

**ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ: ΜΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ ΓΙΑ
ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**
Σταθάτου Πατρίτσια-Μαρία

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ: ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Συμβουλευτική Επιτροπή: Ε. Γρηγοροπούλου, Καθηγήτρια Σχολής ΧΜ ΕΜΠ (επιβλέπουσα)

Δ. Ασημακόπουλος, Καθηγητής Σχολής ΧΜ ΕΜΠ

Α. Ανδρεαδάκης, Καθηγητής Σχολής ΠΜ ΕΜΠ

Ημερομηνία Έναρξης: 19 Απριλίου 2013

Προβλεπόμενος Χρόνος Ολοκλήρωσης: Απρίλιος 2016

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

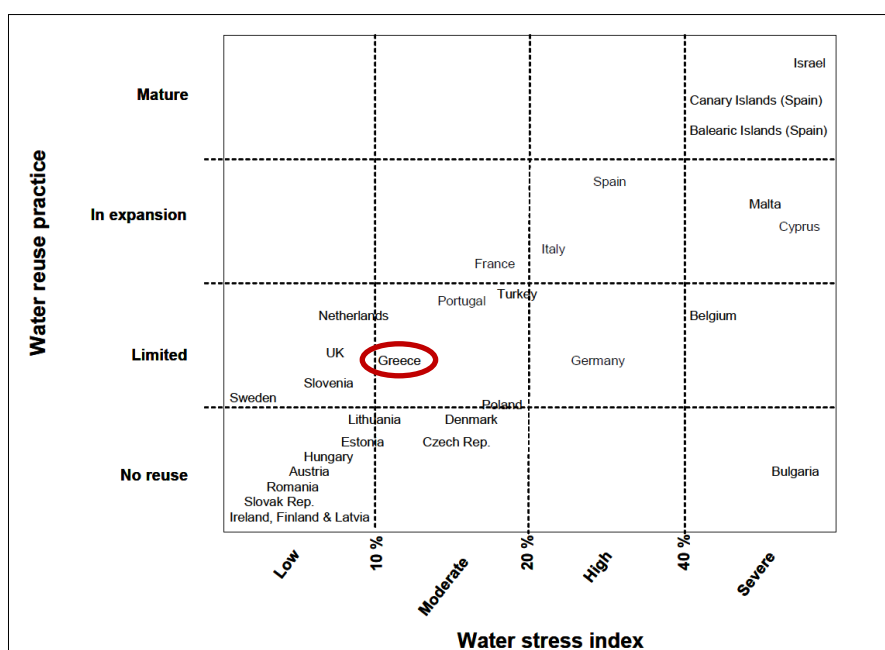
Τις τελευταίες δεκαετίες, η έντονη οικονομική ανάπτυξη, η συνεχής αύξηση του πληθυσμού σε παγκόσμια κλίμακα, η αλλαγή των χρήσεων γης και οι συχνές μεταβολές στους υδρολογικούς κύκλους έχουν δημιουργήσει συνθήκες περιορισμένης ποσότητας και υποβαθμισμένης ποιότητας στα αποθέματα γλυκού νερού. Έτσι, το γλυκό νερό σε πολλές περιοχές θεωρείται πλέον ένας φυσικός πόρος σε ανεπάρκεια [1, 2]. Για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων στον τομέα των υδάτων είναι επιτακτική η υιοθέτηση ενός ορθολογικού συστήματος διαχείρισης, το οποίο θα αναζητά και θα εφαρμόζει εναλλακτικές λύσεις για την αποδοτικότερη χρήση και τη μειωμένη ρύπανση των υδατικών πόρων.

Στα πλαίσια αυτά, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων προωθούνται από Ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες και στρατηγικές που έχουν ως στόχο την αποδοτικότερη χρήση των πόρων και την υιοθέτηση του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας (circular economy) [3]. Ιδιαίτερη έμφαση και προτεραιότητα στις τεχνικές επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης δίνεται και από τη χημική βιομηχανία σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς οι τεχνολογίες επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης νερού χρησιμοποιούνται στο «κλείσιμο των βρόγχων» της παραγωγικής διαδικασίας [4].

Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποτελούν μία αξιόπιστη εναλλακτική πηγή υδροδότησης που μπορεί να ενισχύσει διάφορες χρήσεις (γεωργικές, αστικές/οικιακές, βιομηχανικές). Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων συμβάλλει στη διατήρηση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων, είτε άμεσα καλύπτοντας τη ζήτηση νερού για συγκεκριμένες χρήσεις (π.χ. άρδευση καλλιεργειών, καθαρισμό δρόμων, νερό για λέβητες βιομηχανιών, κ.ά.), είτε έμμεσα αντικαθιστώντας την κατανάλωση πόσιμου νερού για χρήσεις που δεν έχουν υψηλές ποιοτικές απαιτήσεις [5]. Παράλληλα, μέσω της επαναχρησιμοποίησης ενισχύεται η περιβαλλοντική προστασία, λόγω της μειωμένης απόρριψης λυμάτων στους υδάτινους αποδέκτες [6, 7]. Επομένως, η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θα μπορούσε να συμβάλει στην επίλυση των προβλημάτων περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού, και κατ'επέκταση στην μείωση της

τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, δηλαδή στην αδυναμία τους να υποστηρίξουν τις απαραίτητες φυσικές διαδικασίες και να εξασφαλίσουν τις ανάγκες του πληθυσμού, όταν λειτουργούν υπό δυσμενείς συνθήκες (π.χ. υπερεκμετάλλευση, ποιοτική υποβάθμιση, υδρολογικές μεταβολές, κ.ά.).

Οι τεχνικές επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων εφαρμόζονται όλο και περισσότερο ανά τον κόσμο, ενώ οι πιο αναπτυγμένες πρακτικές επαναχρησιμοποίησης συναντώνται σε περιοχές με έντονα προβλήματα έλλειψης νερού (π.χ. Ισραήλ, Κανάριες και Βαlearίδες Νήσοι, κ.ά.) (Εικόνα 1). Ωστόσο, μέχρι στιγμής, η δυναμική της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως, ειδικά σε επίπεδο Ευρώπης (μέχρι το 2006 ο συνολικός όγκος των επαναχρησιμοποιημένων υγρών αποβλήτων αντιπροσώπευε μόνο το 2,4% των επεξεργασμένων λυμάτων) [8]. Αυτό οφείλεται τόσο στην έλλειψη σχετικού θεσμικού πλαισίου, όσο και στην απουσία κατάλληλων εργαλείων για την εκτίμηση της συνεισφοράς της επαναχρησιμοποίησης στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας και τη σχετική ενημέρωση των αρμοδίων αρχών.



Εικόνα 1: Συσχέτιση βαθμού επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και δείκτη έλλειψης νερού (water stress index) σε περιοχές της Ευρώπης και της Μεσογείου [8, 9]

Η ανάπτυξη μεθόδων και εργαλείων για την αξιολόγηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων αφενός, και για την εκτίμηση της πιθανής συνεισφοράς της επαναχρησιμοποίησης στη μείωσή της αφετέρου, θα μπορούσαν να συμβάλουν ουσιαστικά στην αποτελεσματική διαχείριση και παρακολούθηση της λειτουργίας των υδατικών συστημάτων, προάγοντας τη διεύθυνση των πρακτικών επαναχρησιμοποίησης. Το ερευνητικό ερώτημα που τίθεται, λοιπόν, είναι: πώς θα μπορούσε να εκτιμηθεί η πιθανή συνεισφορά του επαναχρησιμοποιημένου / ανακυκλωμένου νερού στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, για την ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών, με στόχο τη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό θα βοηθήσει στην επίτευξη των στόχων της διδακτορικής αυτής διατριβής, οι οποίοι συνοπτικά είναι: (α) η εκτίμηση της δυνατότητας ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας, (β) η εκτίμηση της πιθανής συνεισφοράς της επαναχρησιμοποίησης στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, και (γ) η ανάπτυξη και

πρόταση στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης σύμφωνα με τις τοπικές ανάγκες (ενισχυόμενες χρήσεις, τεχνολογίες - βασικός σχεδιασμός μονάδας και τεχνοοικονομική ανάλυση).

Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων σε δυσμενείς συνθήκες (έλλειμμα νερού, λειψυδρία, υπερεκμετάλλευση, υδρολογικές μεταβολές, ποιοτική υποβάθμιση), και τον εντοπισμό κατάλληλων στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης / ανακύκλωσης νερού για τη μείωσή της [10]. Η τρωτότητα θεωρήθηκε συνάρτηση της πιθανής έκθεσης του συστήματος σε κινδύνους (exposure), της ενδογενούς ευαισθησίας του (sensitivity), και της προσαρμοστικής του ικανότητας στις αλλαγές που συνεπάγονται οι κίνδυνοι αυτοί (adaptive capacity) [11, 12]

Το αναλυτικό πλαίσιο, που αναπτύχθηκε, στηρίζεται σε ένα σύστημα 20 δεικτών οι οποίοι εκφράζουν τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας (exposure, sensitivity, adaptive capacity). Με τη βοήθεια των επιλεγμένων δεικτών συνεκτιμώνται η φυσική κατάσταση των υδατικών πόρων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος υδροδότησης (π.χ. εγκαταστάσεις, διανομή, κ.ά.), καθώς και τα κοινωνικό-οικονομικά και θεσμικά χαρακτηριστικά που διέπουν τη χρήση των υδατικών πόρων. Το πλαίσιο αυτό εφαρμόστηκε στις 4 περιοχές μελέτης του χρηματοδοτούμενου από την Ε.Ε. ερευνητικού έργου COROADO [FP7 - ENV.2011.3.1.1-1], που έχει ως στόχο την προώθηση της εφαρμογής τεχνολογιών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης νερού στη Λατινική Αμερική [13]. Η αξιολόγηση της τρωτότητας έγινε συγκρίνοντας τις τιμές των δεικτών αυτών, για τις 4 περιοχές μελέτης, με αντίστοιχες οριακές τιμές (vulnerability thresholds). Από τη συγκριτική ανάλυση, αναγνωρίστηκαν οι παράγοντες που διαμορφώνουν την τρωτότητα και ασκούν πίεση στους διαθέσιμους πόρους, καθώς και οι πτυχές των υπό μελέτη συστημάτων που χρήζουν βελτίωσης.

Στη συνέχεια, με θεώρηση του αρχικού συνόλου δεικτών και χρήση της στατιστικής μεθόδου ανάλυσης των κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis) [14] για τις 4 περιοχές μελέτης, αναπτύχθηκε ένας συνολικός δείκτης τρωτότητας (Overall Vulnerability Index). Ο συνολικός δείκτης τρωτότητας επιτρέπει την ανάλυση της πιθανής συνεισφοράς εναλλακτικών στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, και τον εντοπισμό κατάλληλων παρεμβάσεων.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε παρέχει τη δυνατότητα αποτίμησης και παρακολούθησης της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, καθώς και την εκτίμηση της συνεισφοράς εναλλακτικών στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης για τη μείωσή της, ανεξαρτήτως χρονικής και χωρικής κλίμακας εφαρμογής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Gleick, P. H. (1993). *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. New York: Oxford University Press.
- [2] Hoekstra, A.Y. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, 68 (7), 1963-1974.
- [3] European Commission (EC). (2011). *Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions: Roadmap to a resource efficient Europe*. Retrieved from:

http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/pdf/com2011_571.pdf (Accessed 26 March 2014).

- [4] MacAdam, J. (2012). *ChemWater Deliverable 3.2*. FP7 project ChemWater.
- [5] Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York, NY: McGraw Hill.
- [6] Friedler, E. (2001). Water reuse - an integral part of water resources management: Israel as a case study. *Water Policy*, 3, 29-39.
- [7] Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, G., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M., & Brissaud, F. (2001). Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology*, 43, 25-33.
- [8] Mediterranean and European Union Water Initiative (MED-EUWI). (2007). *Mediterranean Wastewater Reuse Report*. Retrieved from: <http://www.emwis.net/topics/WaterReuse> (Accessed 14 May 2013).
- [9] Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., & Melin, T. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187, 89-101.
- [10] Stathatou, P. M., Kampragou, E., Grigoropoulou, H., & Assimacopoulos, D. (2014). *Vulnerability of water systems: A comprehensive framework for its assessment and identification of adaptation strategies*. ADAPTtoCLIMATE International Conference, Nicosia, Cyprus, 27-28 March.
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- [12] Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16, 293-303.
- [13] COROADO: “*Technologies for Water Recycling and Reuse in Latin American Context: Assessment, Decision Tools and Implementable Strategies under an Uncertain Future*”, 7th FP, Grant agreement no: 283025, Time period: 10/2011-09/2015.
- [14] Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis*, Second Edition. New York: Springer – Verlag.