για την εφαρμογή αυτών των δύο μεθόδων στην πράξη.

Στην περίπτωση όπου η παροχή νερού είναι σχετικά σταθερή η χρέωση για τον χρόνο παράδοσης γίνεται με έναν τρόπο ογκομετρικής φόρτισης. Αυτή η μέθοδος παρακολουθείται πιο εύκολα και εφαρμόζεται σε πολλά συστήματα άρδευσης μικρής κλίμακας που διαχειρίζονται οι αγρότες. Η πληρωμή γίνεται συνήθως σε είδος και όχι σε μετρητά, και ο κύριος στόχος είναι να διασφαλιστεί η δίκαιη διανομή παρά η αποτελεσματική κατανομή ενός σπάνιου πόρου.

Ακόμη οι άδειες άντλησης μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα υποκατάστατο ογκομετρικής μέτρησης για άντληση υπόγειων υδάτων ή μπορεί να εξαρτώνται από ογκομετρικές μετρήσεις. Κάτι τέτοιο είναι πιο συνηθισμένο σε ανεπτυγμένες χώρες όπου οι μεμονωμένες γεωργικές εκμεταλλεύσεις είναι μεγαλύτερες. Οι γεωργοί καλύπτουν όλα τα έξοδα κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης των αντλιών ή άλλης υποδομής και επιπλέον πληρώνουν ένα ετήσιο τέλος άδειας για την άντληση, είτε ένα κατ' αποκοπή ετήσιο τιμολόγιο με βάση τη χωρητικότητα της αντλίας είτε ένα τιμολόγιο δύο μερών (Easter and Liu, 2005).

### **Μέθοδος βασισμένη στους νόμους της αγοράς**

Στην κατηγορία αυτή ο κανόνας που εφαρμόζεται είναι η πώληση ενός αγαθού όπως το νερό σε όσους χρήστες ενδιαφέρονται με ένα αντίτιμο. Αυτό εξαρτάται από τι επικρατεί στην αγορά σε θέματα ζήτησης και προσφοράς για το συγκεκριμένο προϊόν. Η εφαρμογή της γίνεται είτε όταν σε μια περιοχή υπάρχει έλλειψη νερού είτε όταν οι κυβερνήσεις δεν μπορούν να ανταποκριθούν στην αυξανόμενη ζήτηση νερού και μετατρέπονται από το ρόλο του παρόχου του νερού σε ρυθμιστής του. Οι αγορές νερού μπορούν να λειτουργούν επίσημα ή ανεπίσημα. Η μέθοδος αυτή είναι ευέλικτη ως προς την κατανομή του νερού σύμφωνα με την πραγματική του αξία γεγονός που οδηγεί σε πιο αποτελεσματική κατανομή και λιγότερη σπατάλη νερού. Επίσης, μπορεί να μην είναι κατάλληλη για όλες τις περιπτώσεις και αυτό έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά παραγωγής και διάθεσης του νερού όπως για παράδειγμα σημαντικές εξωτερικές επιδράσεις, ελλιπής πληροφόρηση, μεγάλο σταθερό κόστος επένδυσης κ.λπ. (Tsur et al., 2004).

## 7. Τιμολογιακή πολιτική ανακτημένου νερού προς επαναχρησιμοποίηση σε διάφορες χώρες-περιοχές του κόσμου

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν περιπτώσεις τιμολογιακής πολιτικής σε διάφορες περιοχές που έχουν ενδιαφέρον σχετικά με την διαχείριση των υδάτων τους, την διαθεσιμότητα του νερού, τα προβλήματα έλλειψης νερού και γενικώς πως ή που εστιάζουν στην πολιτική τους αναλόγως τη χρήση και τις ανάγκες τους. Προφανώς μια τιμολογιακή πολιτική δεν αποτελείται και δεν εστιάζει ολοκληρωτικά στην τιμή αυτή καθώς εμπλέκονται και κοινωνικοί, πολιτικοί, νομοθετικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα παρακάτω θα αναφερθούν πολιτικές τιμολόγησης από διάφορες περιοχές του κόσμου από τις οποίες κάποιες ακολουθούν το ίδιο μοτίβο “ως μεθοδολογία” με βάση όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που εφαρμόζουν δικές του πολιτικές προσαρμοσμένες στα δεδομένα τους.

### Αρδευόμενη έκταση στη επαρχία Sindh του Πακιστάν

Πρωτίστως πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη περιοχή απαιτεί πολύ προσπάθεια και χρόνο για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά διότι είναι η επαρχία αυτή είναι η τρίτη μεγαλύτερη επαρχία του Πακιστάν σε χερσαία έκταση και η δεύτερη μεγαλύτερη επαρχία σε πληθυσμό. Το νερό εξαφανίζεται από τα κανάλια που χρησιμοποιούνται στη Sindh για άρδευση. Το μερίδιο του νερού που διατίθεται για τη γεωργία έχει πλέον μειωθεί κατά 47% και χειροτερεύει μέρα με τη μέρα. Έρευνα που δημοσιεύθηκε πρόσφατα από το Ινστιτούτο Ανάπτυξης Οικονομικών του Πακιστάν επιβεβαίωσε ότι τα αίτια της λειψυδρίας της χώρας σχετίζονται με την ταχεία αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με αυξανόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, που επιδεινώνει τις πλημμύρες και τις ξηρασίες. Σύμφωνα με το μελέτη, η λειψυδρία οφείλεται επίσης στην κακή διαχείριση του νερού στον αγροτικό τομέα, στις παλιές ή αναποτελεσματικές υποδομές και στα εκτεταμένα προβλήματα ρύπανσης των υδάτων.

Παρόλα αυτά για την τιμολόγηση του αρδευτικού νερού η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι μη ογκομετρική και στηρίζεται σε δύο παραμέτρους. Δηλαδή η χρέωση του νερού άρδευσης βασίζεται στην καλλιεργούμενη έκταση και τις καλλιέργειες που καλλιεργούνται. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται μετά από κάθε καλλιεργητική περίοδο, θεωρητικά με βάση τις μετρήσεις στο χωράφι. Οι αγροτικές εκτάσεις προσδιορίζονται, με βάση τους χάρτες της περιοχής, οι οποίοι συχνά είναι μη βοηθητικοί διότι δεν έχουν ανανεωθεί. Στη συνέχεια, κάθε αγρόκτημα χωρίζεται σε αγροτεμάχια καλλιεργούμενων στρεμμάτων και η αξιολόγηση κάθε αγροτεμαχίου πραγματοποιείται με την εφαρμογή του συντελεστή για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, οι υπάλληλοι χρησιμοποιώντας τις δεξιότητες και την εμπειρία τους, αλλά και την κρίση τους για να προσδιορίσουν εάν ένα επιλεγμένο στρέμμα έχει την μέγιστη απόδοση παράγοντας στο 100% ή κάποιο ποσοστό. Αυτός ο αριθμός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τελών νερού. Ωστόσο, η μέθοδος εύκολα μπορεί να δεχτεί κάποιου είδους αλλαγές και έτσι να οδηγεί σε υποεκτίμηση. Υπάρχουν εννέα βασικές χρεώσεις οι οποίες δυστυχώς δεν αναφέρονται αναλυτικά, συμπεριλαμβανομένων όμως των καλλιεργειών *χαρίφ* και *ράμπι* (φθινοπωρινή και εαρινή συγκομιδή καλλιεργειών αντίστοιχα).

Για αρκετά χρόνια, η αξιολόγηση της κατάστασης στην άρδευση από το Τμήμα Εσόδων ελεγχόταν διπλά σε σχέση με το Τμήμα Άρδευσης. Οι αξιολογήσεις γενικά βρέθηκαν να είναι έως και 50% υψηλότερες από αυτές του Τμήματος Εσόδων. Σημαντική είναι η δυσαρέσκεια μεταξύ των αγροτών σχετικά με την εκτίμηση του τέλους νερού από το προσωπικό των εσόδων, γεγονός που τους δεν τους κάνει πολύ πρόθυμους να πληρώσουν. Παρατηρείται πως υπάρχει αυθαίρετη εκτίμηση της καλλιεργούμενης έκτασης και δημιουργείται μια κοινή αρνητική γνώμη, καθώς το προσωπικό αναγκάζεται να έχει επιείκεια προς τους μεγάλους ιδιοκτήτες γης που προσπαθούν να επιτύχουν τους στόχους υπερχρεώνοντας τους μικρότερους γαιοκτήμονες προς όφελός τους. Στο

Πακιστάν, το νερό είναι λιγοστό και ο υφιστάμενος νομικός, διοικητικός σχεδιασμός και ο σχεδιασμός του συστήματος είναι ο ίδιος όπως στη Χαριάνα (επαρχία Ινδίας). Ωστόσο, οι επιδόσεις όσον αφορά την ανάκτηση του κόστους και την κατανομή του νερού σε επίπεδο εκμετάλλευσης είναι πολύ κατώτερες. Τα τέλη νερού είναι χαμηλότερα και τα ποσοστά συλλογής φτωχά. Το φυσικό σύστημα δεν έχει διατηρηθεί καλά γεγονός που οδηγεί σε άνιση κατανομή και δεύτερον έχει παραβιαστεί. Έτσι, ο σχεδιασμός, που αποσκοπεί στη διασφάλιση της αυτόματης διανομής των κατάλληλων ποσοτήτων νερού σε κάθε περιοχή αστοχεί. Εξίσου σημαντική ανισότητα εντοπίζεται στο ζήτημα της λειψυδρίας όπου παρέχεται νερό σύμφωνα με την παροχή της διαθέσιμης προσφοράς. Αυτό σημαίνει ότι όσοι έχουν καλύτερη πρόσβαση στο νερό παίρνουν όσο θέλουν, ενώ όσοι έχουν φτωχότερη πρόσβαση έχουν ό,τι μπορεί να απομένει (Cornish, et al., 2004).

### **Κατανομή νερού και αύξηση των τιμολογίων μπλοκ στο Ισραήλ**

Το Ισραήλ αντιμετωπίζει σοβαρή λειψυδρία, αλλά η χρέωση νερού δεν χρησιμοποιείται ως το κύριο εργαλείο για τη μείωση της ζήτησης στον αγροτικό τομέα. Η κατάσταση στο παρελθόν στο πλαίσιο των δήμων του Ισραήλ λόγω της αναποτελεσματικότητας της διαχείρισης των υδάτων από τους δήμους προέκυψε νέος νόμος που επέβαλε να ιδρύουνε εταιρείες ύδρευσης με κλειστή αγορά νερού και λυμάτων. Ο Νόμος του 1959 για τα ύδατα κρατικοποίησε σχεδόν όλες τις πηγές νερού και ίδρυσε την Υπηρεσία της Επιτροπής Υδάτων για να επιβλέπει την ανάπτυξη και τη διαχείριση των πηγών νερού και την κατανομή των υδάτινων πόρων σε διαφορετικούς χρήστες. Ο δήμος χρησιμοποίησε τα χρήματα για να άλλες ανάγκες του και προκάλεσε χαμηλές επενδύσεις στις υποδομές ύδρευσης και αποχέτευσης. Επίσης ο δήμος δεν εφάρμοζε ένα ρεαλιστικό τιμολόγιο νερού το τιμολόγιο του Mekorot είναι πολύ χαμηλότερο από το τιμολόγιο πώλησης στον καταναλωτή.

Από το 2010 και μετά το τιμολόγιο αντικατοπτρίζει το πραγματικό κόστος της υπηρεσίας εφοδιασμού και γίνεται χρήση των εσόδων από τα τιμολόγια για ανάπτυξη και συντήρηση των υποδομών στις υπηρεσίες ύδρευσης. Ακόμη, πραγματοποιούνται επενδύσεις στο σύστημα ύδρευσης και στο σύστημα συλλογής λυμάτων καθώς και αναβαθμίζονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Τέλος, γίνεται πρόβλεψη για ίδρυση περιφερειακών εταιριών ύδρευσης, συλλογής λυμάτων και επεξεργασίας. Να σημειωθεί ότι σε περιόδους καλής κατάστασης των υδάτων το τέλος άντλησης είναι χαμηλό και σε περιόδους μεγάλης έλλειψης η Αρχή Υδάτων το αυξάνει. Υπάρχει αλλαγή από περιοχή σε περιοχή ανάλογα της κατάσταση που είναι τα ύδατα και επίσης η Αρχή των Υδάτων επιτρέπει στον προμηθευτή να χρεώνει το τέλος από τον καταναλωτή εκτός αν περιλαμβάνεται ήδη στο τιμολόγιο (Aharoni, 2010).

Ιστορικά δόθηκε προτεραιότητα στον αγροτικό τομέα. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, το Υπουργείο Οικονομικών επιδίωξε να αυξήσει τα τέλη νερού που πληρώνουν οι αγρότες. Ωστόσο, ο αγροτικός τομέας αρνήθηκε να δεχτεί αυξημένες τιμές, πιέζοντας αντ' αυτού για την ανάπτυξη πρόσθετων πηγών νερού, συμπεριλαμβανομένης της αφαλάτωσης. Προς το παρόν, οι αγρότες λαμβάνουν κατανομή νερού για την οποία χρεώνονται με αυξανόμενο τιμολόγιο μπλοκ ανάλογα με το ποσοστό της κατανομής που χρησιμοποιείται. Σε γενικές γραμμές οι τιμές διαφοροποιούνται με βάση τις παρακάτω ποσότητες κατανάλωσης:

- Πρώτα 50 τοις εκατό της κατανομής = 0,18 US\$/m<sup>3</sup>
- 51-80 τοις εκατό της κατανομής = 0,21 US\$/m<sup>3</sup>
- 81-100 τοις εκατό της κατανομής = 0,29 US\$/m<sup>3</sup>

Στον Πίνακα 7.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές του πόσιμου και του ανακτημένου νερού για την γεωργία την βιομηχανία και την οικιακή χρήση.



**Πίνακας 7.1** Τιμές πόσιμου και ανακτημένου νερού στο Ισραήλ (Aharoni, 2010).

	Agriculture (average)	Industry	Domestic	
			Consumer	Municipality
Potable	0.32 US\$ 0.4 US\$ 0.48 US\$	1.8 US\$ 2.1 US\$	1.75/2.57 US\$ 2.05/2.87 US\$	1.81 US\$ 2.1 US\$ Public parks
"SHAFDAN"	0.21 US\$			
Treated wastewater	0.18 US\$	20% less then potable water		
Saline	Gradual reduction from potable water, based on Salinity Level			

### Τιμολόγηση του νερού στην Αυστραλία

Καθώς η παροχή γλυκού νερού της Αυστραλίας είναι ολοένα και πιο ευάλωτη στην ξηρασία, πιθανώς ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, δίνεται έμφαση στη διατήρηση του νερού και διάφορες περιοχές έχουν επιβάλει περιορισμούς στη χρήση του νερού.

Το 2006, το Περθ έγινε η πρώτη πόλη της Αυστραλίας που λειτούργησε μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, το εργοστάσιο αφαλάτωσης Kwinana, για να μειώσει την ευπάθεια της πόλης στην ξηρασία. Ένα εργοστάσιο στο Kurnell έχει επίσης κατασκευαστεί και τροφοδοτεί τη μητροπολιτική περιοχή του Σίδνεϊ με νερό κατά τη διάρκεια ξηρασίας και χαμηλών επιπέδων φράγματος. Περισσότερα εργοστάσια σχεδιάζονται ή βρίσκονται υπό κατασκευή σε Gold Coast, Μελβούρνη και Αδελαΐδα. Η χρήση ανακτημένου νερού είναι επίσης ολοένα και πιο κοινή. Η Αδελαΐδα και το Brisbane είναι οι δύο μεγαλύτερες πόλεις της Αυστραλίας που πρωτοστατούν στην χρήση του επαναχρησιμοποιούμενου νερού.

Στην Αυστραλία, το πλήρες κόστος των έργων επαναχρησιμοποίησης νερού έχει εκτιμηθεί ότι κυμαίνεται από 1,45 \$/m<sup>3</sup> έως πάνω από 3 \$/m<sup>3</sup> (Molino, et al, 2013).

Στην Αδελαΐδα συγκεκριμένα μια από τις εταιρίες που προμηθεύουν με επαναχρησιμοποιούμενο νερό είναι η SA Water το οποίο μπορεί να έχει μια πληθώρα χρήσεων όπως:

- νερό για γκαζόν και κήπους(οπωροφόρα δέντρα, λαχανικά και λουλούδια)
- καθαρισμός τουαλετών
- πλύσιμο αυτοκινήτων
- διακοσμητικές υδάτινες εκτάσεις όπως διακοσμητικές λίμνες (χωρίς ψάρια)
- για ψύξη και κλιματιστικά
- για πλύσιμο των κατοικίδιων

Στην συγκεκριμένη περιοχή αναλόγως με το είδος του νερού ισχύουν τα ανάλογα:

- Η τιμή του νερού οικιακής χρήσης ανέρχεται στα 1,966 \$/m<sup>3</sup> αν η κατανάλωση είναι μεταξύ 0-383,6 L ημερησίως, 2,806 \$/m<sup>3</sup> αν η κατανάλωση είναι από 383,6 L έως 1424,7 L ημερησίως τέλος αν η κατανάλωση ημερησίως υπερβαίνει τα 1424,7 L η τιμή είναι 3,040 \$/m<sup>3</sup>.
- Η τιμή για εμπορική χρήση ή μη οικιακή είναι στα 2,806 \$/m<sup>3</sup>.
- Η τιμή του επαναχρησιμοποιούμενου νερού από την SA Water είναι 1,769 \$/m<sup>3</sup>.



Στην ανατολική Αυστραλία και κοντά στην πόλη Brisbane εδρεύει η εταιρεία Urban Utilities η οποία ανακυκλώνει το νερό και παρέχει επαναχρησιμοποιούμενο νερό. Υπάρχουν 4 διαφορετικές κατηγορίες επαναχρησιμοποιούμενου νερού στην περιοχή: A+, A, B, C.

Επιπλέον, το ανακυκλωμένο ή ανακτημένο νερό κατηγορίας A+ είναι ανακυκλωμένο νερό υψηλής επεξεργασίας. Αυτή η κατηγορία συνήθως απαιτείται μόνο για νερό βιομηχανικής επεξεργασίας ή για άρδευση ελάχιστα επεξεργασμένων καλλιεργειών για τρόφιμα. Τα νερά των κατηγοριών A και B απαιτούν συνήθως πρόσθετες διεργασίες επεξεργασίας πάνω από τις κανονικές διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων που είναι επαρκείς για να επιτρέψουν την απόρριψη των λυμάτων στο περιβάλλον. Το ανακυκλωμένο νερό κατηγορίας Γ είναι η χαμηλότερη ποιότητα ανακυκλωμένου νερού που παρέχεται από την Urban Utilities. Αυτή η ποιότητα παράγεται γενικά ως αποτέλεσμα των απαιτήσεων για την απόρριψη λυμάτων στο περιβάλλον, όπως περιλαμβάνονται στις περιβαλλοντικές άδειες της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων. Αυτή η κατηγορία μπορεί συχνά να παρέχεται απευθείας χωρίς καμία πρόσθετη επεξεργασία.

**Πίνακας 7.2** Τιμή νερού ανάλογα με την ποιότητα του στην πόλη Brisbane της Αυστραλίας.

Ποιότητα νερού	Ανακυκλωμένο A+	Ανακυκλωμένο A	Ανακυκλωμένο B	Ανακυκλωμένο C	Πόσιμο νερό/κανονική παροχή
Τιμή νερού	Μετά από διαπραγμάτευση	1,401 \$/m <sup>3</sup>	1,293 \$/m <sup>3</sup>	0,120 \$/m <sup>3</sup>	3,231 \$/m <sup>3</sup>

Άλλη μια πόλη της Αυστραλίας που παρέχει επαναχρησιμοποιούμενο νερό στους κατοίκους της ευρέως είναι το Σίδνεϋ. Παρέχουν ανακυκλωμένο νερό σε σπίτια και επιχειρήσεις μέσω μωβ σωλήνων. Αυτοί οι σωλήνες παρέχουν νερό για το ξέπλυμα των τουαλετών, το πλύσιμο των ρούχων και τις υπαίθριες χρήσεις, όπως το πότισμα κήπων σε σπίτια και επιχειρήσεις. Δεν παρέχουν αυτό το ανακυκλωμένο νερό για πόσιμο. Αυτό σημαίνει ότι οι υδραυλικές εγκαταστάσεις πρέπει να διατηρούνται χωριστά από τους σωλήνες πόσιμου νερού και να προσδιορίζονται σαφώς ως ανακυκλωμένο νερό. Επίσης υπάρχει σήμανση για την προέλευση του νερού και πως δεν είναι για πόση (<https://www.sydneywater.com.au/>).

**Πίνακας 7.3** Τιμές νερού ανάλογα με τη χρήση του στην ευρεία περιοχή του Σίδνεϋ (<https://www.sydneywater.com.au/>).

Χρήση νερού	Πόσιμο νερό	Ανακυκλωμένο νερό	Ανακυκλωμένο νερό από το Ολυμπιακό Πάρκο του Σύδνεϋ
Τιμή	2,38 \$/m <sup>3</sup>	2,14 \$/m <sup>3</sup>	2,23 \$/m <sup>3</sup>
Τιμή νερού αν τα επίπεδα της αποθήκης νερού πέσουν κάτω από 60%	3,22 \$/m <sup>3</sup>	2,14 \$/m <sup>3</sup>	3,07 \$/m <sup>3</sup>

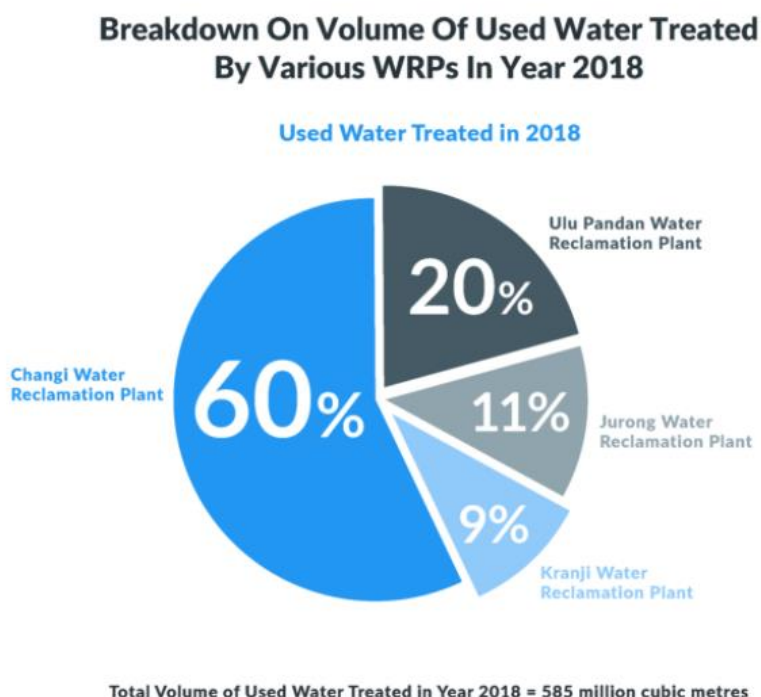
## Τιμολόγηση νερού στην Σιγκαπούρη

Η Σιγκαπούρη αποτελεί μια εξαίρεση και καινοτόμα χώρα καθώς διαθέτει ακόμα και νερό προς πόση από το 2002 λόγω των πολλών προβλημάτων και ελλείψεων του νερού. Η χώρα αναγκάστηκε να καταφύγει στο επαναχρησιμοποιούμενο νερό γνωστό και ως NEWater το οποίο

και εμφιαλώνεται από μια προηγμένη εγκατάσταση καθαρισμού του νερού. Αν και το μεγαλύτερο ποσοστό του επαναχρησιμοποιούμενου νερού καταλήγει σε βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας, υπάρχει και ένα μέρος του το οποίο επιστρέφεται στις δεξαμενές του πόσιμου νερού.

Η ποιότητα του NEWater παρακολουθείται και συγκρίνεται από διεθνή ομάδα ειδικών και προς έκπληξη υπερβαίνει τα πρότυπα του ΠΟΥ για το πόσιμο νερό. Στην Σιγκαπούρη το 2004 υπήρχαν τέσσερα εργοστάσια NEWater, που βρίσκονταν στο Bedok, Kranji, Ulu Pandan και Changi δίπλα σε πέντε εργοστάσια αποκατάστασης νερού. Στο τέλος του 2002, το πρόγραμμα είχε συγκεντρώσει ποσοστό αποδοχής 98%, με το 82% των ερωτηθέντων να δηλώνουν ότι θα έπιναν το επαναχρησιμοποιούμενο νερό απευθείας, ένα άλλο 16% μόνο όταν αναμιγνύεται με το νερό της δεξαμενής. Το NEWater αποτελεί πλέον περίπου το 30% της συνολικής χρήσης του νερού της Σιγκαπούρης, έως το 2060 η Εθνική Υπηρεσία Υδάτων της Σιγκαπούρης σχεδιάζει να τριπλασιάσει την τρέχουσα χωρητικότητα NEWater ώστε να καλύψει το 50% της μελλοντικής ζήτησης νερού της Σιγκαπούρης.

Σύμφωνα με το PUB Singapore's National water agency από το 2019, το NEWater ήταν σε θέση να καλύψει το 40% των αναγκών της Σιγκαπούρης σε νερό. Υπάρχουν και κάποιες αναφορές που υποστηρίζουν ότι τα εργοστάσια επωφελήθηκαν και οικονομικά από το NEWater καθώς λόγω της ιδιαίτερα υψηλής καθαρότητας του τα εργοστάσια που προμηθεύονταν με αυτό κατάφεραν να μειώσουν το κόστος τους.



**Εικόνα 7.1** Συνολικός όγκος επαναχρησιμοποίησης νερού το 2018 στην Σιγκαπούρη και διάφορα WRP (water reclamation plant) (<https://www.pub.gov.sg/>).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθούν πως υπάρχουν τρία στοιχεία στην τιμή του νερού στον μηνιαίο λογαριασμό τα οποία θα επεξηγηθούν για καλύτερη κατανόηση του τιμολογίου:

- I. Τιμολόγιο νερού.
- II. Φόρος εξοικονόμησης νερού.
- III. Υδάτινο τέλος.

### Τιμολόγιο Νερού

Το Τιμολόγιο Νερού καλύπτει το κόστος που προκύπτει σε διάφορα στάδια της διαδικασίας παραγωγής νερού—συλλογή όμβριων υδάτων, επεξεργασία ακατέργαστου νερού και διανομή επεξεργασμένου πόσιμου νερού στους πελάτες μέσω ενός εκτεταμένου δικτύου αγωγών ύδρευσης σε όλο το νησί. Το τιμολόγιο νερού χρεώνεται με βάση τον όγκο του νερού που καταναλώνεται.

### Φόρος εξοικονόμησης νερού

Ο φόρος εξοικονόμησης νερού εισήχθη το 1991 για να ενθαρρύνει την εξοικονόμηση νερού και να αντικατοπτρίζει την αξία της λειψυδρίας του. Ο φόρος αυτός επιβάλλεται ως ποσοστό του τιμολογίου νερού για να ενισχύσει το μήνυμα ότι το νερό είναι πολύτιμο από την πρώτη κιάλας σταγόνα.

### Υδατογενές τέλος (Waterborne Fee)

Κάθε σταγόνα χρησιμοποιημένου νερού συλλέγεται μέσω ενός ξεχωριστού δικτύου αποχετεύσεων και διοχετεύεται στις εγκαταστάσεις αποκατάστασης νερού για επεξεργασία, μετά την οποία καθαρίζεται περαιτέρω στο NEWater ή απορρίπτεται στη θάλασσα. Το υδατογενές τέλος προορίζεται για την κάλυψη του κόστους επεξεργασίας του χρησιμοποιημένου νερού και της συντήρησης του δικτύου χρησιμοποιημένου νερού. Η χρέωση γίνεται με βάση τον όγκο χρήσης του νερού. Αυτές είναι συνολικά οι παράμετροι καθορίζουν την τιμή του νερού στην Σιγκαπούρη.

Η τιμή του νερού ωστόσο διαφέρει ανάλογα με την χρήση του νερού αλλά και ποιος το χρησιμοποιεί. Έτσι, το πόσιμο νερό που χρησιμοποιείται από τους ναυτιλιακούς επισκέπτες να είναι και το πιο ακριβό νερό, η τιμή του ανέρχεται στα 3,8 \$/m<sup>3</sup>. Αντίθετα το πόσιμο νερό που χρησιμοποιείται από τους ντόπιους για οικιακή χρήση κοστίζει 2,74 \$/m<sup>3</sup> για τα πρώτα 40 m<sup>3</sup> ενώ για χρήση πάνω από 40 m<sup>3</sup> το κόστος του πόσιμου νερού ανέρχεται στα 3,69 \$/m<sup>3</sup>. Η τιμή του νερού για μη οικιακή χρήση ανέρχεται στα 2,74 \$/m<sup>3</sup>, ενώ το νερό για βιομηχανική χρήση κοστίζει 1,58 \$/m<sup>3</sup>. Τέλος το NEWater που είναι το επαναχρησιμοποιούμενο νερό υψηλής καθαρότητας είναι αρκετά πιο φτηνό από το πόσιμο νερό και η τιμή του ανέρχεται στα 2,33 \$/m<sup>3</sup>. Για διευκόλυνση παρουσιάζεται και στο ακόλουθο Πίνακα 7.4.

**Πίνακας 7.4** Τιμή νερού ανάλογα με το είδος νερού στην Σιγκαπούρη (<https://www.pub.gov.sg/>).

Είδος του νερού	Πόσιμο νερό/οικιακή χρήση	Πόσιμο νερό για μη οικιακή χρήση	Βιομηχανική χρήση	Νερό για Shipping Customers	NEWater
Κόστος	2,74 \$/m <sup>3</sup> για 40m <sup>3</sup>  3,69 \$/m <sup>3</sup> αν η κατανάλωση περάσει τα 40m <sup>3</sup>	2,74 \$/m <sup>3</sup>	1,58 \$/m <sup>3</sup>	3,8 \$/m <sup>3</sup>	2,33 \$/m <sup>3</sup>

### **Τιμολόγηση νερού σε περιοχές των ΗΠΑ**

Συγκεκριμένα στην περιοχή της Καλιφόρνια η επαναχρησιμοποίηση νερού είναι αρκετά διαδεδομένη. Ως μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες πολιτείες στην ξηρή δύση των Η.Π.Α., η επαναχρησιμοποίηση του νερού αναπτύσσεται ως αναπόσπαστο μέρος του νερού στην Καλιφόρνια επιτρέποντας τόσο στην οικονομία όσο και στον πληθυσμό να αναπτυχθούν. Οι κύριες χρήσεις του επαναχρησιμοποιούμενου νερού στην πολιτεία της Καλιφόρνιας είναι η αναπλήρωση υπόγειων υδάτων, η άρδευση, η βιομηχανική χρήση και η στήριξη του οικοσυστήματος.

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της πολιτείας της Καλιφόρνιας η μέση τιμή του νερού που παρέχεται είναι:

- Για οικιακή χρήση αν η κατανάλωση είναι από 1–17 CCF (1 CCF = 2,8317 m<sup>3</sup>) η τιμή είναι 1,525 \$/m<sup>3</sup> , από 18–25 CCF η τιμή του νερού είναι 1,9 \$/m<sup>3</sup>, ενώ για κατανάλωση από κατανάλωση 25 CCF και πάνω 2,86 \$/m<sup>3</sup>.
- Για μη οικιακή χρήση το πόσιμο νερό χρεώνεται με 1,92 \$/m<sup>3</sup>.
- Η τιμή του επαναχρησιμοποιούμενου νερού στην περιοχή ανέρχεται στα 0,78 \$/m<sup>3</sup>.

Στο Τέξας η κατάσταση επιδεινώνεται ολοένα και πιο πολύ στο ζήτημα της λειψυδρίας με αποτέλεσμα να κατευθύνονται στην εναλλακτική λύση της επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για ανάκτηση νερού. Το ανακυκλωμένο νερό στο Όστιν του Τέξας ανακυκλώνεται από τα λύματα που παράγονται από κατοικίες και επιχειρήσεις και επεξεργάζεται για μη πόσιμες χρήσεις. Αν και το ανακυκλωμένο νερό δεν χρησιμοποιείται στην παροχή πόσιμου νερού, πληροί πολλά από τα κριτήρια για το πόσιμο νερό. Αυτό το νερό είναι διαυγές, δεν έχει αισθητή οσμή και έχει ανοιχτό κίτρινο χρώμα. Είναι ακίνδυνο για τον άνθρωπο μέσω της κανονικής επαφής. Το ανακτημένο νερό του Όστιν πληροί όλους τους πολιτειακούς και ομοσπονδιακούς νόμους για μη πόσιμη χρήση.

Η πληροφορία για την τιμολόγηση του νερού για την πόλη Όστιν του Τέξας έχουν παρθεί από την επίσημη ιστοσελίδα (<https://www.austintexas.gov/>). Για το πόσιμο νερό η τιμολόγηση έχει να κάνει με την παροχή και τον τρόπο σύνδεσης των σωλήνων. Για το μέσο σπίτι υπάρχει μια σταθερή χρέωση από 7,25 \$ – 10,60 \$ τον μήνα ανάλογα με την παροχή του σωλήνα. Στον ακόλουθο Πίνακα 7.5 η χρέωση συνοψίζεται καθώς διαφοροποιείται ανάλογα με το αν η παροχή νερού προέρχεται μέσω του CAP ή όχι. Το CAP (Community Assistance Program) είναι ένα πρόγραμμα κοινοτική βοήθειας δηλαδή στηρίζεται οικονομικά με κάποια επιχορήγηση από το κράτος για την πρόβλεψη και την προστασία πλημμυρών.

**Πίνακας 7.5** Τιμολόγηση νερού σε συνθήκες CAP και Non CAP στο Όστιν του Τέξας.

Ποσότητα νερού σε γαλόνια	m <sup>3</sup>	Non CAP	CAP
0–2000	0–7,570	2,89 \$	1,23 \$
2001–6000	7,571–22,712	4,81 \$	3,65 \$
6001–11000	22,713– 41,639	8,34 \$	6,00 \$
11001–20000	41,640– 75,708	12,70 \$	11,51 \$
20000 και πάνω	75,709 και πάνω	14,21 \$	14,21 \$

Κάτι εξίσου σημαντικό είναι ότι υπάρχει επιπλέον χρέωση 0,05 \$ ανά 1000 γαλόνια αν σε αυτόν που παρέχεται το νερό ανήκει στο CAP ενώ 0,15 \$ αν δεν ανήκει. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχει αναφορά συγκεκριμένα για την τιμή του επαναχρησιμοποιημένου νερού ωστόσο αναφέρεται ότι κοστίζει περίπου το 1/3 του κανονικού νερού.

Το Moulton Niguel είναι δημόσιος οργανισμός-μέλος της South Orange County Wastewater Authority, όπου λειτουργεί και συντηρεί τρεις από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Περιφέρειας. Επίσης αφιερώνει πόρους για τη λειτουργία, την επισκευή και την αποκατάσταση της Plant 3A, μιας τέταρτης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Οι υψηλότεροι συντελεστές είναι απαραίτητοι για τη χρηματοδότηση των εγκαταστάσεων για τη βελτίωση των επιπέδων εξυπηρέτησης, τη χρηματοδότηση κρίσιμων κεφαλαιακών επενδύσεων, την εκπλήρωση των κανονιστικών απαιτήσεων και την αξιολόγηση της επέκτασης των προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης για την αύξηση της αξιοπιστίας της παροχής νερού και τη μείωση των απορρίψεων επεξεργασμένων λυμάτων στον ωκεανό. Η Moulton Niguel Water District καθορίζει τις τιμές και ρυθμίζεται από την κρατική νομοθεσία. Η Περιφέρεια έχει το δικαίωμα να χρεώνει τους

πελάτες της μόνο για το κόστος που σχετίζεται με την παροχή νερού και υπηρεσίες αποχέτευσης και δεν μπορεί να χρεώνει τιμές που οδηγούν σε κέρδος. Η Περιφέρεια να σημειωθεί ότι έχει εστιάσει στην ανάγκη για πρόσθετα κονδύλια με σκοπό τη στήριξη των αυξανόμενων δαπανών στους ακόλουθους τομείς:

- I. Βελτιώσεις και συντήρηση κεφαλαιουχικών υποδομών
- II. Αγορά και παράδοση εισαγόμενου νερού
- III. Αξιοπιστία και αποδοτικότητα νερού
- IV. Επεξεργασία λυμάτων

Οι πελάτες που υπερβαίνουν τον προϋπολογισμό τους για το νερό χρεώνονται με τιμές που σχετίζονται με υψηλότερες βαθμίδες ανάλογα με την περίσσεια νερού που χρησιμοποιείται. Οι βαθμίδες τιμολογίου κατανέμονται στο παρακάτω Πίνακα 7.6.

**Πίνακας 7.6** Βαθμίδες τιμολογίου συγκριτικά με τον συνολικό προϋπολογισμό του νερού ανάλογα με τη χρήση στο South Orange των ΗΠΑ.

	Single-Family, Multi-family Residential	Commercial, Potable Irrigation and Recycled Irrigation
<b>Tier 1</b>	<b>Indoor Water Budget</b>	<b>Total Water Budget</b>
<b>Tier 2</b>	<b>Outdoor Water Budget</b>	<b>101% to 125% of Water Budget</b>
<b>Tier 3</b>	<b>101% to 125% of Total Water Budget</b>	<b>126% to 150% of Water Budget</b>
<b>Tier 4</b>	<b>126% to 150% of Total Water Budget</b>	<b>Over 150% of Water Budget</b>
<b>Tier 5</b>	<b>Over 150% of Total Water Budget</b>	

Ουσιαστικά παρατηρείται ότι υπάρχουν πέντε διαφορετικές βαθμίδες οι οποίες δημιουργούνται με ποσοστά επί του συνολικού προϋπολογισμού του νερού για την χρήση κατοικίας και αντίστοιχα την εμπορική, πόσιμη άρδευση και ανακυκλωμένη άρδευση.

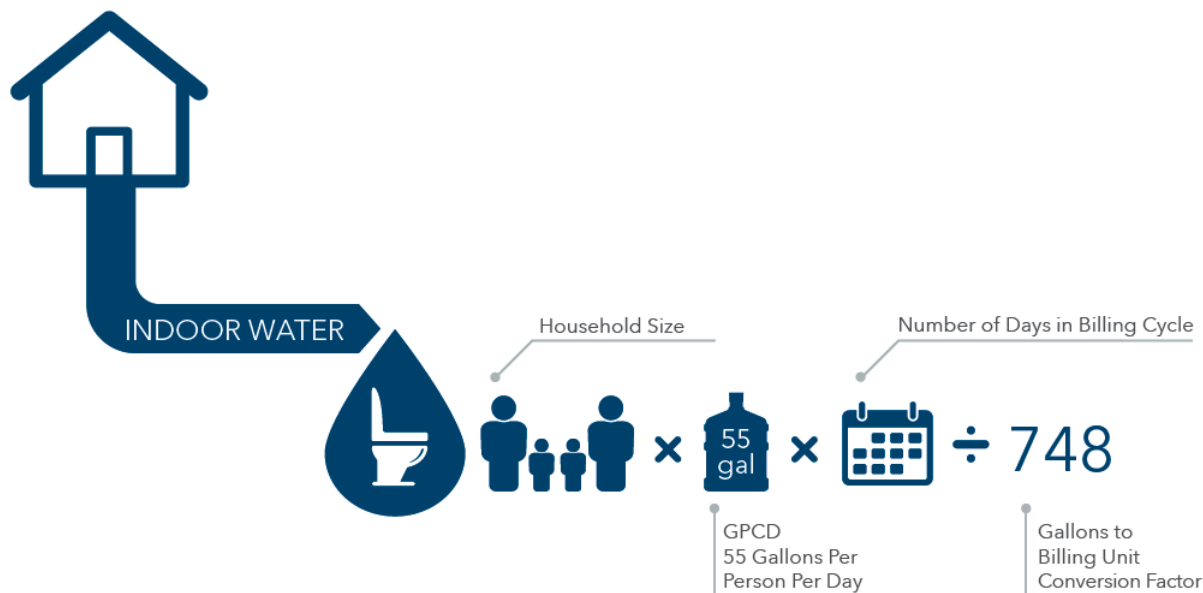
Ο κάθε πελάτης έχει έναν μοναδικό προϋπολογισμό νερού με βάση τον τύπο του νερού που χρησιμοποιείται, τον αριθμό των ατόμων του νοικοκυριού, τον αριθμό ημερών στον κύκλο της χρέωσης, την αρδεύσιμη επιφάνεια ανά αγροτεμάχιο, τον συντελεστή εξωραϊσμού και το ποσοστό εξατμισοδιαπνοής.

Για την κατοικία (μόνιμοι πελάτες) ο συνολικός προϋπολογισμός οικιακού νερού ισούται με τον προϋπολογισμό νερού εσωτερικού χώρου συν προϋπολογισμό νερού εξωτερικού χώρου και η χρέωση γίνεται σύμφωνα με την 1<sup>η</sup> βαθμίδα και την 2<sup>η</sup> βαθμίδα αντίστοιχα.

Ο προϋπολογισμός νερού για εσωτερικούς χώρους βασίζεται στα εξής:

- Μέγεθος νοικοκυριού (τα άτομα που ζούν).
- Ημέρες χρέωσης (αναγράφεται στο λογαριασμό).
- Βασική κατανομή νερού (GPCD) (κάθε πελάτης λαμβάνει ένα προϋπολογισμό νερού 55 γαλόνια/κάτοικο /ημέρα).

Άρα, με την βοήθεια της ακόλουθης Εικόνας 7.2 προκύπτει η τιμή νερού.

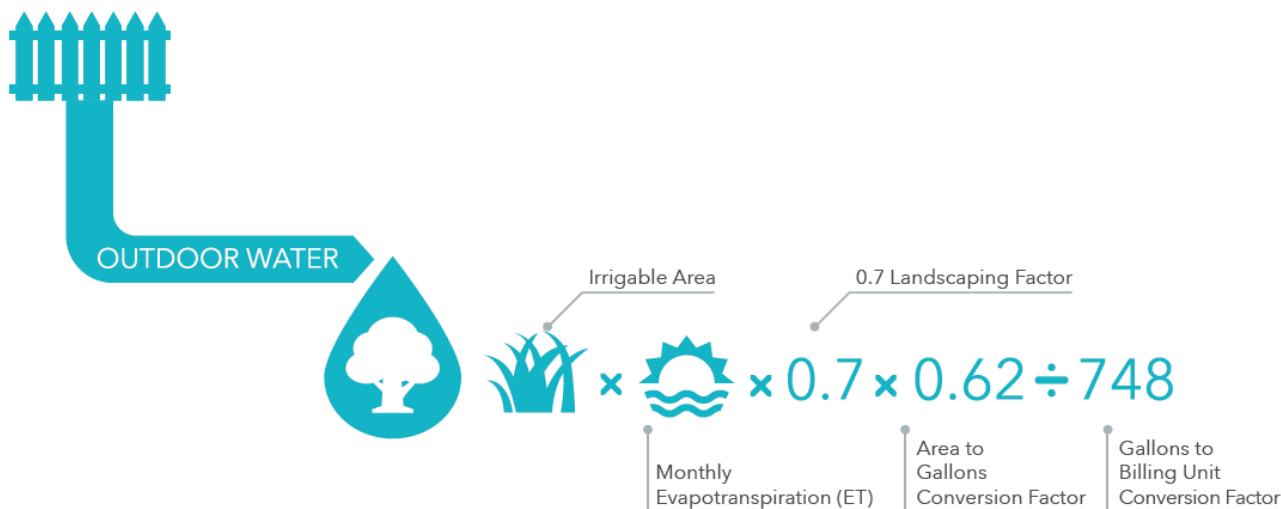


**Εικόνα 7.2** Τρόπος υπολογισμού του νερού για εσωτερικούς χώρους.

Αντίστοιχα για περιπτώσεις προϋπολογισμού νερού εξωτερικών χώρων οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι:

- Αρδεύσιμη περιοχή (τετραγωνικά που χρησιμοποιείται το νερό).
- Συντελεστής εξωραΐσμού (παράγοντας που εφαρμόζεται για να ληφθούν υπόψιν οι απαιτήσεις σε νερό των φυτών ώστε να είναι αποτελεσματική η άρδευση). Για κατοικίες και πόσιμο πότισμα ο συντελεστής είναι 0,7, για ανακυκλωμένο νερό είναι 0,8 και για άρδευση κοινόχρηστων χώρων είναι 1,0.
- Εξατμισοδιαπνοή (ET) (η ποσότητα νερού που χάνεται κάθε μέρα λόγω εξάτμισης και διαπνοής των φυτών και μετράτε από μετεωρολογικούς σταθμούς με ακρίβεια).

Άρα, με την βοήθεια της ακόλουθης Εικόνας 7.3 προκύπτει η τιμή νερού.



**Εικόνα 7.3** Τρόπος υπολογισμού του νερού για εξωτερικούς χώρους.

Με βάση τα προηγούμενα διαγράμματα ο λογαριασμός αποτελείται από σταθερές και μεταβλητές χρεώσεις για την ύδρευση, την αποχέτευση και το ανακτημένο νερό. Η κρατική νομοθεσία απαιτεί από τις επιχειρήσεις ύδρευσης να εισπράττουν αμοιβές για το πραγματικό κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πρακτικά αυτό που συμβαίνει στις χρεώσεις και τα τέλη για το ανακτημένο νερό και τα λύματα εξηγείται παρακάτω.

Ως προς το νερό και το ανακτημένο νερό υπάρχει μηνιαία χρέωση υπηρεσιών. Δηλαδή, χρεώνεται πάγιο τέλος για την παροχή υπηρεσιών ύδρευσης στην ιδιοκτησία, με βάση το μέγεθος του υδρομετρητή σας. Το τέλος αυτό καλύπτει πάγια έξοδα, όπως οι επισκευές και η συντήρηση των υποδομών. Για ογκομετρική χρέωση, η χρέωση γίνεται στη μεταβλητή χρέωση με βάση την ποσότητα νερού που χρησιμοποιείτε. Το τέλος αυτό καλύπτει το κόστος κάθε μονάδας νερού που παραδίδεται στην ιδιοκτησία σας. Ως προς τα λύματα υπάρχει μηνιαία χρέωση υπηρεσιών. Δηλαδή ομοίως με το νερό και υπάρχει χρέωση ανά άτομο. Τέλος, να σημειωθεί το γεγονός ότι η προώθηση αυτής της εταιρικής σχέσης με τους πελάτες και η παροχή της δυνατότητας να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση του νερού τους έχει δημιουργήσει σημαντικά οφέλη αξιοπιστίας. Η ανταπόκριση των πελατών στη δομή των τιμών του Moulton Niguel και ο σχεδιασμός για τη λειψυδρία είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά 1,3 δισεκατομμύρια γαλόνια της μέγιστης θερινής χρήσης νερού κατά τη διάρκεια της τελευταίας ξηρασίας (<http://www.mnwd.com/budget-modification/>).

## Ισπανία

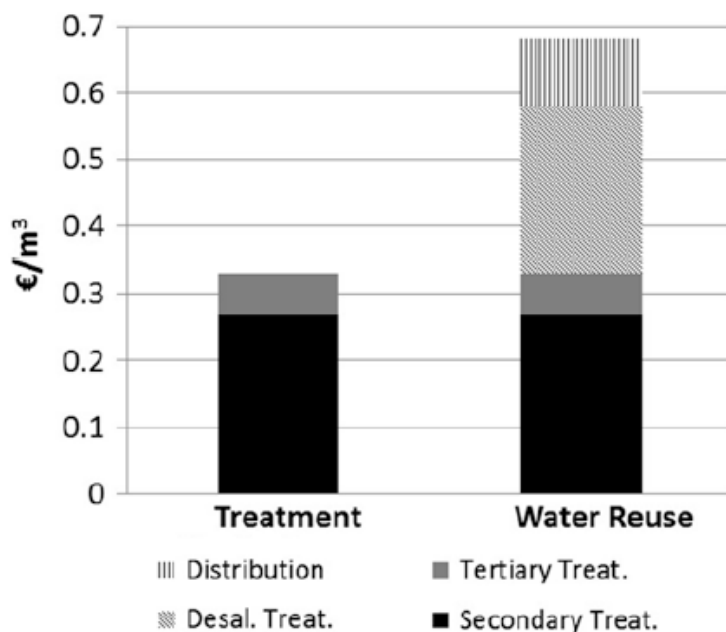
Στις λεκάνες απορροής των ποταμών της Μεσογείου όπως συμβαίνει και στην Ισπανία, η επαναχρησιμοποίηση του νερού αναμένεται να επίτευξη της καλής οικολογικής κατάστασης των υδάτινων σωμάτων που απαιτείται από το πλαίσιο για τα ύδατα. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο για τις κατηγορίες έργων επαναχρησιμοποίησης (χρεώσιμο και μη χρεώσιμο), αν τα έργα αυτά δεν παράγουν εισόδημα, δημιουργούν μια σειρά από σημαντικές θετικές εξωτερικές επιδράσεις.

Από την άλλη πλευρά, τα έργα στα οποία το νερό είναι χρεώσιμο χαρακτηρίζονται από την παροχή ανακτημένου νερού σε ιδιώτες χρήστες. Οι κανονισμοί επιτρέπουν διαφορετικές χρήσεις, και καθορίζουν τα επίπεδα ποιότητας του νερού για κάθε χρήση. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σκόπιμο ότι το κόστος επένδυσης και το κόστος λειτουργίας και διαχείρισης της ανακτημένου νερού ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με από την ποιότητα του απαιτούμενου νερού. Στα περισσότερα από αυτά τα έργα, τα συστήματα επεξεργασίας ανακτημένου νερού σχεδιάζονται με βάση τις απαιτήσεις για τους ιδιώτες χρήστες.

Ένα παράδειγμα χρήσης ανακτημένου νερού είναι η ΕΕΛ Pinedo, που βρίσκεται στη Βαλένθια, η οποία επαναχρησιμοποιεί 78 hm<sup>3</sup>/έτος για την άρδευση καλλιεργειών και για την περιβαλλοντική αποκατάσταση του φυσικού πάρκου Albufera. Προκειμένου να αυξηθεί η χρήση του ανακτημένου νερού, η Αρχή Υδάτων της Βαλένθια προωθούν συμφωνίες μεταξύ δήμων, διαχειριστών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και τοπικών αγροτών. Οι συμφωνίες βασίζονται στην υποδομή που απαιτείται για την επαναχρησιμοποίηση του νερού, η οποία παρέχεται από την κυβέρνηση, είτε κρατική είτε περιφερειακή, ενώ οι αγρότες μεταφέρουν τα δικαιώματα νερού, ώστε το συμβατικό νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους αστικούς χρήστες (Sancho et al., 2003).

Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα του οποίου η ισορροπία εξασφαλίζεται μέσω της μεταφοράς οικονομικών πόρων με δύο διαδικασίες. Αναλυτικότερα, στην πρώτη περίπτωση συναντάει κανείς τις άμεσες συνεισφορές της κοινοπραξίας στους προϋπολογισμούς των κοινότητων άρδευσης, ενώ η δεύτερη βασίζεται στην πληρωμή των ενεργειακών λογαριασμών και της συντήρησης των υποδομών των αρδευτικών κοινοτήτων. Όταν οι συμφωνίες χρήσης που βασίζονται στην ανταλλαγή νερού δεν είναι εφικτές λόγω της σπανιότητας των συμβατικών υδάτινων πόρων, η τιμή του ανακτημένου νερού θα πρέπει να είναι με βάση το κόστος ανάκτησης του νερού. Στο ακόλουθο Διάγραμμα 7.1 παρουσιάζεται η επεξεργασία νερού στην περιοχή της Βαλένθια.





**Διάγραμμα 7.1** Τιμή νερού ανά  $\text{m}^3$  συναρτήσει της επεξεργασίας του νερού στην περιοχή της Βαλένθιας (Sancho et al., 2003).

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα αξίζει να εστιάσει το κομμάτι του νερού επαναχρησιμοποίησης του οποίου η τιμή του μετά από τριτοβάθμια επεξεργασία κυμαίνεται πάνω κάτω από  $0,3 \text{ €/m}^3$ . Επίσης, στο σύστημα του έργου επαναχρησιμοποίησης νερού από την ΕΕΛ Πινέδο, στο οποίο έχει αναπτυχθεί, ένα μέρος της ροής του ανακτημένου νερού χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της οικολογικής κατάστασης της Λίμνη Albufera. Στην περίπτωση αυτή, οι αρδευτές πληρώνουν μόνο το κόστος άντλησης, το οποίο είναι περίπου  $0,006 - 0,012 \text{ €/m}^3$ .

Μία ακόμη περίπτωση της Ισπανίας που έχει μελετηθεί είναι αυτή της περιοχής της Tarragona, μία βιομηχανική περιοχή ευρέως γνωστή. Μια προηγμένη μονάδα ανάκτησης νερού (Advanced Water Reclamation Plant - AWRP) ολοκληρώθηκε το 2011 για την ανάκτηση δευτερογενούς δημοτικού νερού από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων Tarragona και Vilaseca-Salou. Το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για την ψύξη και το νερό διεργασιών στο κοντινό πετροχημικό πάρκο της Tarragona. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων της Tarragona και της Vilaseca-Salou συνδέθηκαν μεταξύ τους με έναν αγωγό μήκους 4 χιλιομέτρων, ώστε να διασφαλιστεί ότι το AWRP μπορεί να τροφοδοτείται με αρκετό ανακτημένο νερό από μία ή και τις δύο ΕΕΛ. Τα δευτερογενή λύματα υποβάλλονται σε μια βασική διαδικασία ανάκτησης στο AWRP, που αποτελείται από ένα στάδιο διαύγασης έρματος, ακολουθούμενο από διήθηση δίσκου, διήθηση πολυμέσων και διήθηση άμμου. Το AWRP σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας ως αναφορά το Δημοτικό Υδατικό Διαμέρισμα West Basin της Νότιας Καλιφόρνιας, όπου τα δημοτικά δευτερογενή λύματα ανακτώνται για να ικανοποιήσουν έως και πέντε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας νερού, ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση τους.

Από τον Σεπτέμβριο του 2012 που τέθηκε σε λειτουργία το AWRP,  $1,57 \text{ hm}^3$  (εκατοντάδες κυβικά μέτρα) ανακτημένου νερού παραδόθηκαν σε βιομηχανικούς χρήστες μέχρι τον Δεκέμβριο του 2013. Ο όγκος που παραδόθηκε κατά το πρώτο τρίμηνο του 2014 ήταν  $0,30 \text{ hm}^3$ . Το πρόγραμμα ελέγχου της ποιότητας που διεξάγεται από εξωτερικό διαπιστευμένο εργαστήριο βεβαιώνει ότι η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού συμμορφώνεται με τις κύριες απαιτήσεις ποιότητας που έχουν καθοριστεί για το υγρό AWRP. Η ποιότητα του ανακυκλωμένου νερού στο δίκτυο διανομής συμμορφώνεται επίσης με αυτές τις προδιαγραφές, με μόνο μία περίπτωση ασυμφωνίας που οφείλεται στη συγκέντρωση *Legionella* spp. Για τη διόρθωση των πιθανών αιτιών αυτής της

ασυμφωνίας, το τμήμα του σωλήνα διανομής νερού που αποτελεί αντικείμενο ανησυχίας απολυμάνθηκε με υποχλωριώδες νάτριο και πραγματοποιήθηκαν νέες αναλύσεις για *Legionella* spp., τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή του απολυμαντικού, σύμφωνα με τα πρωτόκολλα ελέγχου που εφαρμόζονται στους πύργους ψύξης.

Μια οικονομική ανάλυση που έγινε από την εταιρεία εκμετάλλευσης AITASA-Veolia έδειξε ένα κόστος παραγωγής 0,5 €/m<sup>3</sup> για το προηγμένο ανακυκλωμένο νερό, κατά τη διάρκεια της περιόδου εγγύησης 1 έτους. Μια προκαταρκτική οικονομική ανάλυση της διεργασίας ιοντοανταλλαγής για την παραγωγή νερού υψηλής καθαρότητας, σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται εντός των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, έδειξε κόστος παραγωγής 1,2 €/m<sup>3</sup>.

Επομένως, το κόστος διανομής του ανακτημένου νερού βρίσκεται υπό συζήτηση μεταξύ των βιομηχανικών χρηστών και της εταιρείας εκμετάλλευσης. Η τιμή του ανακτημένου νερού θα καθορίζεται στη συνέχεια από την εταιρεία εκμετάλλευσης, κυρίως με βάση την ποιότητα του ανακτημένου νερού, τις χρησιμοποιούμενες ποσότητες νερού και τα χρονοδιαγράμματα χρήσης νερού (Sanz et al., 2015).

### **Διαχείριση της λειψυδρίας στην Ιορδανία**

Οι χώρες των οποίων οι ανανεώσιμοι υδάτινοι πόροι είναι μικρότεροι από 1000 m<sup>3</sup> ανά κάτοικο/έτος θεωρούνται σοβαρά περιορισμένες από κοινωνικοοικονομική και περιβαλλοντική άποψη. Λόγω αυτής της σπανιότητας, ο κύριος στόχος της Jordan Valley Authority, του φορέα που είναι υπεύθυνος για τη συνολική λειτουργία του αρδευτικού συστήματος Jordan Valley, είναι να εξισορροπήσει την προσφορά και τη ζήτηση μεταξύ του τομέα άρδευσης και της δημοτικής ζήτησης του Αμμάν.

Μέσα σε αυτήν την κατάσταση ακραίας λειψυδρίας και με αυξανόμενες απαιτήσεις για μεταφορά νερού από τη γεωργία για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών του Αμμάν, το υπάρχον ογκομετρικό σύστημα τιμολόγησης νερού δεν χρησιμοποιείται κυρίως ως εργαλείο διαχείρισης της ζήτησης. Μάλλον, οι σταθερές, ογκομετρικές κατανομές γίνονται στους αγρότες στην αρχή της σεζόν. Η ογκομετρική χρέωση αναμένεται να δώσει στους αγρότες κάποια αίσθηση της αξίας και της λειψυδρίας, αλλά ο βασικός στόχος της χρέωσης είναι η ανάκτηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Ομοίως, τα τέλη ύδρευσης καλύπτουν περίπου το 50% του κόστους λειτουργίας και συντήρησης για την άρδευση και θα πρέπει να τριπλασιαστούν για να επιτευχθεί πλήρης ανάκτηση του κόστους. Ωστόσο, υπάρχει ισχυρή πολιτική πίεση για να διατηρηθούν χαμηλά τα τέλη. Ελπίζεται ότι η αύξηση των τελών νερού θα οδηγήσει σε αυξημένη αποδοτικότητα χρήσης του νερού. Ωστόσο, αν και «το επίπεδο της χρέωσης του νερού έχει αποτελέσει αντικείμενο συνεχούς συζήτησης τα τελευταία χρόνια, η θεσμική πτυχή της χρηματοδότησης θίγεται λιγότερο συχνά» (Cornish et al., 2004). Το γεγονός ότι ο προϋπολογισμός συντήρησης που έχει εκχωρηθεί είναι ανεξάρτητος από τα τέλη που εισπράττονται μειώνει το κίνητρο για να λειτουργήσει αποτελεσματικά η χρέωση. Παρά την ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας στάγδην άρδευσης, οι αποτελεσματικότητες εφαρμογής για το νερό άρδευσης δεν έχουν βελτιωθεί σημαντικά και η απόδοση διανομής παραμένει χαμηλή με αποτέλεσμα οι αγρότες θεωρούν ότι η παροχή νερού είναι αναξιόπιστη. Έτσι, όταν υπάρχει διαθέσιμο νερό, τείνουν να υπεραρδεύουν για να αποθηκεύσουν νερό στο έδαφος, κατάσταση που οδηγεί σε μεγαλύτερες «απώλειες».

## 8. Συμπεράσματα-Προτάσεις

- Η ανάκτηση κόστους είναι η πιο σημαντική ενέργεια σε ένα σχέδιο τιμολόγησης καθώς αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την χρηματοοικονομική βιωσιμότητα του συστήματος και πολλές φορές είναι ο μοναδικός στόχος της τιμολόγησης.
- Ένα σύστημα τιμολόγησης θα πρέπει να στοχεύει στην πλήρη ανάκτηση κόστους, στην οικονομική αποτελεσματικότητα, στην κοινωνική ισότητα και στην διοικητική σκοπιμότητα.
- Μελλοντικά μπορεί να υπάρχουν χειρότερες συνθήκες νερού από ό,τι είναι σήμερα και πρέπει να προετοιμαστούμε καθιερώνοντας έργα επαναχρησιμοποίησης ως μία σημαντική πηγή νερού και μια καλή λύση για την πρόληψη μόλυνση των φυσικών υδάτινων πόρων.
- Έντονη ανάγκη ορθής ενημέρωσης και εκπαίδευσης του λαού για μείωση του νερού καταναλώσεις και πώς να εξοικονομούμε νερό στο σπίτι.
- Αποδοχή κοινής γνώμης σε θέματα επαναχρησιμοποίησης νερού με την βοήθεια κοινωνικών-περιβαλλοντικών ομάδων ή ακόμη και μέσω των ΜΚΟ για την εξοικονόμηση νερού.
- Υποχρεωτική εφαρμογή ανακτημένου νερού για όλες τις χρήσεις ακόμη και για πόση σε περιοχές με σοβαρές ελλείψεις νερού.
- Κρατικές χρηματοδοτήσεις για την κατασκευή και την συντήρηση έργων επαναχρησιμοποίησης και τη δημιουργία δικτύου διανομής για τους χρήστες κυρίως στον αρδευτικό τομέα.
- Πιο αυστηρά νομοθετικά μέτρα για την διαχείριση των υδάτων ως προς την ποσότητα κατανάλωσης και προώθηση του ανακτημένου νερού.
- Το τιμολόγιο για να κριθεί αν εξυπηρετεί με κερδοφόρο τρόπο την υπηρεσία παροχής νερού και να ικανοποιεί τον πελάτη θα πρέπει να γίνει μία σύγκριση περιπτώσεων από διάφορες περιοχές του κόσμου που έχουν όμοια προβλήματα στην διαχείριση των υδάτων, εξυπηρετούν την ίδια τάξη μεγέθους πληθυσμό και έχουν κοινό νομοθετικό πλαίσιο.

## 9. Βιβλιογραφία

### 9.1 Ξενόγλωσση

- Aharoni, A., 2010. Tariffs and cost recovery. Israeli case study and its management instruments. Water Reuse Workshop, Mekorot, 10 May, Nicosia, Cyprus.
- Angelakis, A.N. and Bontoux, L., 2001. Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. Water Policy 3., 47-59.
- Angelakis, A.N. and Gikas, P., 2014. Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. Water Utility Journal 8., 67-78.
- Apostolidis, N., Hertle, C. and Young, R., 2011. Water Recycling in Australia. MDPI Journal of Water. 3(3), 869-881.
- Barcelo, D., and Petrovic M., 2011. The handbook of environmental chemistry 14. Waste Water Treatment and Reuse in the Mediterranean Region.
- Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., and Melin, T., 2005. Wastewater reuse in Europe. Desalination 187, 87-101.
- Collivignarelli, M.C., Abba, A., Benigna, I., Sorlini, S. and Torretta, V., 2018. Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. MDPI Journal of Sustainability., 10(1), 86.
- Cornish, G., Bosworth, B., Perry, C., and Burke, J., 2004. Water charging in irrigated agriculture. An analysis of international experience. FAO Water Reports 28, 1020-1203, Rome.
- Crini, G. and Lichtfouse, E., 2018. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. Environmental Chemistry Letters 17, 145-155.
- Eastern, K.W., Liu, Y., 2005. Cost Recovery and Water Pricing for Irrigation and Drainage Projects, ARD, The World Bank, 55.
- EEA, 2023. [www.eea.europa.eu/en](http://www.eea.europa.eu/en). European Environment Agency: Water use and environmental pressures.
- European Commission, Cranfield University, BIO by Deloitte, ICF Iternational and Directorate-General for Environment. 2015. Optimising water reuse in the EU: final report, Part I. Policy Commons, Belgium.
- European Commission, 2003. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No 11: Luxembourg.
- Gancheva, M., McNeill, A. and Muro, M., 2018. Water Reuse - Legislative Framework in EU Regions. European Committee of the Regions. Milieu Ltd, Belgium.
- Gaulke, L.S., 2006. On-site wastewater treatment and reuses in Japan. Proceeding of the institution of mechanical engineers. Water Management 159. 103-109.
- Gikas, P. and Tchobanoglous, G., 2009. Sustainable use of water in the Aegean Islands. Journal of Environmental Management 90. 2601-2611.
- Gleick, P., Cooley, H., Cohen, M., Morikawa, M., Morrison and J., Palaniappan, M., 2009. The World's. The Biennial Report on Freshwater Resources. In: Chapter 5 China and Water. USA.
- Hakami, M.W., Alkhudhiri, A., Al-Batty, S., Zacharof, M.P., Maddy, J. and Hilal. N., 2020. Ceramic

- Microfiltration Membranes in Wastewater Treatment: Filtration Behavior, Fouling and Prevention. MDPI Journal of Membranes: Membrane Technologies for Resource Recovery. 10(9), 248.
- Hamdy, A., 2005. The use of non-conventional water resources. Options Méditerranéennes, Séries A n. 66, Urban Wastewater: Problems, risks and its potential use for irrigation. International Workshop Alger, Algeria, 12-14 June.
- Kampas, A., Vasilaki, A., Petsakos, A., and Stefopoulou, A., 2013. Irrigation Full Cost Assessment: The case of the Pinios Local Organization for Land Reclamation, Greece. No. 2013-1. AUA.
- Kirhensteine, I., Cherrier, V., Jarritt, N., Amec FW, IEEP, ACTeon, IMDEA, and NTUA., 2016. EU-level instruments on water reuse - Final report to support the Commission's Impact. European Commission, Luxembourg.
- Koutchma, T., 2009. Advances in Ultraviolet Light Technology for Non-thermal Processing of Liquid Foods. Springer Journal. Food and Bioprocess Technology 2. 138-155.
- Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Doll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K.A., Oki, T., Sen, Z. and Shiklomanov, I.A., 2007. Climate Change. In: Freshwater resources and their management, 173-210, Cambridge, UK.
- Lahnsteiner, J. and Lempert, G., 2007. www.ncbi.nlm.nih.gov/. Water management in Windhoek, Namibia. 55(1-2):441-8.
- Li, B., Tester, M., and Gilliam, M., 2017. Chloride on the Move. Trends Plant Science 22(3), 236-248.
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., and Jiao W., 2015. Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. Journal Environmental Sciences 39. 86-96.
- Metcalf and Eddy, 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4<sup>th</sup> ed, McGraw-Hill: Boston.
- Molino, M.S., Hernandez, S.F., and Sala, G.R., 2013. Tariffs and Cost Recovery in Water Reuse. Water Resour Manage. 27:1797–1808.
- Olsen, O.R., Hess-Erga, O.K., Larsen, A., Thuestad, G., Tobiesen, A. and Hoell, I.A., 2015. Flow cytometric applicability to evaluate UV inactivation of phytoplankton in marine water samples. Mar Pollut Bull. 96(1-2), 279-85.
- Osmo, T., Seppala, T., and Katko, S., 2003. Operational Paper. Appropriate pricing and cost recovery in water services. AQUA, Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 52(3), 225-236.
- Paranychanakis, N., Salgot, M., Snyder, S.A., and Angelakis, A.N., 2015. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. In: Water Reuse in EU States: Necessity for Uniform Criteria to Mitigate Human and Environmental Risks, 1409-1468.
- Parsons, S., 2004. Advanced Oxidation Process for Water and Wastewater Treatment. (I. Publishing, 1<sup>st</sup> ed. UK.
- Ritter, W., 2021. State Regulations and Guidelines for Wastewater Reuse for Irrigation in the U.S. MDPI Journal of Water. 13(20), 2818.
- Rogers, P., Silva, R., and Bhatia, R., 2001. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. Water Policy 4. 1-17.
- Sancho, H.F., Senante, M.M., and Sala, G.R., 2003. Water Pricing Experiences and Innovations. In: Chapter 22, Pricing for Reclaimed Water in Valencia, Spain: Externalities and Cost Recovery. pp

- Sanz, A.L., Gawlik, B., 2014. Water Reuse in Europe - Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. EUR 26947. Luxembourg.
- Sanz, J., Suescun, J., Molist, J., Rubio, F., Mujeriego, R., and Salgado, B., 2015. Reclaimed water for the Tarragona petrochemical park. *Water Science and Technology: Water Supply*. 15.2, 308.
- Shen, D. and Wu, J., 2017. Water pricing reform in China. *International Journal of Water Resources Development* 33(2), 1-36.
- Smith, CDM., 2012. U.S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. Office of Wastewater Management. Office of Water. Washington, D.C. 600/R-12/618.
- Swartz, C.D., 2009. A planning framework to position rural water treatment in South Africa for the Future. Water Research Commission. South Africa.
- Takeuchi, H. and Tanaka, H. 2020. Water reuse and recycling in Japan - History, current situation, and future perspectives. *Water Cycle*, 1-12.
- Tsur, Y., Roe, T., Doukkali, R., Dinar, A., 2004. Pricing Irrigation Water. Principles and Cases from Developing Countries, Resources for the future, Washington, DC, USA, page 319.
- Todd, D.K., and Mays, L.W., 2005. Groundwater Hydrology. 3<sup>rd</sup> ed.; John Wiley & Sons Inc. USA.
- USEPA, 1999. Wastewater Technology Fact Sheet Chlorine Disinfection. Office of Water. Washington, D.C. 832-F-99-062.
- USEPA, 2003. Wastewater Technology Fact Sheet Disinfection for Small Systems. Office of Water. Washington, D.C. 832-F-03-024.
- Wang, D.H.M., and Huang, C.Y., 2022. Exploring the Environmental Cost of Water Resources: A Case Study. *Journal of Business and Management Sciences*, 10(1), 13-19.
- WHO, 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. In: Volume 4 Excreta and greywater use in agriculture, France.
- Wu, H., 2011. Water Practice and Technology. In: Pricing water for sustainable cost recovery: a study on China's water tariff reform, Volume 6, Issue 4, Oxford.
- <https://www.knowyourh2o.com/indoor-4/ozonation-in-water-treatment>.
- <https://www.pub.gov.sg/>.
- <https://www.sydneywater.com.au/>
- <http://www.mnwd.com/budget-modification/>

## 9.2 Ελληνόγλωσση

- Ανδρεαδάκης, Α., Κατσίρη, Α., και Μαμάης, Δ. 2001. Τεχνολογία αντιμετώπισης περιβαλλοντικών επιπτώσεων - Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων. Τόμος. Α. ΕΑΠ, Πάτρα.
- Ανδρεαδάκης, Α., Πανταζίδου, Μ., και Σταθόπουλος, Α. 2008. Περιβαλλοντική Μηχανική. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Βλυσίδης, Α., 2021. Τεχνολογία Πόσιμου Νερού (σημειώσεις μαθήματος). Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Πατρών.

- Βλυσίδης, Α., Γρηγοροπούλου, Ε., και Λυμπεράτος, Γ., 2018. Περιβαλλοντική Μηχανική (σημειώσεις μαθήματος). Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Γκίκας, Π., 2020. Σχεδιασμός Χημικών και Περιβαλλοντικών Εγκαταστάσεων - Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (σημειώσεις μαθήματος). Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Θεοδωροπούλου, Δ., 2022. Ανάπτυξη Πρωτοκόλλων Χημικών Αναλύσεων Νερού Σύμφωνα με Πρότυπες Μεθόδους Ανάλυσης. Πτυχική Εργασία, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Πάτρα.
- Καρβούνης, Σ.Κ. και Γεωργακέλλος, Δ.Α., 2003. Διαχείριση του Περιβάλλοντος Επιχειρήσεις & Βιώσιμη Ανάπτυξη. Εκδόσεις Βαρβαρήγου.
- Κασσελά, Ν., 2018. Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων στο Αστικό Περιβάλλον - Πρακτικές, Τεχνολογίες και Τάσεις, Σεμινάριο Κατάρτισης για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων στο Αστικό Περιβάλλον, Rotterdam.
- Κορνάρος, Μ., 2015. Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Αστικών Υγρών Αποβλήτων (σημειώσεις μαθήματος), Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κούγκολος, Α.Γ., 2007. Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Λοϊζίδου, Μ., 2006. Περιβαλλοντική Επιστήμη και Τεχνολογία (σημειώσεις εργαστηριακής μονάδας), Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Λυμπεράτος, Γ., και Βαγενάς, Δ., 2012. Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Λυμπεράτος, Γ., Γιαπιτζάκης, Κ., και Κορνίτσας, Κ., 2004. Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων - Βιομηχανικά Υγρά Απόβλητα. Τόμος Β, Εκδόσεις Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Μπακοπούλου, Σ., 2014. Διαχείριση Αποβλήτων (σημειώσεις μαθήματος), Ενότητα 3. Επεξεργασία Αστικών Υγρών Αποβλήτων (Λυμάτων), Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Νικολαΐδης, Χ., Κωνσταντινίδης, Θ.Κ., Αλεξανδροπούλου, Ι., Βαρελά, Α., Κωνσταντινίδης, Θ.Γ., Μάνδαλος, Π., Μπινοπούλου, Σ., Παρασίδης, Θ., και Τσελεμπόνης, Α., 2009. Χρήσεις του νερού και επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών από την σκοπιά της υγιεινής περιβάλλοντος. Αλεξανδρούπολη.
- Νταράκας, Ε.Ν., 2010. Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (σημειώσεις μαθήματος), Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Υγρικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, ΑΠΘ.
- Ντακάρης, Ε.Ν., 2016. Τεχνική Περιβάλλοντος: Διεργασίες Επεξεργασίας Νερού και Υγρών Αποβλήτων, Εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη.
- Πάνωρας, Α., και Ηλίας, Α., 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά στικά απόβλητα, Εκδόσεις Γιαλούδη Γιαπούλη.
- Παρανυχιανάκης, Ν., 2009. Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκρών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα. Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων - Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης, Λάρισα.
- Πελτέκης, Π., 2019. Κοστολόγηση και τιμολόγηση του νερού της ύδρευσης σύμφωνα με την πλήρη αξία του στην περιοχή της Κομοτηνής. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.



- Σταθάτου, Π.Μ., 2017. Επαναχρησιμοποίηση Νερού: Περιβαλλοντική Προστασία και Δείκτες Μέτρησης Επίδοσης, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Στάμου, Α. και Βογιατζής, Ζ., 1994. Βασικές αρχές και σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων (2η εκδ.). Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Αθήνα.
- Στρατηγάκη, Β., 2007. Σχεδιασμός και λειτουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας πόσιμου νερού. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Τρούσσα, Μ.Σ., 2009. Υφαλμύρωση υπογείων υδροφορέων νομού Χανίων. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.
- Τσώτα, Μ.Α., 2019. Αποτίμηση Πλήρους Κόστους Αρδευτικού Νερού Στη Λεκάνη Απορροής του Αλμυρού και Εναλλακτικά Σενάρια Βιώσιμης Διαχείρισης. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- Τσομπάνογλου, Α., και Αγγελάκης, Α.Ν., 1995. Υγρά Απόβλητα Φυσικά Συστήματα και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκρών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Χρυσανθοπούλου, Π., 2018. Επαναχρησιμοποίηση νερού: Αποδοχή από το κοινό και από διάφορες κοινωνικές και επαγγελματικές ομάδες. Διπλωματική εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, ΕΑΠ, Πάτρα.
- Χρυσικόπουλος, Κ., 2018. Εισαγωγή στις διεργασίες καθαρισμού νερού και λυμάτων. (2η εκδ.). Εκδόσεις Τζιόλα.
- EUROPA, 2020. Eur-Lex - 32020R0741: Κανονισμός (ΕΕ) 2020/741 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Μαΐου 2020 σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση των υδάτων.
- <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg763e/ch8.htm>.
- <https://www.slideshare.net/elokab/ss-7398738>.
- <https://docplayer.gr/66622734-Hania-noemvrios-2013-thesmiko-plaisio-gia-tin-epanahrisimopoiisi-epexergasmenon-ygron-apovliton.html>.
- <https://ypen.gov.gr/diacheirisi-apovliton/astika-lymata/nomothesia/>.
- <https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/odigia-plaisio-gia-ta-nera/>