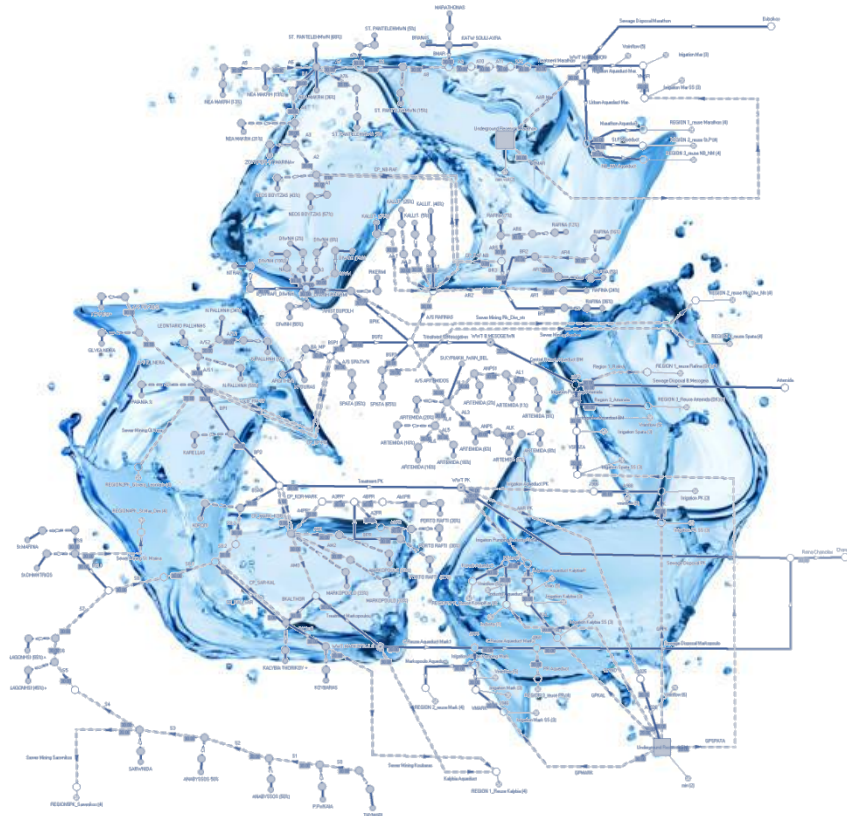




**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ  
ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΝ. ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – ΣΕΝΑΡΙΩΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ**



**ΚΟΥΝΤΡΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επιβλέποντες:**

Μακρόπουλος Χρήστος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Φεβρουάριος 2022**





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ  
ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΝ. ΑΤΤΙΚΗΣ ΥΠΟ  
ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – ΣΕΝΑΡΙΩΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

## DIPLOMA THESIS

---

INTEGRATED SEWAGE REUSE SIMULATION MODEL IN  
EAST ATTICA UNDER UNCERTAINTY – SCENARIOS &  
MANAGEMENT

**ΚΟΥΝΤΡΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**Επιβλέποντες:**

Μακρόπουλος Χρήστος, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.





Copyright ©ΕΜΠ, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα και των επιβλεπόντων καθηγητών. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεών του

(Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright ©NTUA, 2022

All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission either from the author or the supervisor(s). Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization

(L. 5343/1932, art. 202)



*“Με την επιθυμία ελάχιστα  
πράγματα επιτυγχάνονται,  
ενώ με την προνοητικότητα  
πάρα πολλά.”*  
Θουκυδίδης (411 π.Χ.)

*“Να ξέρεις να κυβερνάς τη διάθεσή σου,  
γιατί αν δεν υπακούει τότε διατάζει.”*  
Οράτιος (65-8 π.Χ.)



# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής μου εργασίας σηματοδοτείται και η ολοκλήρωση των σπουδών και της φοίτησης μου στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Μίας φοίτησης – εμπειρίας που αδιαμφισβήτητα μου χάρισε πλήθος στιγμών άλλοτε χαρούμενων και άλλοτε δύσκολων, ενός ταξιδιού γνώσεων όχι μόνο ειδίκευσης αντικειμένου, αλλά και ζωής. Το πενταετές αυτό ταξίδι που αναμφίβολα έχει αποτελέσει ένα σημαντικό κεφάλαιο της ζωής μου και θα ριζώσει βαθιά μέσα στις σκέψεις μου τα επικείμενα χρόνια της ζωής μου, δεν είναι δυνατό να λήξει χωρίς να αποδώσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που το έκαναν τόσο ξεχωριστό.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες της εργασίας μου κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, Επικ. Καθηγητή Ε.Μ.Π. και κ. Μακρόπουλο Χρήστο, Καθηγητή για την εμπιστοσύνη και την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος καθώς και το ερευνητικό προσωπικό του Ε.Μ.Π., που δίχως τη βοήθειά του το θέμα δεν θα είχε ωριμάσει στην τελική μορφή που παρουσιάζεται. Τους ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου για την βοήθεια σε καίρια σημεία της εργασίας μου, για τις ιδέες που συντέλεσαν στην ολοκλήρωσή της, για την υποστήριξη και έμπνευση που μου έδωσαν με την εργατικότητα, το ήθος και τις γνώσεις τους.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά, την διδακτορική και ερευνητική ομάδα, τον Διονύση Νικολόπουλο (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc, Υπ. Δρ. Μηχανικός), τον Παναγιώτη Δήμα (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc, Υπ. Δρ. Μηχανικός), τον Νίκο Πελεκάνο (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc), τον Σπύρο Τσαταλιό (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc) το Γιώργο Μωραΐτη (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc), τον Γιάννη Τσουκαλά (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc, Δρ. Μηχανικός) τον Παναγιώτη Κοσσιέρη (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, MSc, Δρ. Μηχανικός), τη Τζωρτζίνα Σακκή (Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Υπ. Δρ. Μηχανικός) που ήταν πάντα εκεί για τυχούσες απορίες μου και πάντα πρόθυμοι να με βοηθήσουν. Κυρίως ένα μεγάλο ευχαριστώ για την όμορφη παρέα τους, μιας και ένα σημαντικό μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε στα γραφεία του Ε.Μ.Π., που συντέλεσε στην ομορφιά της διαδικασίας της διπλωματικής εργασίας.

Δεν γίνεται να αμεληθεί η προσφορά μελών της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Ζητώ ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Φούγια Ευάγγελο (Πολιτικός Μηχανικός, MSc, Δρ. Μηχανικός, Διευθυντής Αποχέτευσης Αν. Αττικής) για την παραχώρηση μελετών και δεδομένων που χωρίς αυτά η υλοποίηση της παρούσης θα ήταν δυσκολότερη έως αδύνατη. Μεγάλο ευχαριστώ επίσης στον κ. Σούλη Βασίλη (Δρ. Πολιτικός Μηχανικός) υπεύθυνο της πρακτικής μου, που με εμπιστεύτηκε με καθοδήγησε και με τη βοήθειά του ήρθα σε προσωπική επαφή με τον κ. Φούγια και άλλα μέλη της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της ερευνητικής ομάδας «ΙΤΙΑ», προεξεχόντων των κ.κ. καθηγητών Κουτσογιάννη, Μαμάση, Παπανικολάου, Μαλαμή για το ζήλο που επέδειξαν μέσα σε δύσκολες εποχές πανδημίας να μας διδάξουν με όποιο διαθέσιμο μέσο, και να μας μεταλαμπαδεύσουν τις γνώσεις τους.

Σε προσωπικό επίπεδο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, χωρίς να επεκταθώ σε ονόματα, που ήταν δίπλα μου σε όλα τα χρόνια της φοιτητικής μου πορείας, εκτιμώντας από τα βάθη της ψυχής μου την αμέριστη συμπαράστασή τους στα δύσκολα και τα εύκολα και που χωρίς εκείνους όλο αυτό το ταξίδι δεν θα ήταν το ίδιο. Τόσο τους νέους που έκανα μέσα στη σχολή όσο και τους φίλους που στέκονται μαζί μου χρόνια. Τους φίλους που αναμένω να δω την εξέλιξη τους και να είμαστε συνοδοιπόροι και στα επόμενα κεφάλαια της ζωής μας.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στην οικογένεια μου, όσων βρίσκονται φυσικά κοντά μου αλλά και μακριά μου. Σε αυτούς οφείλω τον άνθρωπο που έχω γίνει μέσα στα χρόνια. Τους ευχαριστώ για την αγάπη, την ανοχή τους στις ιδιοτροπίες μου και τη συνεχή συμπαράστασή τους. Τους αγαπώ αν και δεν το δείχνω πάντα έμπρακτα. Τους ευχαριστώ για όλα.

Κούντρας Κωνσταντίνος  
Αθήνα, Φεβρουάριος 2022







# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η περιοχή της Αττικής καλύπτει έκταση 3.808 km<sup>2</sup>, στην οποία ρέουν δύο κύριοι ποταμοί, ο Ιλισσός και ο Κηφισός, που στις αστικοποιημένες περιοχές έχουν μετατραπεί σε εγκιβωτισμένους αγωγούς όμβριων υδάτων και αποχετεύονται στον Σαρωνικό κόλπο. Η Αττική έχει περίπου 3.742.000 κατοίκους (2019) και περιλαμβάνει την πρωτεύουσα της χώρας, την Αθήνα. Η Αττική είναι μια τυπική μεσογειακή περιοχή που υπόκειται σε ισχυρές και αυξανόμενες επιπτώσεις που προκαλούνται από την κλιματική κρίση αλλαγή και άλλους παράγοντες των περιβαλλοντικών κοινωνικοοικονομικών και τεχνολογικών αλλαγών. Η περιοχή πλήττεται από διάφορες πιέσεις που προκύπτουν από τον αυξανόμενο πληθυσμό, τις διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες και τις -συχνά ανταγωνιστικές- χρήσεις γης μέσω της έλλειψης σωστής και βιώσιμης διαχείρισης και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα, η μεγάλη αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών και του κινδύνου ξηρασίας και η μείωση των βροχοπτώσεων έχει επηρεάσει την ανθρώπινη ζωή και το περιβάλλον. Επιπλέον, η αυξανόμενη ζήτηση νερού για τη γεωργία και το περιβαλλοντικό (αστικό – περιαστικό) πράσινο έχει οδηγήσει σε ανταγωνισμό μεταξύ διαφορετικών χρήσεων γης και χρηστών. Αυτό το φαινόμενο εντείνεται από την αύξηση του όγκου των τουριστικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων. Σε αρκετές περιπτώσεις η αύξηση της διείσδυσης θαλασσινού νερού λόγω της υπερβολικής άντλησης υπόγειων υδάτων έχει οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών, με επιπτώσεις στην οικονομική βιωσιμότητα της περιοχής. Η άνοδος της θερμοκρασίας έχει επίσης οδηγήσει σε αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για ψύξη, εντατικοποίηση των ξαφνικών πλημμυρών και κακή ποιότητα του αέρα. Αυτή η κατάσταση θα υποβάλει αυτήν την περιοχή σε ένα πλαίσιο αυξανόμενης κοινωνικής και οικονομικής σύγκρουσης που απαιτεί μετασχηματιστικές λύσεις προσαρμογής για την αύξηση της ανθεκτικότητας (resilience) της κοινότητας. Απαιτείται μια νέα κοινωνική και εδαφική συμφωνία στην περιοχή για να καταστεί δυνατή η ταχεία και εκτεταμένη αλλαγή για την επίτευξη μίας βιώσιμης μετάβασης.

## **Η ευκαιρία: Νέο Σύστημα Λυμάτων Ανατολικής Αττικής (ΣΛΑΑ)**

Μια μοναδική ευκαιρία για την Περιφέρεια έρχεται από την κατασκευή του νέου Συστήματος Λυμάτων Ανατολικής Αττικής (ΣΛΑΑ) με τη φιλοδοξία να γίνει σημαντικός κόμβος κυκλικής οικονομίας για αυτήν. Η ΕΥΔΑΠ και η Ελληνική Κυβέρνηση επενδύουν πάνω από 1 δισεκατομμύριο ευρώ (υποστηρίζονται και από τα διαρθρωτικά ταμεία της ΕΕ) σε νέες υποδομές λυμάτων. Η επένδυση αυτή περιλαμβάνει νέα δίκτυα λυμάτων, αντλιοστάσια, αλλά και τρεις (3) νέες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Αυτά τα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) έχουν σχεδιαστεί για να είναι κόμβοι κυκλικής οικονομίας για την ευρύτερη περιοχή, παρέχοντας επεξεργασμένο νερό για μη πόσιμες χρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της γεωργικής άρδευσης, αλλά και παροχή ενέργειας μέσω βιοαερίου και ανάκτησης υλικών. Επιπλέον, το σύστημα αναμένεται να εκτρέψει τα υψηλής ποιότητας επεξεργασμένα λύματα,

όταν οι άλλες απαιτήσεις είναι χαμηλές, σε τροφοδοσία υδροφορέων για τους ταλαιπωρημένους παράκτιους υδροφορείς της Περιφέρειας Αττικής. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος είναι επίσης σημαντικές και λαμβάνονται υπόψη (συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης ανύψωσης ακατέργαστων λυμάτων σε σημαντικά ύψη λόγω της επιβολής περιορισμών για ορισμένες από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας). Ως εκ τούτου, η ΕΥΔΑΠ διερευνά επιλογές ενεργειακής βελτιστοποίησης και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Αν και η ευκαιρία (και η κύρια επένδυση) υπάρχει, απαιτούνται περαιτέρω βήματα για να μετατραπεί αυτή η ευκαιρία σε πραγματικό αντίκτυπο για πολυτομεακή, πολυεπίπεδη κλιματική ανθεκτικότητα π.χ. νερό, ενέργεια, τρόφιμα, Natural Based Solutions, αντιμετώπιση πλημμύρων, εισβολή αλατιού στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΥΥΣ) και πιθανώς αντιμετώπιση δασικών πυρκαγιών.

### **Το σχέδιο έρευνας**

Η έρευνα θα περιλαμβάνει δύο αλληλένδετες δραστηριότητες: (i) την ανάπτυξη ενός «βασικού σχεδίου» για το επαναχρησιμοποιούμενο νερό στην περιοχή (ως βάση για την ανάπτυξη σεναρίου ζήτησεων) και (ii) την ανάπτυξη του αντίστοιχου μοντέλου προσομοίωσης νερού-ενέργειας για το σύστημα αποχέτευσης, για τη διασφάλιση της βέλτιστης ικανοποίησης των απαιτήσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας.

*Δραστηριότητα 1: Γενικό Σχέδιο Νερού – Ενέργειας και Επιχειρησιακό Σχέδιο για αυτόνομες κλιματολογικές περιοχές.*

Θα εκπονηθεί γενικό σχέδιο για την Περιφέρεια για επαναχρησιμοποιούμενο νερό που εξάγεται από τα λύματα του ολοκληρωμένου συστήματος λυμάτων Ανατολικής Αττικής (τόσο από μονάδες ΚΕΛ όσο και από μονάδες εξόρυξης υπονόμων – Sewer Mining) προς όφελος (i) των τοπικών κοινοτήτων αγροτών (ii) των ευαίσθητων συστημάτων υπόγειων υδάτων υπό σοβαρή καταπόνηση, με χρήση περίσσειας νερού για τη βελτίωση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων και την ανάσχεση της αλατούχας εισβολής (iii) της αποκατάστασης ευαίσθητων οικοσυστημάτων για τη διατήρηση περιβαλλοντικών υπηρεσιών (iv) της πυρόσβεσης και υποστήριξης αναδασωτικών δραστηριοτήτων στην περιοχή που πλήττεται από δασικές πυρκαγιές. Τέτοιες προσπάθειες προς το παρόν αναγκάζονται να χρησιμοποιούν τόσο το αναντικατάστατο πόσιμο νερό όσο και το θαλασσινό νερό, με δυσμενείς επιπτώσεις που επιδεινώνονται από την κλιματική αλλαγή.

*Δραστηριότητα 2: Μοντέλο προσομοίωσης Νερού – Ενέργειας για συστήματα λυμάτων που λειτουργούν ως κόμβοι περιφερειακής κυκλικής οικονομίας και κλιματικής ανθεκτικότητας.*

Για την υλοποίηση των νέων απαιτήσεων και στόχων κυκλικής οικονομίας για επεξεργασμένα λύματα, παραγωγή θρεπτικών ουσιών και ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος, που προβλέπονται στο masterplan, θα σχεδιαστεί και θα αναπτυχθεί ένα συζευγμένο μοντέλο προσομοίωσης νερού-ενέργειας για το σύστημα λυμάτων Ανατολικής Αττικής. Ο τελικός χρήστης του μοντέλου θα είναι ο διαχειριστής συστήματος (ΕΥΔΑΠ) που θα αναπτύξει λειτουργικούς κανόνες για την ολοκληρωμένη λειτουργία των ΚΕΛ. Με παρόμοιο τρόπο η

ΕΥΔΑΠ αναπτύσσει επί του παρόντος λειτουργικούς κανόνες για το εξωτερικό της σύστημα παροχής ακατέργαστου νερού για την Αθήνα. Το μοντέλο θα χρησιμοποιεί δεδομένα από το ίδιο το σύστημα (π.χ. SCADA της ΕΥΔΑΠ) αλλά και πρόσθετα ανοιχτά σύνολα δεδομένων (υδρολογία, υδρογεωλογία, μετρήσεις πεδίου, προβλέψεις, αντλήσεις, αγροτικές ανάγκες σε νερό, βιομηχανικές ανάγκες σε νερό κ.λπ.) και θα είναι μία βάση για τον μελλοντικό σχεδιασμό σεναρίων και την ανάλυση κόστους-οφέλους της περιοχής. Η προηγμένη στοχαστική ανάλυση θα επιτρέψει την αξιολόγηση των επιπτώσεων της αβεβαιότητας, ως επί το πλείστον από την άποψη των απαιτήσεων.



# ABSTRACT

---

The region of Attica covers an area of 3,808 km<sup>2</sup> and includes two main rivers like Ilissos and Kifisos, which in the urbanized areas have been transformed into closed storm water conduits and discharges into Saronikos Gulf. Attica has about 3,742,000 inhabitants (2019) and includes the country's capital district, Athens. Attica is a typical Mediterranean region subject to strong and increasing impacts caused by climate change and other global change drivers. The region is stressed by different factors arising from human overpopulation, various activities and often competitive land use through the lack of proper and sustainable management and protection of the natural environment. Particularly, the large increase in heat extremes and risk of droughts and the decrease of precipitation has impacted human life and the environment. Additionally, the increasing water demand for agriculture and environmental green has led to a competition between different uses & users. This is intensified by increasing volumes of tourism and recreational activities. In several cases the increase of sea water intrusion due to over abstraction of groundwater has led to a decrease in crop yield, with repercussions in the economic sustainability of the area. The rising temperatures have also led to an increase in energy demand for cooling, intensification of flash floods and poor air quality. This situation will put this region in a context of increasing social and economic conflict that requires transformative adaptation solutions to increase community resilience. A new social and territorial agreement is needed in the region to enable rapid and far-reaching change to carry out sustainable transition.

## **The opportunity: a new East Attica Wastewater System (EAWS)**

A unique opportunity for the Region comes from the construction of the new East Attica Wastewater System (EAWS) with the ambition to become a major Circular Economy hub for the Region. EYDAP and the Greek Government are investing more than 1 Billion Euro (also supported by EU structural funds) into new wastewater infrastructure. This investment includes new wastewater networks, pumping stations, but also three (3) new Wastewater Treatment Plants (WWTP). These WWTP are designed to be circular economy hubs for the wider region, providing treated water for non-potable uses including agricultural irrigation, but also energy provision through biogas and material recovery. Furthermore, the system is expected to divert high quality treated wastewater, when other demands for it are low, into aquifer recharge for the stressed coastal aquifers of the Attica Region. Energy demands of the system are also considerable (incl. the need to lift raw sewage to considerable heights due to citing constrains for some of the treatment plants). As such EYDAP is exploring energy optimization and Renewable Energy options. Although the opportunity (and the main investment) is there, further steps are needed to turn this opportunity into real impact for multi-sectoral, multi-level climate resilience e.g. water, energy, food, NBS (as in SWS), flooding, saline intrusion and possibly forest fires.

## **The research plan**

Research will comprise of two interlinked activities: (i) the development of a ‘masterplan’ for reused water in the region (as a basis for demand scenario development) and (ii) the development of a Water-Energy simulation model for the wastewater system to ensure optimal delivery of demands under uncertainty.

### *Task 1: Water-Energy Masterplan and Business Plan for autonomous climate proof regions*

A masterplan will be developed for the Region for reused water extracted from the wastewater of the East Attica integrated wastewater system (both from WWTP and Sewer Mining units) for the benefit of (i) local farmer communities (ii) sensitive groundwater bodies under severe stress with excess water used through NBS (specifically Subsurface Water Solutions) to improve coastal aquifers and halt saline intrusion (iii) Sensitive ecosystems restoration to also sustain environmental services (iv) firefighting and support for reforestation activities in the Region devastated by forest fires. Such efforts at present are forced to use both irreplaceable drinkable water and sea water, with adverse impacts exacerbated by climate change.

### *Task 2: Water-Energy simulation model for wastewater systems acting as regional circular economy and climate resilience hubs.*

To deliver the new demands and circular-economy objectives for treated wastewater, nutrient and energy production and environmental protection, foreseen in the masterplan, a coupled water-energy simulation model will be designed and deployed for the East Attica wastewater system. The final end-user of the model will be the system operator (EYDAP) to develop operational rules for integrated WWTP operation – in a similar way EYDAP currently develops operational rules for their external raw water supply system for Athens. The model will use both, data from the system itself (e.g., EYDAP’s SCADA) but also tap into additional open datasets (hydrology, hydrogeology, field measurements, forecasts, abstractions, agricultural water needs, industrial water needs etc.) and will be a basis for scenario planning and cost - benefit analysis within the region. Advanced stochastic analysis will allow assessing impacts of uncertainty (in terms mostly of demands) and uncertainty-aware optimization techniques will be embedded in the model to allow climate-proofing of the resulting operational rules under several vectors of uncertainty.

# EXTENDED ABSTRACT

---

In recent years there has been an increase in the population of Eastern Attica. This movement is justified by the fact that people are in search of a better quality of life.

Although this population increase is not expressed through the corresponding infrastructure projects. In many areas of Eastern Attica, no sewage network has been constructed and all the sewage are disposed to cesspits of dubious tightness.

The increase in population, combined with the various (often conflicting land uses), i.e. irrigation and industry, as well as the presence of environmental phenomena such as droughts, deplete the area.

A unique opportunity for the Region is the construction of the Eastern Attica Wastewater System (EAWWS), with the ambition of it to become an important hub of a circular economy for the area. EYDAP and the Greek Government are investing over 1 billion euros in infrastructure to implement this project. This investment includes sewerage and wastewater treatment infrastructure and the main goal is to save water resources through the reuse and storage of treated water.

## **The research plan**

Research will comprise of two interlinked activities: (i) the development of a ‘masterplan’ for re-used water in the region (as a basis for demand scenario development) and (ii) the development of a Water-Energy simulation model for the wastewater system to ensure optimal delivery of demands under uncertainty.

The central axis of the research is the already implemented -masterplan- of Wastewater Treatment and Reuse (WWTR) of Eastern Attica ". Additional data were extracted from projects, and from contracting assignments. Open data sets are also used (hydrology, hydrogeology, forecasts, agricultural water needs, industrial water needs, etc.) alongside their corresponding assumptions.

It should be noted that the developed model has not been designed entirely on the basis of EYDAP studies. It consists of several different assumptions that make it a unique outcome scenario for future projects.

**Chapter 2** briefly describes all the Wastewater Treatment Plants (WWTP) under study, their administrative boundaries, the population under service, the quality characteristics of their

effluents, as well as all the existing and future installations that will participate in the designed hydro system. Reason is given for bibliographic review of estimating future population and we discuss the final methodology used for it.

**Chapter 3** presents the alternative ways of WWTP's effluents disposal. Moreover we refer to the legal framework in force regarding their quality and the limiting boundaries they set on their reuse. Assuming fully developed WWTP units, the quality of effluents is not considered as a limiting factor for their reuse.

The alternative solutions for reusing the treated effluents from the proposed WWTP take into account the special characteristics of each area. The examined reuse possible solutions are:

- i. Reuse for irrigation.
- ii. Reuse for urban and suburban use.
- iii. Utilization of the outflows for enrichment of the underground aquifer.
- iv. Utilization for industrial use.
- v. Availability in watercourses.
- vi. Disposal at sea with submarine pipeline.

In **Chapter 4** the basic methodology followed for the estimation of wastewater to be treated in the system is presented, as well as its corresponding assumptions.

As there are insufficient and unreliable data from measurements in existing sewers, the estimates of sewage supplies are based on water supply, after subtracting the quantities that do not end up in the sewers. It is obvious that based on a monthly step simulation model, both super-annual changes due to population evolution and seasonal fluctuations within the year should be predicted and applied.

For the assessment of them, it was deemed necessary to utilize a time series of water consumption by the Water Treatment Plant (WTP) of Kiourka. From the given time series a thousand (1000) year stochastic was produced with a monthly step using the R anySim programming language package and in particular the stochastic sharing and simulation models.

It should be noted that the method used for population projection is conservative in the face of EYDAP's estimations. Therefore, two scenarios of population forecasts and therefore wastewater supplies are obtained: (i) a conservative one and (ii) one that approaches the EYDAP's population data.

**Chapter 5** assesses in detail the methodologies and calculations for the alternative methods of wastewater reuse needs and assumptions made in process. In summary:

The climatic data used in the calculations were obtained from thirteen (13) meteorological stations (MS) of Eastern Attica that belong to the Meteo network, and are freely available from the National Observatory of Athens.



A synthetic time series of **rainfall** of one thousand (1000) years was produced in Eastern Attica, using the same methodology for the stochastic simulation as used in WTP Kiourkon.

Creating a 50- hydrological year simulation model, the overall driest consecutive years were taken to determine the stochastic **irrigation needs**. To calculate the water needs of plants, the effective monthly rainfall ( $P_{eff}$ ) is subtracted and the simplified empirical method of Blaney-Criddle is suggested for use.

**Urban and suburban reuse** is foreseen in all the served areas. The distribution of the treated water in the given areas / settlements will be done either directly through an internal urban reuse network due to their proximity to the WWTP suggested in research, or they will be served decentrally by special local sewer mining units, which treat the wastewater properly in situ.

Taking into consideration sufficient data, consumption for **industry** is estimated at 0.31 hm<sup>3</sup>/month, and it is assumed that it is constant over time.

The application of **artificial aquifer recharge** consists a major strategic role in water resources management schemes, both to address quantitative – regulatory problems as well as quality ones. The following assumptions are utmost importance:

- The simple application of the aquifer fluctuation method (according to Healy 2010) is capable of providing a good and realistic approach.
- In the application of the method, the basic assumption is that the rise of the groundwater level to an unrestricted well-aquifer occurs only due to the replenishment water that reaches the aquifer.
- No assumptions are made about the lag and the mechanism by which water reaches groundwater.
- Assuming the value of soil's Specific Yield increases introduce uncertainty in the model.

**Chapter 6** summarizes all the assumptions of the model and explains its transfer and formatting into the HYDRONOMEAS software. Reference is also made to the scenario regime that governs the subsequent calculations.

The latest version of the HYDRONOMEAS software, developed by NTUA, is used for the analysis.

In general, in the HYDRONOMEAS GUI, a hydrosystem model is represented as a conceptual network consisting of nodes and branches. Nodes are points of water supply or demand, points of branching and points of change of pipeline characteristics, while the branches represent water transports through aqueducts and pumping stations.

The mathematical framework of HYDRONOMEAS imposes a hierarchy of objectives, so that in case of insufficient supply or insufficient drainage the model satisfies the water uses based on a

higher priority. Thus we have the needs for treated water that are set in the model in the form of the following hierarchical objectives:

- i. Meeting the need for reuse in industry.
- ii. Compliance with the minimum volume limits for underground reservoirs.
- iii. Satisfaction of irrigation needs.
- iv. Satisfaction of the needs in urban - suburban use

In this way the underground aquifers function as large reservoirs that manage the surplus of water resources (which has probably arisen from previous months) to the minimum level set for them.

The anthropogenic hydrosystem was tested in a set of scenarios using the HYDRONOMEAS software. The scenarios concern:

- the application of different connectivity (four (4) scenarios) assets of the water system (i.e. the operation of local sewer mining units to serve areas that are in a great distance from the proposed WWTP, as well as the possibility of connecting independent networks);
- a total of six (6) scenarios in irrigation demands. The basic scenario is the one of the initially proposed irrigation areas by EYDAP SA, while at the same time a set of demand scenarios for irrigation is examined (60 - 80 - 120 - 140 - 200% of the basic scenario).
- the social acceptance regarding irrigation with treated water. Six (6) scenarios of social acceptance are created from the ideal 100% of its acceptance, by 10% up to a 50-50% that is now considered acceptable, so that the initial investment is worth it.
- two (2) scenarios of wastewater supplies into the network. A conservative scenario is adopted according to the assessment of the future population and a scenario that satisfactorily approaches the estimates of EYDAP SA.

A total of 288 simulations were performed. The analysis is divided into two groups of scenarios. Scenario group A concerns the conservative evolution of the population. Scenario group B approaches the data developed by EYDAP SA in terms of served population.

**Chapter 7** includes the main results of scenario group A and B, which concerns the analysis of the fully developed model of the previous Chapters. Scenarios are compared and initial conclusions are drawn.

The main results that will be presented concern (i) the coverage of the needs for recovered water, (ii) the energy consumption of the system and finally (iii) the distribution of energy consumption in the given uses. All results are reported in average annual 50-year values and are calculated based on the scenario regime.

**Chapter 8** summarizes the conclusions of the above analysis, and we propose on future possible interventions.

Finally the administrator/manager (for instance EYDAP SA) having the above tools in his hands, can answer a set of questions regarding both resilience and energy for the system to optimally manage its resources. The integrated reuse system of Iran is mentioned as an epilogue as to be a paradigm of excellence in its field.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xiii
ABSTRACT.....	xvii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	xxv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xxix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xxxι
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xxxiii
1. Αντικείμενο και Διάρθρωση της τεχνικής έκθεσης.....	1
1.1. Ιστορικό - Αντικείμενο έκθεσης.....	1
1.2. Υπάρχουσες Μελέτες.....	2
1.3. Διάρθρωση εργασίας.....	3
2. Περιγραφή και στοιχεία προτεινόμενων ΚΕΛ.....	6
2.1. Θέση και διοικητικά όρια.....	6
2.2. Πληθυσμός σχεδιασμού.....	9
2.2.1. Μέθοδος Cohort-Component.....	10
2.2.2. Μέθοδοι Trend Extrapolation.....	10
2.2.3. Structural models.....	12
2.2.4. Συνδυασμός μεθόδων.....	13
2.2.5. Επιλογή Μεθόδου.....	16
2.3. Συνοπτική περιγραφή εγκαταστάσεων.....	18
2.3.1. Γενικά.....	18
2.3.2. Υφιστάμενα και Μελλοντικά Έργα.....	19
2.4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένων λυμάτων.....	20
3. Εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης επεξεργασμένων εκροών ΚΕΛ Ανατολικής Αττικής.....	25
3.1. Γενικά.....	25

3.2.	Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων .....	26
3.3.	Προτεινόμενη μέθοδος αξιοποίησης.....	28
3.3.1.	Γενικά.....	28
3.3.2.	Μέθοδοι αξιοποίησης στα προτεινόμενα ΚΕΛ .....	28
4.	Παροχές επεξεργασμένων λυμάτων στις προτεινόμενες ΚΕΛ.....	33
4.1.	Γενικά.....	33
4.2.	Ποσότητα και Διακύμανση των παροχών ακαθάρτων.....	33
4.3.	Εκτίμηση διατιθέμενων ποσοτήτων επεξεργασμένων λυμάτων.....	35
5.	Εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης επεξεργασμένων εκροών ΚΕΛ.....	38
5.1.	Άρδευση .....	38
5.1.1.	Γενικά.....	38
5.1.2.	Προσδιορισμός αναγκών άρδευσης – Μεθοδολογία .....	39
5.1.3.	Άρδευση ΚΕΛ Μαραθώνα .....	44
5.1.4.	Άρδευση ΚΕΛ Ραφήνας-Πικερμίου Σπάτων-Λούτσας.....	45
5.1.5.	Άρδευση ΚΕΛ Παιανίας-Κορωπίου .....	46
5.1.6.	Άρδευση ΚΕΛ Μαρκόπουλου .....	48
5.1.7.	Περίμετρος έργων και στρατηγική Άρδευσης .....	50
5.2.	Εμπλουτισμός Υπόγειου Υδροφορέα .....	51
5.2.1.	Γενικά.....	51
5.2.2.	Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Μαραθώνα.....	53
5.2.3.	Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Ραφήνας-Πικερμίου Σπάτων-Αρτέμιδος.....	54
5.2.4.	Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Παιανίας-Κορωπίου .....	55
5.2.5.	Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Μαρκόπουλου .....	57
5.2.6.	Μεθοδολογία.....	58
5.3.	Εναλλακτικές χρήσεις επεξεργασμένου νερού (αστική-περιαστική χρήση, πυρόσβεση, βιομηχανία).....	64
5.3.1.	Αστική – Περιαστική Χρήση.....	64
5.3.2.	Βιομηχανία.....	65
6.	Μοντελοποίηση δικτύου στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ .....	68
6.1.	Το Πρόγραμμα .....	68

6.2.	Σχηματοποίηση δικτύου.....	68
6.2.1.	Το δίκτυο.....	68
6.2.2.	Στόχοι του μοντέλου.....	74
6.2.3.	Συγκεντρωμένες Παραδοχές μοντέλου – Παραδοχές Αντλιών – Σχεδιασμός .....	76
6.3.	Σενάρια.....	81
7.	Αποτελέσματα.....	86
7.1.	Γενικά.....	86
7.2.	Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	87
7.2.1.	Ομάδα Σεναρίων Α – Συντηρητική Προβολή (Conservative Projection) .....	87
7.2.2.	Ομάδα Σεναρίων Β – Προβολή παροχών εισόδου ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (EYDAP’S projection).....	91
7.2.3.	Σύγκριση διατάξεων .....	95
7.2.4.	Λογιστικά Φύλλα (spreadsheet).....	97
7.2.5.	Ιδιωτικά δίκτυα και αποδοχή συνδεσιμότητας ιδιωτών.....	100
8.	Συμπεράσματα – Σχόλια.....	103
8.1.	Τελικά συμπεράσματα .....	103
8.2.	Σχόλια – Πιθανές μελλοντικές αλλαγές.....	104
9.	Βιβλιογραφία .....	106
9.1.	Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	106
9.2.	Ελληνική Βιβλιογραφία .....	108
9.3.	Ιστοσελίδες.....	109
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	112





# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

Πίνακας 2-1: Χρησιμοποιούμενοι μέθοδοι προβολής οικισμών .....	17
Πίνακας 2-2: Τύποι προβολής χρήσης νερού (Billings and Jones 2008) .....	18
Πίνακας 2-3: Ρυπαντικά φορτία σχεδιασμού.....	21
Πίνακας 2-4: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Μαραθώνα .....	21
Πίνακας 2-5: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Πλατύ Χωράφι – Β. Μεσογείων .....	22
Πίνακας 2-6: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Παιανίας - Κορωπίου .....	22
Πίνακας 2-7: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Μαρκόπουλου .....	23
Πίνακας 3-1: Όρια μικροβιολογικών παραμέτρων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση και εμπλουτισμό υδροφορέων με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος (Πίνακας 1 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011).....	27
Πίνακας 3-2: Όρια μικροβιολογικών παραμέτρων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξη μιας χρήσης (Πίνακας 2 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011).....	27
Πίνακας 3-3: Όρια μικροβιολογικών παραμέτρων για αστική χρήση, άρδευση περιαστικού πρασίνου και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις (Πίνακας 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011).....	27
Πίνακας 4-1: Στατιστικά χαρακτηριστικά συνθετικής χρονοσειράς παροχής λυμάτων ΜΕΝ Κιούρκων .....	37
Πίνακας 5-1: Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών τελικής χρονοσειράς βροχόπτωσης με αυτά της αρχικής στοχαστικής.....	41
Πίνακας 5-2: Μέγιστη και μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης Αν. Αττικής.....	42
Πίνακας 5-3: Κατάταξη καλλιεργειών σε είδη Φυσικού συντελεστή υδατοκατανάλωσης ανά περιοχή.....	42
Πίνακας 5-4: Ανώτατα και κατώτατα όρια αναγκαίων ποσοτήτων νερού άρδευσης ανά μήνα για το Υδατικό διαμέρισμα Αττικής (σε m <sup>3</sup> /στρ) (ΦΕΚ Β' 428/1989).....	43
Πίνακας 5-5: Μ.Ο. 50-ετίας αρδευτικών αναγκών ανά στρέμμα κατά την αρδευτική περίοδο ..	44
Πίνακας 5-6: Προτεινόμενες τιμές ειδικής απόδοσης Sy (Heath,1983).....	63
Πίνακας 5-7: Προτεινόμενες τιμές ειδικής απόδοσης Sy (Morris and Johnson 1967).....	63
Πίνακας 7-1: Σύνοψη έρωτημάτων που απαντά η παρούσα εργασία .....	87



# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

Σχήμα 4-1: Παράδειγμα υπερετήσιας μεταβολής παροχής λυμάτων για τον οικισμό Λεοντάριον.....	37
Σχήμα 5-1: Ξηρότερη 50-ετία βάσει στοχαστικής ανάλυσης.....	41
Σχήμα 5-2: Παράδειγμα στρατηγικής άρδευσης Μαραθώνα σε δύο φάσεις (A,B) .....	50
5-3: Χρονοσειρά υπερετήσιας αύξησης αναγκών για αστική – περιαστική χρήση στον οικισμό Πόρτο Ράφτη.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Σχήμα 6-1: Μέσες ετήσιες ανάγκες επεξεργασμένων λυμάτων υπό σεναριακό καθεστώς διαφορετικών πιέσεων και λειτουργίας ή μη μονάδων Sewer mining .....	85
Σχήμα 7-1: Ανθεκτικότητα (Resilience) συνολικού μοντέλου – A .....	88
Σχήμα 7-2: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αρδευτικής κάλυψης – A.....	89
Σχήμα 7-3: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αστικής περιαστικής κάλυψης – A.....	89
Σχήμα 7-4: Μέσες ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας και Σύγκριση Διατάξεων – A .....	90
Σχήμα 7-5: Ενεργειακή συμπεριφορά Connected συστήματος σε περίπτωση συντηρητικής παραδοχής πόρων.....	91
Σχήμα 7-6: Ανθεκτικότητα (Resilience) συνολικού μοντέλου – B .....	92
Σχήμα 7-7: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αρδευτικής κάλυψης – B .....	93
Σχήμα 7-8: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αστικής περιαστικής κάλυψης – B .....	93
Σχήμα 7-9: Μέσες ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας και Σύγκριση Διατάξεων – B .....	94
Σχήμα 7-10: Σύγκριση διατάξεων σε κάλυψη συνολικών αναγκών (Σενάριο Κοινωνικής αποδοχής 70-30%) .....	95
Σχήμα 7-11: Σύγκριση διατάξεων σε κάλυψη αρδευτικών αναγκών (Σενάριο Κοινωνικής αποδοχής 70-30%) .....	95
Σχήμα 7-12: Σύγκριση διατάξεων σε κάλυψη αστικών – περιαστικών αναγκών (Σενάριο Κοινωνικής αποδοχής 70-30%) .....	96
Σχήμα 7-13: Επισκόπηση αποτελεσμάτων, σενάριο Connected_ACCR70-30_100%.....	98
Σχήμα 7-14: Επισκόπηση αποτελεσμάτων, σενάριο Connected_ACCR70-30_200%.....	98



# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

---

Εικόνα 1-1: Διάγραμμα ροής διάρθρωσης εργασίας .....	5
Εικόνα 2-1: Διοικητικά όρια Αν. Αττικής και προτεινόμενα ΚΕΛ .....	7
Εικόνα 2-2: Σχετικές θέσεις ΚΕΛ και υπό εξυπηρέτηση οικισμών .....	8
Εικόνα 2-3: ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου (αριστερά) και Μαρκόπουλου (δεξιά) και υπό εξυπηρέτηση οικισμοί.....	8
Εικόνα 2-4: ΚΕΛ Μαραθώνος (αριστερά) και Β.Μεσόγειων (δεξιά) και υπό εξυπηρέτηση οικισμοί.....	9
Εικόνα 2-5: Παράθεση σχεδίων εγκεκριμένης μελέτης για το ΚΕΛ Β. Μεσόγειων (μορφή πληροφορίας) .....	20
Εικόνα 2-6: Βιομηχανικές Ζώνες (ΒΙΟΠΑ – ΒΙΟΠΕ) περιοχής μελέτης.....	24
Εικόνα 4-1: Διαδικασία υπολογισμού συντελεστή θερινής παροχής .....	36
Εικόνα 5-1: Μετεωρολογικοί σταθμοί Αν. Αττικής.....	40
Εικόνα 5-2: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Μαραθώνα.....	45
Εικόνα 5-3: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Β. Μεσογείων, Σπάτων-Λούτσας.....	46
Εικόνα 5-4: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Παιανίας – Κορωπίου (1 <sup>η</sup> γραμμή).....	47
Εικόνα 5-5: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Καλυβίων – Κουβαρά (2 <sup>η</sup> γραμμή).....	48
Εικόνα 5-6: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Μαρκόπουλου .....	49
Εικόνα 5-7: Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων μεθόδων εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού (Dillon, 2005, από Βουδούρης κ.α., 2011, με τροποποιήσεις) .....	52
Εικόνα 5-8: Προτεινόμενες από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Ζώνες εφαρμογής Τεχνητού εμπλουτισμού με εκροές του ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου(Πηγή: ΕΥΔΑΠ Α.Ε. – Μελέτη Σχεδιασμού και Εφαρμογής του Εμπλουτισμού).....	55
Εικόνα 5-9: Θέσεις γεωτρήσεων εμπλουτισμού (Πηγή: ΕΥΔΑΠ Α.Ε. – Μελέτη Σχεδιασμού και Εφαρμογής του Εμπλουτισμού).....	57
Εικόνα 5-10: Αποθηκευτικότητα Φρεάτιας Υδροφορίας (1962, Ferris κ.α.) .....	60
Εικόνα 5-11: Υδρολιθολογικός χάρτης Αττικής – Κατηγοριοποίηση Υδρολιθολογικών Σχηματισμών (Ειδική Γραμματεία Υδάτων) .....	62
Εικόνα 5-12: Παράδειγμα συνεργασίας Βιομηχανικής – αστικής χρήσης (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).....	67
Εικόνα 6-1: Συγκεντρωμένη πληροφορία βασικών υποδομών του συστήματος επί χαρτών Google Earth .....	69

Εικόνα 6-2: ΚΕΛ Μαραθώνος.....	70
Εικόνα 6-3: ΚΕΛ Β. Μεσόγειων .....	71
Εικόνα 6-4: ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου 1 <sup>η</sup> γραμμή .....	71
Εικόνα 6-5: ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου 2 <sup>η</sup> γραμμή .....	72
Εικόνα 6-6: ΚΕΛ Μαρκόπουλου.....	72
Εικόνα 6-7: Τελική απλοποιημένη αναπαράσταση του συστήματος επαναχρησιμοποίησης λυμάτων Αν. Αττικής στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ .....	73
Εικόνα 6-8: Κεντρικοί αποχετευτικοί αγωγοί, καταθλιπτικοί αγωγοί και πιθανές διασυνδέσεις	83
Εικόνα 6-9: Τυπική διάταξη αρδεύσεων στο μοντέλο του προγράμματος ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ .....	84
Εικόνα 6-10: Σενάρια Προσομοίωσης.....	85
Εικόνα 7-1: Συντηρητική και πρόβλεψη ΕΥΔΑΠ, παροχών λυμάτων στον οικισμό Λεοντάριον .....	91
Εικόνα 7-2: Πρότυπο επισκόπησης αποτελεσμάτων, λογιστικών φύλλων (spreadsheet).....	97







# **1. Αντικείμενο και Διάρθρωση της τεχνικής έκθεσης**

## **1.1. Ιστορικό - Αντικείμενο έκθεσης**

Με την υπ' αριθ. 18989/29-7-2016 Απόφαση ΔΣ της Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε., εγκρίθηκε ο ανασχεδιασμός των έργων αποχέτευσης στην Ανατολική Αττική, που περιλαμβάνει τις περιοχές που θα εξυπηρετούνται από τα εξής Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων:

- (i) Κ.Ε.Λ. Δήμου Μαραθώνα
- (ii) Κ.Ε.Λ. Δήμων Ραφήνας - Πικερμίου και Σπάτων – Αρτέμιδος
- (iii) Κ.Ε.Λ. Παιανίας – Κορωπίου
- (iv) Κ.Ε.Λ. Δήμου Μαρκόπουλου
- (v) Κ.Ε.Λ. ΒΙΟΠΑ Καλυβίων

Η Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε. στο πλαίσιο της υλοποίησης των Κ.Ε.Λ. Ανατολικής Αττικής έχει εντάξει στον σχεδιασμό της και την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών των Κ.Ε.Λ. Ανατολικής Αττικής.

Στις 26-07-16 διεξήχθη πρόχειρος διαγωνισμός από την Διεύθυνση Προμηθειών, κατόπιν αίτησης της Γενικής Διεύθυνσης Ανάπτυξης και Παραγωγής Έργων, για την «Παροχή Υπηρεσιών Τεχνικού Συμβούλου υποβοήθησης της Γενικής Διεύθυνσης Ανάπτυξης και Παραγωγής Έργων για τη σύνταξη φακέλου που αφορά σε Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων Ανατολικής Αττικής (Π 4863)».

Με την υπ' αριθ. 211/18-08-2016 έγκριση του Διευθύνοντος Συμβούλου της Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε, ο ανωτέρω διαγωνισμός κατακυρώθηκε στην εταιρεία «Δημήτρης Σωτηρόπουλος & Συνεργάτες Α.Μ.Ε»

Στις 7-10-2016 υπεγράφη η υπ' αριθ. 16164089-3 Σύμβαση για την ως άνω Παροχή Υπηρεσιών.

Την 14-03-17 υπεγράφη υπόμνημα Τροποποίησης της ανωτέρω Σύμβασης ως προς τον τίτλο της, καθώς και ως προς τα επί μέρους άρθρα της, στα οποία όπου γινόταν αναφορά σε «Γενική Διεύθυνση Ανάπτυξης και Παραγωγής Έργων» αντικαταστάθηκε με την «Διεύθυνση Έργων Ανατολικής Αττικής».

Αντικείμενο της παρούσης έκθεσης που αφορά το Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής, είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης: α) για απεριόριστη άρδευση, δεδομένης της ύπαρξης μεγάλων γεωργικών εκτάσεων, οι αρδευτικές ανάγκες των οποίων καλύπτονται σήμερα από γεωτρήσεις, β) για τροφοδότηση ή εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων και γ) για αστική, περιαστική και βιομηχανική αξιοποίηση των εκροών των προτεινόμενων Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων στους δεδομένους υπό εξυπηρέτηση Δήμους, σύμφωνα με τους όρους και τους περιορισμούς της ισχύουσας νομοθεσίας και τα οριζόμενα στην ΚΥΑ 145116/2.2.2011 (Β' 354) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», όπως έχει τροποποιηθεί με την ΚΥΑ 191002/2013 (Β' 2220) και ισχύει.

Αυτή η παραδειγματική αλλαγή στη διαχείριση των λυμάτων μπορεί να γίνει κατανοητή ως μέρος της αναδυόμενης μετάβασης από τη γραμμική στην κυκλική οικονομία (Salgot & Folch, 2018; Voulvoulis, 2018), και η επαναχρησιμοποίηση του νερού, μαζί με την ανάκτηση θρεπτικών και άλλων πόρων, πρόκειται να γίνει ο κεντρικός πυλώνας για αυτό το νέο οικονομικό σύστημα (WWAP, 2017).

Ειδικότερα επιδιώκεται ο καθορισμός ενός γενικού σχεδίου επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ανατολική Αττική και η μετάφρασή του, με τη χρήση του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ, σε ένα ολοκληρωμένο εννοιολογικό μοντέλο προσομοίωσης. Το μοντέλο θα περιλαμβάνει δεδομένα που λήφθηκαν από μετρήσεις, καθώς και συνθετικά υπό στοχαστικό καθεστώς αναπαράστασης των φυσικών γεγονότων, ενώ τέλος θα ληφθούν υπόψη απλοποιητικές παραδοχές, όπου αυτό κατέστη απαραίτητο, με βάση συναφή δεδομένα και την τεχνική εμπειρία.

Συγκεκριμένα τα αριθμητικά δεδομένα, θα σχολιασθούν εκτενώς στα μετέπειτα κεφάλαια μαζί με τις ανάλογες παραδοχές τους.

Απώτερος σκοπός, το τελικό μοντέλο να υπηρετεί την βιωσιμότητα (sustainability), όπως αυτή ορίζεται στην έκθεση της Επιτροπής Brundtland Our Common Future (WCED, 1987), δηλαδή να εστιάζει στην κάλυψη των αναγκών τόσο της τρέχουσας όσο και της μελλοντικής γενιάς. Η ανάπτυξη είναι βιώσιμη εάν «ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες». (World Commission on Environment and Development, 2017).

## **1.2. Υπάρχουσες Μελέτες**

Για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, λήφθηκαν υπόψη σχετικά βιβλιογραφικά στοιχεία ενώ κύριο άξονα δόμησής της αποτέλεσαν, πρόσφατες και μη, τεχνικές μελέτες της Ε.Υ.Δ.Α.Π. μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι σημαντικότερες:

- «Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής – Κ.Ε.Λ. ΔΗΜΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ» που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.
- «Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής – Κ.Ε.Λ. ΔΗΜΩΝ ΡΑΦΗΝΑΣ-ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ ΚΑΙ ΣΠΑΤΩΝ-ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ» που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.
- «Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής – Κ.Ε.Λ. ΔΗΜΟΥ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ» που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.
- ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡ.20580/2020 ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ Δ.Σ ΤΗΣ ΕΥΔΑΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΔΗΜΩΝ ΚΡΩΠΙΑΣ κ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ ΣΤΟ ΚΕΛ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΡΟΗΣ ΠΡΟΣ ΑΠΕΡΙΟΡΙΣΤΗ ΑΡΔΕΥΣΗ/ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ: που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΕΜΒΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.

Οι δεδομένες μελέτες έχουν βασιστεί με τη σειρά τους σε ήδη προϋπάρχουσες από τις οποίες λήφθηκαν δεδομένα έμμεσα είτε άμεσα κατόπιν αναζήτησής τους. Μεταξύ των άλλων μελετών συγκαταλέγονται: προμελέτες και μελέτες δικτύων αποχέτευσης ακαθάρτων και εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, μελέτες διατάξεων, κεντρικών αποχετευτικών αγωγών και αντλιοστασίων και τέλος μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αντίστοιχων ΚΕΛ.

Βασικός άξονας και δεδομένο επομένως της εργασίας είναι το ήδη υπάρχον *-masterplan-* «Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής», καθώς επίσης και τα σχέδια αποχέτευσης των εξυπηρετούμενων οικισμών που έχουν αναπτυχθεί από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. σε συνεργασία με εξωτερικούς συνεργάτες. Τα σχετικά δεδομένα, λήφθηκαν από ολοκληρωμένες τεχνικές μελέτες και προμελέτες, από επισυναπτόμενα ή μη σχέδια, από τρέχουσες μελέτες και από αναθέσεις εργολαβίας.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί πως το εν λόγω μοντέλο που αναπτύσσεται δεν έχει σχεδιαστεί εξολοκλήρου βάσει των μελετών της ΕΥΔΑΠ. Διαφοροποιείται σε πληθώρα σημείων και παραδοχών που το καθιστούν ένα ξεχωριστό σενάριο έκβασης των μελλοντικών έργων. Ως εκ τούτου αποτελεί πέραν μίας ξεχωριστής μελέτης και έναν εποικοδομητικό σχολιασμό πάνω στις ήδη ανεπτυγμένες ιδέες της ΕΥΔΑΠ.

### 1.3. Διάρθρωση εργασίας

Πέραν της παρούσας εισαγωγής (**Κεφάλαιο 1**), η έκθεση περιλαμβάνει οκτώ (8) ακόμη κεφάλαια και ένα παράρτημα.

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφεται συνοπτικά το σύνολο των υπό μελέτη ΚΕΛ, τα διοικητικά τους όρια, ο υπό εξυπηρέτηση πληθυσμός, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών τους, καθώς και το σύνολο των φυσικών υπαρχόντων και μελλοντικών εγκαταστάσεων που συμμετέχουν στο υπό μελέτη υδrosύστημα. Δίνεται αφορμή για βιβλιογραφική ανασκόπηση και αναφορά στην τελική μεθοδολογία που ακολουθείται για την εκτίμηση του πληθυσμού.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται οι εναλλακτικοί τρόποι διάθεσης λυμάτων των υπό μελέτη ΚΕΛ ενώ γίνεται αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει όσον αφορά στην ποιότητά τους και στην περιοριστική επιρροή στη χρήση τους.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η βασική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση της εισόδου λυμάτων προς επεξεργασία στο σύστημα και οι ανάλογες παραδοχές.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται αναλυτικά οι μεθοδολογίες υπολογισμού των εναλλακτικών μεθόδων διάθεσης των λυμάτων, ως ανάγκες/ στόχοι και οι παραδοχές που τις συνοδεύουν.

Στο **Κεφάλαιο 6** συνοψίζονται όλες οι παραδοχές του μοντέλου και εξηγείται η μεταφορά αυτού και σχηματοποίησή του στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ. Επίσης γίνεται αναφορά στο σεναριακό καθεστώς που διέπει τους μετέπειτα υπολογισμούς.

Στο **Κεφάλαιο 7** συγκαταλέγονται τα βασικά αποτελέσματα της ομάδας σεναρίων Α και Β, που αφορά στην ανάλυση του πλήρως ανεπτυγμένου μοντέλου των προηγούμενων Κεφαλαίων. Γίνεται σύγκριση σεναρίων και εξάγονται αρχικά συμπεράσματα.

Στο **Κεφάλαιο 8** συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα των ως άνω αναλύσεων, ενώ γίνεται και ένας μικρός σχολιασμός και πρόταση μελλοντικών παρεμβάσεων.

Στο **Κεφάλαιο 9** αναφέρεται η σχετική βιβλιογραφία.

Τέλος, στα **Παραρτήματα** παρατίθεται το σχετικό νομοθετικό Πλαίσιο.

Τα Κεφάλαια (#.) χωρίζονται σε ενότητες (#.#.) και με τη σειρά τους σε υποενότητες (#.#.#.)



Εικόνα 1-1: Διάγραμμα ροής διάρθρωσης εργασίας

## **2. Περιγραφή και στοιχεία προτεινόμενων ΚΕΛ**

### **2.1. Θέση και διοικητικά όρια**

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου **Μαραθώνα**, προβλέπεται να κατασκευασθεί στη θέση «Λούτσα» της Δ.Ε. Γραμματικού, βόρεια του οικισμού Δικαστικών και Εισαγγελέων. Το ΚΕΛ Δήμου Μαραθώνα θα επεξεργάζεται τα αστικά λύματα των περιοχών του Δήμου Μαραθώνα : Αγ. Παντελεήμων, Μαραθώνας, Βόθων (Καλέντζι), Άνω Σούλι, Ζούμπερι, Ανατολή, Νέα Μάκρη Αγία Μαρίνα, Ερυθρός, Νέος Βουτζάς, Γραμματικό, Οικοδομικοί Συνεταιρισμοί (Δικαστών και Εισαγγελέων – Δικαστικών Υπαλλήλων - Πολυτέκνων), Κατασκηνώσεις Αγίου Ανδρέα.

Στα **Βορειοανατολικά Μεσόγεια** προβλέπεται η κατασκευή δικτύου ακαθάρτων και Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στο Πλατύ Χωράφι. Η περιοχή που θα εξυπηρετείται από το ΚΕΛ είναι η περιοχή των Δήμων Ραφήνας-Πικερμίου και Σπάτων-Αρτέμιδος, τμήμα της Δημοτικής Ενότητας Ν. Μάκρης (Βουτζάς και Μάτι) και οι περιοχές Μπούρας και Αργιθέα του Δήμου Παιανίας. Αναλυτικά στοιχεία των περιοχών που αποχετεύονται δίνονται στις επί μέρους Οριστικές Μελέτες Αποχέτευσης (2016).

Στο πλαίσιο του ανασχεδιασμού των έργων επεξεργασίας του ΚΕΛ **Κορωπίου – Παιανίας**, λόγω κατάργησης σχεδιασμού του αρχικά προτεινόμενου ΚΕΛ ΒΙΟΠΑ Καλυβίων (αδυναμία περιβαλλοντικής αδειοδότησης), προβλέπεται η επεξεργασία των εισερχόμενων λυμάτων σε δύο αυτόνομες γραμμές επεξεργασίας, οι οποίες επιτυγχάνουν προχωρημένη βιολογική επεξεργασία, υπερδιήθηση και απολύμανση των λυμάτων. Πιο συγκεκριμένα:

- Η 1η γραμμή επεξεργασίας στην οποία θα καταλήγουν τα λύματα της περιοχής Κορωπίου – Παιανίας περιλαμβάνει δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από τριτοβάθμια επεξεργασία σε σύστημα διύλισης και στη συνέχεια σε σύστημα μεμβρανών υπερδιήθησης (UF) και απολύμανση. Βάσει του επικαιροποιημένου σχεδιασμού των έργων αποχέτευσης των ακαθάρτων της ΕΥΔΑΠ στην Ανατολική Αττική αυτή η γραμμή αφορά επίσης τη Δ.Ε. Γλυκών Νερών Δήμου Παιανίας και των περιοχών του Δήμου Παλλήνης νότια της Περιφερειακής Υμηττού.
- Η 2η γραμμή επεξεργασίας, στην οποία θα καταλήγουν τα λύματα της περιοχής του Σαρωνικού (Σαρωνίδα, Καλυβίων Θορικού, Παλαιάς Φώκαιας και Αναβύσσου του Δήμου Σαρωνικού και Αγίας Μαρίνας και Αγίου Δημητρίου του Δήμου Κρωπίας) θα περιλαμβάνει δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία σε αντιδραστήρες βιομεμβρανών υπερδιήθησης (MBR) και απολύμανση.

Η υφιστάμενη Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) **Μαρκόπουλου** βρίσκεται στη θέση Μερέντα, σε απόσταση 1,0 km περίπου Ν.Α. του οικισμού του Μαρκόπουλου και 350m Δ-Β.Δ. του οικισμού Παχάτικα.

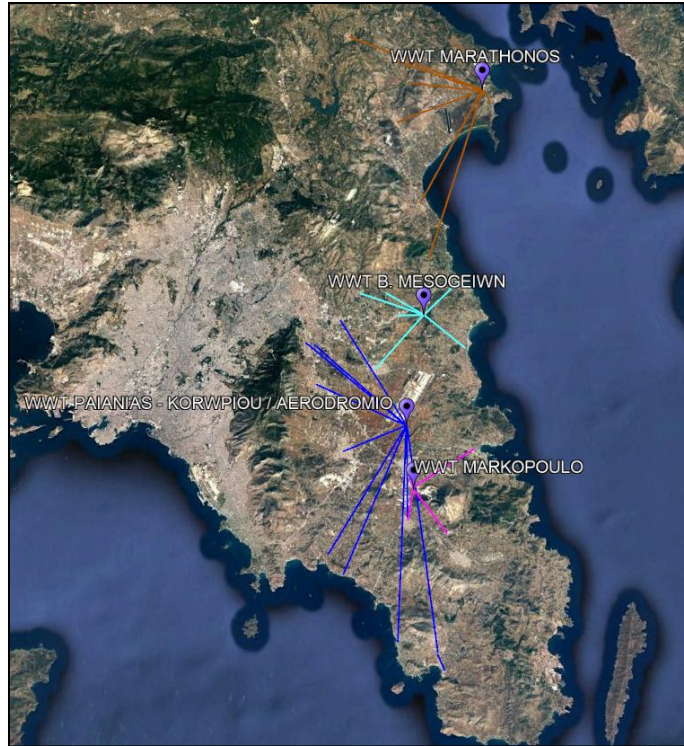
Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) Μαρκόπουλου και τα έργα διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων είναι χωροθετημένα μέσα στα διοικητικά όρια του Δήμου Μαρκόπουλου. Η ΕΕΛ βρίσκεται εντός της ζώνης προστασίας Μερέντας (ΦΕΚ 302/Β/25.04.89) και εντός της ζώνης Β2 (Μέσης προστασίας τοπίων – Αρχαιολογικών χώρων) σύμφωνα με το διάταγμα περί καθορισμού ΖΟΕ Ανατολικής Αττικής - Μεσογείων (ΦΕΚ 199/Δ/2003), σε έκταση που βρίσκεται πλησίον της Βιομηχανικής Περιοχής. Η ΕΕΛ Μαρκόπουλου σύμφωνα με τη μελέτη του έργου έχει προβλεφθεί να καλύπτει στην πλήρη ανάπτυξη της τους οικισμούς Μαρκοπούλου, Πόρτο Ράφτη, Καλυβίων και Κουβαρά.

Στις παρακάτω επισυναπτόμενες εικόνες (Εικόνα 2-1 έως 2-4) παρουσιάζονται τα διοικητικά όρια της Αν. Αττικής, τα συμπεριλαμβανόμενα στα σχέδια ΚΕΛ, οι υπό εξυπηρέτηση οικισμοί καθώς επίσης και οι μεταξύ των σχέσεις:

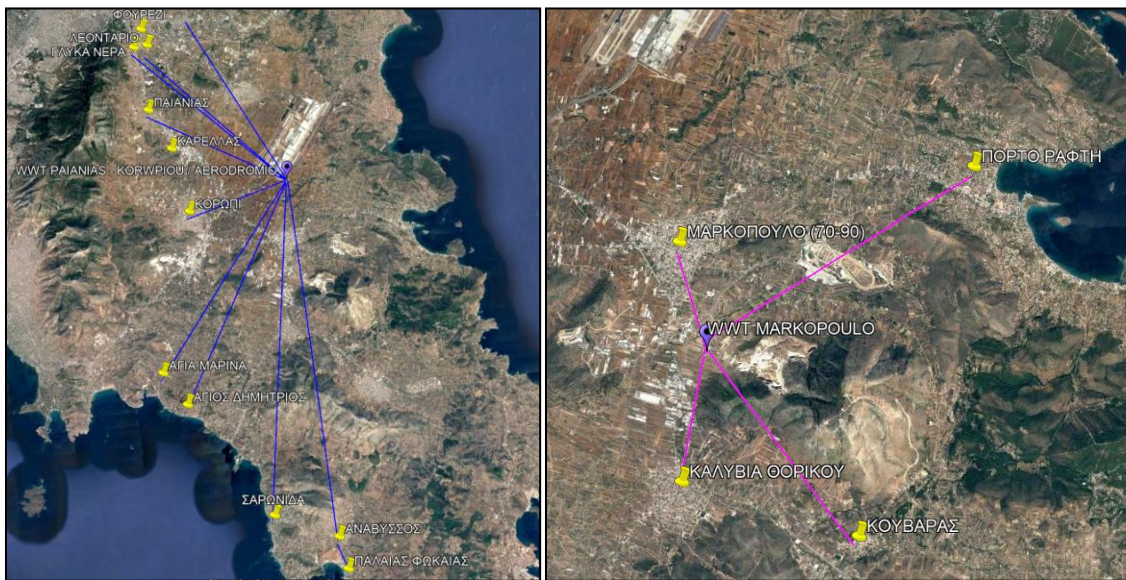


Εικόνα 2-1: Διοικητικά όρια Αν. Αττικής και προτεινόμενα ΚΕΛ



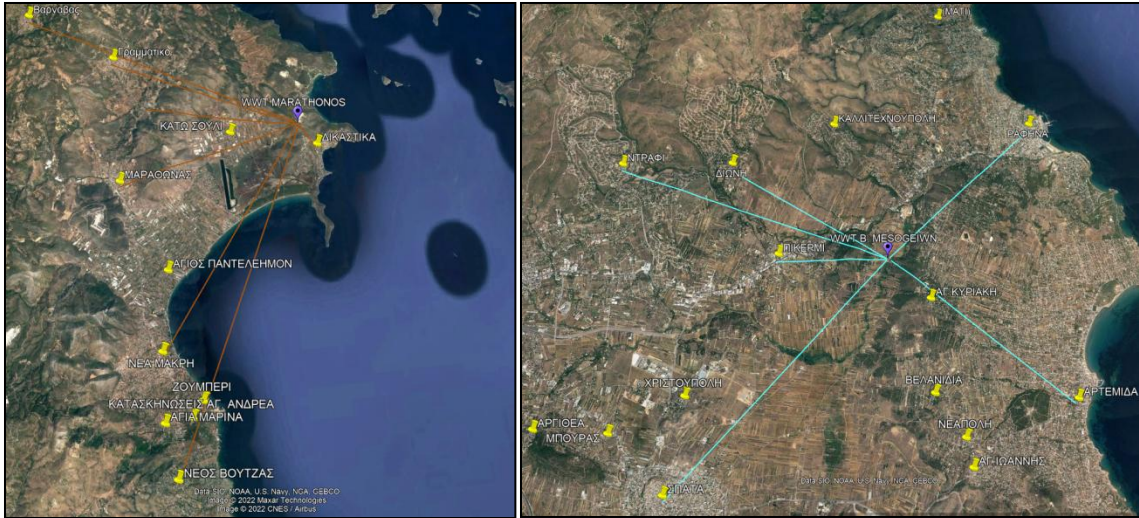


Εικόνα 2-2: Σχετικές θέσεις ΚΕΛ και υπό εξυπηρέτηση οικισμών



Εικόνα 2-3: ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου (αριστερά) και Μαρκόπουλου (δεξιά) και υπό εξυπηρέτηση οικισμοί





Εικόνα 2-4: ΚΕΛ Μαραθώνος (αριστερά) και Β.Μεσόγειων (δεξιά) και υπό εξυπηρέτηση οικισμοί

## 2.2. Πληθυσμός σχεδιασμού

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση του πληθυσμού της Ανατολικής Αττικής και μετακίνηση μόνιμου πληθυσμού προς την περιοχή σε αναζήτηση καλύτερης ποιότητας ζωής. Στην μετακίνηση πληθυσμού έχει συμβάλει και η αύξηση δραστηριοτήτων λόγω της λειτουργίας του Αεροδρομίου «Ελ. Βενιζέλος».

### Το πρόβλημα:

Αυτή η αύξηση δεν εκφράζεται μέσω των αντίστοιχων έργων υποδομής. Σε πολλές περιοχές της Αν. Αττικής και ιδίως αυτή των Β. Μεσογείων δεν έχει κατασκευασθεί δίκτυο αποχέτευσης ακαθάρτων και το σύνολο των οικισμών αποχετεύεται σήμερα με βόθρους ως επί το πλείστον απορροφητικούς ή στεγανούς αμφιβόλου στεγανότητας.

Η υφιστάμενη πρακτική διαχείρισης των αστικών λυμάτων της περιοχής έχει οδηγήσει σε σημαντική περιβαλλοντική υποβάθμιση με τα εκατοντάδες βυτιοφόρα που μεταφέρουν καθημερινά βοθρολύματα στο ΚΕΛ Μεταμόρφωσης, τις υπερχειλίσεις από τους βόθρους που δημιουργούν μια επιβαρυντική κατάσταση τόσο για τη δημόσια υγεία όσο και για τα υδατικά συστήματα (επιφανειακά και υπόγεια), σε συνδυασμό με τη σοβαρή οικονομική επιβάρυνση των κατοίκων της περιοχής από τα έξοδα για την εκκένωση των βόθρων.

Όπως προαναφέρθηκε, η ΕΥΔΑΠ στο πλαίσιο της υλοποίησης των ΚΕΛ Αν. Αττικής έχει εντάξει στο σχεδιασμό της την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών σύμφωνα με το σύγχρονο θεσμικό πλαίσιο της ΚΥΑ 145116/2011 «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», όπως αυτή τροποποιήθηκε με την ΚΥΑ 191002/2013.

Τα προγραμματιζόμενα έργα αποχέτευσης, επεξεργασίας και διάθεσης λυμάτων της Αν. Αττικής αποτελούν έργα αναβάθμισης της εξυπηρετούμενης περιοχής και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, λαμβανομένης υπόψη της πληθυσμιακής αύξησης που έχει παρατηρηθεί.

Έτσι σχεδιάζεται ένα αειφόρο σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων για να συμβάλλει πλήρως στους στόχους της κοινωνίας, τώρα και στο μέλλον, διατηρώντας παράλληλα την οικολογική, περιβαλλοντική και υδρολογική του ακεραιότητα (ASCE, 1998, UNESCO, 1999), (Anon, 1998).

Στις επόμενες υποπαραγράφους θα αναφερθούν συνοπτικά κατηγορίες μεθόδων προβολής του πληθυσμού σε μελλοντικό χρόνο, καθώς και τα προτερήματα και ελαττώματα τους, καταλήγοντας στην υιοθέτηση μιας τελικής μεθοδολογίας ως προς την αντιμετώπιση του ζητήματος, που κρίνεται καθοριστικής σημασίας ως προς την επιρροή του στα τελικά αποτελέσματα του αναπτυσσόμενου μοντέλου. Αναλογιζόμενοι τη σημασία της, η παρακάτω βιβλιογραφική παράθεση από τον Smith et al. (2006) κρίνεται απαραίτητη.

#### 2.2.1. Μέθοδος Cohort-Component

Η Cohort-Component μέθοδος αποτελεί το πλέον βασικό εργαλείο στα χέρια ενός δημογραφικού αναλυτή. Παρέχει πλήρες θεωρητικό μοντέλο που συγκαταλέγει πληθώρα αναπτυξιακών παραγόντων που επηρεάζουν τη δημογραφική σύνθεση στο πέρας του χρόνου. Μπορεί να συμπεριλαμβάνει πολλούς διαφορετικούς τρόπους εφαρμογής, τύπους δεδομένων και υποθέσεις όσον αφορά τις μελλοντικές προβολές, ενώ έχει τη δυνατότητα προβολής τόσο του συνολικού πληθυσμού όσο και υποομάδων που τον απαρτίζουν.

Παρ' όλη την χρησιμότητά της ως μεθόδου, αντιμετωπίζει προβλήματα δυσκολίας στην εφαρμογή της ως προς την εντατικότητα σε απαίτηση δεδομένων (γονιμότητας, θνησιμότητας, μετανάστευσης, πληθυσμιακά δεδομένα κατά ηλικία και φύλο), στην εγκυρότητα της πληροφορίας, σε πλήθος υπολογιστικών διαδικασιών καθώς και στην έλλειψη ενός τυποποιημένου πλαισίου ως προς την επιλογή των υποθέσεων που θα πρέπει να γίνουν οι οποίες υπόκεινται σε υποκειμενική εμπειρία άρα και σφάλμα.

Επομένως, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά απαιτητική στην εφαρμογή της. Όπως θα αναφερθεί στις επόμενες ενότητες υπάρχουν απλούστερες μέθοδοι στην εφαρμογή, με λιγότερες απαιτήσεις σε δεδομένα και κόστος.

#### 2.2.2. Μέθοδοι Trend Extrapolation

Οι προβολές που βασίζονται σε παρεκτάσεις τάσεων χρησιμοποιήθηκαν από διακεκριμένους «δημογραφικούς» όπως οι Benjamin Franklin, Thomas Jefferson και Abraham Lincoln (Dorn, 1950). Παρά την απλότητα και την έλλειψη θεωρητικού περιεχομένου και δημογραφικών λεπτομερειών, οι πρώτες εφαρμογές αυτής της προσέγγισης παρήγαγαν συχνά αρκετά ακριβείς προβλέψεις του συνολικού πληθυσμού, ακόμη και για ορίζοντες προβολής που επεκτείνονται πολύ στο μέλλον (π.χ. Pritchett, 1891; Pearl & Reed, 1920).

Οι συγκεκριμένες μέθοδοι επισκιάστηκαν στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα αλλά στα πρόσφατα χρόνια επανεμφανίστηκαν μετά από λεπτομερείς μελέτες αξιολόγησης της ακρίβειας και χρησιμότητάς τους. Το σχετικά μικρό κόστος (πραγματικό και υπολογιστικό) και η μικρή απαίτηση σε δεδομένα καθιστούν αυτές τις μεθόδους ιδιαίτερα χρήσιμες στην εκτίμηση πληθυσμού μικρών περιοχών.

Το καθοριστικό χαρακτηριστικό των μεθόδων παρέκτασης τάσης είναι ότι οι μελλοντικές τιμές κάθε μεταβλητής καθορίζονται αποκλειστικά από τις ιστορικές τιμές. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι για τη μέτρηση των ιστορικών τιμών και την προβολή τους στο μέλλον (π.χ. Davis, 1995; Irwin, 1977; Isserman, 1977; Pittenger, 1976). Σε αυτή την υποενοότητα περιγράφονται και επεξηγούνται μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για προβολές τοπικού πληθυσμού.

Οι μέθοδοι παρέκτασης τάσης διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες στις **απλές** οι οποίες έχουν απλή μαθηματική δομή και απαιτούν δεδομένα μόνο από δύο σημεία στο χρόνο, στις **σύνθετες** που έχουν πιο περίπλοκη μαθηματική δομή καθώς επίσης απαιτούν δεδομένα από πολλαπλά σημεία στο χρόνο και αλγόριθμο για τον υπολογισμό των παραμέτρων τους και τέλος στις **μεθόδους αναλογίας (ratio)** στις οποίες ο πληθυσμός μίας μικρότερης περιοχής εκφράζεται ως ποσοστό-μέρος μίας ευρύτερης περιοχής στην οποία εμπίπτει.

Στο πλαίσιο της δεδομένης διπλωματικής εργασίας, λόγω της πληθώρας μεθόδων σε κάθε υποκατηγορία, δεν θα αναφερθούμε εκτενέστερα και σε βάθος στον τρόπο εφαρμογής και επεξήγησής τους, καθώς ξεφεύγει από τους σκοπούς της. Συνοπτικά αναφέρεται:

Οι μέθοδοι παρέκτασης τάσεων έχουν μακρά ιστορία στη δημογραφία. Παρά την επικράτηση της μεθόδου Cohort-Component και την ανάπτυξη δομικών μοντέλων (Structural models) κατά τον τελευταίο μισό αιώνα, αυτές οι μέθοδοι εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται συνήθως για προβολές πληθυσμού, ειδικά για μικρές περιοχές. Έχουν πολλά χρήσιμα χαρακτηριστικά, αλλά και κάποιες σοβαρές ελλείψεις.

Οι απλές μέθοδοι τάσης και αναλογίας έχουν μικρές απαιτήσεις δεδομένων. Οι μέθοδοι LINE, GEO, EXPO, SHIFT και SHARE μπορούν να εφαρμοστούν χρησιμοποιώντας συνολικά δεδομένα πληθυσμού μόνο από δύο χρονικά σημεία. Η CONSTANT απαιτεί δεδομένα από ένα μόνο χρονικό σημείο. Αυτές οι μέθοδοι είναι εύκολο να εφαρμοστούν και να εξηγηθούν στους χρήστες δεδομένων. Δεν απαιτούν εξελιγμένες δεξιότητες μοντελοποίησης ή προγραμματισμού. Στην πραγματικότητα, μπορούν να εφαρμοστούν μάλλον εύκολα χρησιμοποιώντας μόνο μια αριθμομηχανή χειρός. Λόγω των μικρών απαιτήσεων δεδομένων και της ευκολίας εφαρμογής, μπορούν να εφαρμοστούν εγκαίρως και με μικρό κόστος. Οι απλές μέθοδοι είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για μικρές περιοχές, όπου η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία δεδομένων δημιουργούν ουσιαστικά προβλήματα για πιο περίπλοκες ή εξελιγμένες μεθόδους.

Οι πολύπλοκες μέθοδοι παρέκτασης τάσεων απαιτούν δεδομένα από διάφορα χρονικά σημεία. Η έλλειψη επαρκών ιστορικών δεδομένων εμποδίζει τη χρήση τους σε πολλές μικρές περιοχές. Οι

σύνθετες μέθοδοι απαιτούν επίσης μεγαλύτερες δεξιότητες μοντελοποίησης από τις απλές μεθόδους παρέκτασης, ειδικά για την ανάπτυξη μοντέλων λογιστικής σειράς και ARIMA. Ωστόσο, σε σύγκριση με τα μοντέλα Cohort – Component και τα δομικά μοντέλα, ακόμη και οι πολύπλοκες μέθοδοι παρέκτασης τάσεων χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος, επικαιρότητα και μικρές απαιτήσεις δεδομένων. Επιπλέον, πολλές από αυτές τις μεθόδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη διαστημάτων εμπιστοσύνης στην πρόβλεψη (uncertainty bounds).

Οι μέθοδοι παρέκτασης της τάσης υποφέρουν από πολλά μειονεκτήματα. Δεν λαμβάνουν υπόψη διαφορές στη δημογραφική σύνθεση ή στα συστατικά μέρη της ανάπτυξης. Παρέχουν ελάχιστες ή καθόλου πληροφορίες σχετικά με τα προβλεπόμενα χαρακτηριστικά του πληθυσμού. Επειδή δεν έχουν θεωρητικό περιεχόμενο πέρα από τη δομή του ίδιου του μοντέλου, δεν μπορούν να συσχετιστούν με συμπεριφορές ή κοινωνικοοικονομικές θεωρίες αύξησης του πληθυσμού (το λογιστικό μοντέλο αποτελεί εξαίρεση). Κατά συνέπεια, δεν είναι χρήσιμα για την ανάλυση των καθοριστικών παραγόντων της αύξησης του πληθυσμού ή για την προσομοίωση των επιπτώσεων των αλλαγών σε συγκεκριμένες μεταβλητές ή υποθέσεις. Επιπλέον, μπορούν να οδηγήσουν σε μη ρεαλιστικά ή ακόμη και παράλογα αποτελέσματα εάν πραγματοποιούν προβολές στο μακρινό μέλλον.

Η βασική υπόθεση στις οποίες βασίζονται οι μέθοδοι παρέκτασης τάσεων είναι ότι - όσον αφορά στην αλλαγή του πληθυσμού που καθορίζεται από μια συγκεκριμένη μέθοδο - το μέλλον θα είναι ακριβώς όπως το παρελθόν.

### 2.2.3. Structural models

Τα δομικά μοντέλα σχετίζουν την αλλαγή του πληθυσμού σε αλλαγές σε μία ή περισσότερες ανεξάρτητες (δηλαδή επεξηγηματικές) μεταβλητές. Είναι ανεκτίμητα για πολλούς σκοπούς σχεδιασμού και χάραξης πολιτικής, επειδή εξηγούν ρητά την επίδραση παραγόντων όπως η αύξηση της απασχόλησης, οι μισθοί, η χρήση γης, η στέγαση και το σύστημα μεταφορών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, στην πραγματικότητα, στις ΗΠΑ, π.χ. η ομοσπονδιακή νομοθεσία περί μεταφορών και καθαρού αέρα επιβάλλει τη χρήση δομικών μοντέλων.

Ορισμένα δομικά μοντέλα είναι σχετικά απλά και περιέχουν μόνο μερικές μεταβλητές και εξισώσεις (π.χ. Mills & Lubuele, 1995). Άλλα είναι πολύ περίπλοκα, έχοντας τεράστια συστήματα ταυτόχρονων εξισώσεων που περιλαμβάνουν πολλές μεταβλητές και παραμέτρους (π.χ. Data Resources Incorporated, 1998). Ομοίως, οι διαδικασίες προβολής των ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου κυμαίνονται από απλές τεχνικές παρέκτασης και αλλαγής μεριδίου έως επίσημα στατιστικά μοντέλα πολλαπλών εξισώσεων.

Τα μοντέλα διακρίνονται σε μεγάλο βαθμό από τις διαφορές στη γεωγραφική κλίμακα, και συνήθως παρέχουν διαφορετικές εξηγήσεις για τα αίτια και τις συνέπειες της μεταβολής του πληθυσμού.

Τέλος διακρίνονται σε αναδρομικά και μη αναδρομικά. Τα μη αναδρομικά μοντέλα αντιπροσωπεύουν τον αντίκτυπο μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών στην αλλαγή του πληθυσμού, αλλά δεν λαμβάνουν υπόψη τον αντίκτυπο της αλλαγής του πληθυσμού σε αυτές τις μεταβλητές. Τα αναδρομικά μοντέλα, από την άλλη πλευρά, επιτρέπουν αμφίδρομες αλληλεπιδράσεις. Δηλαδή, θεωρούν τόσο τους καθοριστικούς παράγοντες όσο και τις συνέπειες της αλλαγής του πληθυσμού.

Τα δομικά μοντέλα απαιτούν περισσότερους πόρους και είναι πιο δύσκολο να εφαρμοστούν από πολλές από τις μεθόδους προβολής που συζητούνται. Συχνά απαιτούν μεγάλο αριθμό δεδομένων βάσης, εξελιγμένες δεξιότητες δημιουργίας μοντέλων, σύνθετες στατιστικές διαδικασίες και περίπλοκα προγράμματα υπολογιστών. Αυτές οι απαιτήσεις καθιστούν πολλά δομικά μοντέλα πολύ δαπανηρά για ανάπτυξη και εφαρμογή.

Δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι τα δομικά μοντέλα παρέχουν πιο ακριβείς προβλέψεις πληθυσμού από ότι μπορούν να ληφθούν από απλούστερες, λιγότερο δαπανηρές μεθόδους.

Ωστόσο, τα δομικά μοντέλα μπορούν να είναι πολύ χρήσιμα για άλλους σκοπούς. Ίσως η μεγαλύτερη τους ισχύς να εντοπίζεται στην ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν ένα ευρύ φάσμα θεωρητικών πολιτικών ερωτημάτων σχεδιασμού (π.χ. Klosterman, 1994; Tayman, 1996b; Treyz, 1995).

#### 2.2.4. Συνδυασμός μεθόδων

Διακρίνουμε δύο τύπους προβολών. Οι προβολές γενικού σκοπού είναι αυτές που παράγονται χωρίς αναφορά σε συγκεκριμένη χρήση ή χρήστη δεδομένων και τις προσαρμοσμένες προβολές οι οποίες είναι αυτές που παράγονται για συγκεκριμένο χρήστη δεδομένων ή για συγκεκριμένο σκοπό.

Είναι εύκολο να προσδιοριστεί εάν οι προβολές θα παρέχουν το απαραίτητο επίπεδο λεπτομέρειας όταν γίνονται για έναν συγκεκριμένο πελάτη ή για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Στο πλαίσιο του αναπτυσσόμενου μοντέλου, λαμβάνεται υπόψη ότι ζητείται προβολή συνολικού πληθυσμού για κάθε περιοχή που εμπίπτει στα όρια εξυπηρέτησης των ΚΕΛ Ανατολικής Αττικής και όχι κάποιας συγκεκριμένης υποομάδας με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Η προβολή του πληθυσμού γίνεται για συγκεκριμένο σκοπό, ήτοι τον προσδιορισμό της δυναμικής συνεισφοράς παροχетеυμένων λυμάτων, κάθε περιοχής/οικισμού που διατίθεται για επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση στην ευρύτερη περιοχή της Αν. Αττικής. Ως εκ τούτου η τελική αξιολόγηση της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί θα πραγματοποιηθεί εκ των υστέρων βάσει υποκειμενικών κριτηρίων ως προς την ορθολογικότητα της τάξης μεγέθους των αποτελεσμάτων και σύγκρισής τους με ήδη υπάρχοντα.

Βασικό δεδομένο αποτελούν οι καταγραφές πληθυσμών που διατίθενται βάσει των δημοτικών απογραφών σε τρία χρονικά σημεία 1991, 2001 και 2011. Είναι, επομένως, περισσότερο δόκιμη η χρήση μεθόδων οι οποίες δεν έχουν εντατικές απαιτήσεις σε δεδομένα, που είναι δύσκολο να

βρεθούν σε επίπεδο μικρών περιοχών. Τέτοιες είναι οι μέθοδοι απλής και αναλογικής παρέκτασης τάσεων.

Παρά την απλότητα και την έλλειψη θεωρητικού περιεχομένου και δημογραφικών λεπτομερειών, οι εφαρμογές τέτοιας προσέγγισης παράγουν συχνά αρκετά ακριβείς προβλέψεις του συνολικού πληθυσμού, ενώ δεν απαιτούν περίπλοκες υπολογιστικές διαδικασίες. Το σχετικά μικρό κόστος (πραγματικό και υπολογιστικό) και η μικρή απαίτηση σε δεδομένα καθιστούν αυτές τις μεθόδους ιδιαίτερα χρήσιμες στην εκτίμηση πληθυσμού μικρών περιοχών.

Εξετάζουμε τη δυνατότητα παραγωγής προβλέψεων συνδυάζοντας διάφορες προβολές. Ένα κοινό εύρημα στη γενική βιβλιογραφία πρόβλεψης είναι ότι ένας συνδυασμός προβλέψεων συχνά οδηγεί σε μεγαλύτερη ακρίβεια και λιγότερη μεταβλητότητα από ό,τι μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μεμονωμένες προβλέψεις από μόνες τους (π.χ. Armstrong, 2001c; Clemen, 1989; Makridakis et al., 1998; Mahmoud, 1984; Webby & O'Connor, 1996).

Θεωρητικά, το καλύτερο μοντέλο πρέπει να παρέχει τις πιο ακριβείς προβλέψεις. Ωστόσο, τα στατιστικά μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση ότι τα πρότυπα δεδομένων και οι μαθηματικές σχέσεις παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Αυτό συμβαίνει σπάνια. Κατά συνέπεια, τα μοντέλα που ταιριάζουν καλά στα δεδομένα κατά τη διάρκεια της περιόδου βάσης δεν παρέχουν απαραίτητα ακριβείς προβλέψεις για άλλες περιόδους (π.χ. Armstrong, 2001b; Fildes, 1992 Μακρυδάκης, 1986; Pant & Starbuck, 1990).

Οι συνδυασμοί προβλέψεων φαίνεται να λειτουργούν καλά επειδή κάθε μεμονωμένη μέθοδος και σύνολο δεδομένων παρέχει δυνητικά τις δικές της χρήσιμες πληροφορίες. Έτσι, η χρήση πολλών προβλέψεων αυξάνει το συνολικό ποσό των πληροφοριών που πηγάζουν στην τελική πρόβλεψη. Επιπλέον, τα σφάλματα αντιστάθμισης τείνουν να ακυρώνουν το ένα το άλλο. Κατά συνέπεια, μια συνδυασμένη πρόβλεψη έχει μικρότερο κίνδυνο να προβλέψει με ένα πολύ μεγάλο σφάλμα έναντι μίας μεμονωμένης πρόβλεψης.

Ορισμένες μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι συνδυασμένες προβλέψεις είναι γενικά πιο ακριβείς από τις περισσότερες (μερικές φορές όλες) μεμονωμένες προβλέψεις που αποτελούν συνιστώσες του συνδυασμού (π.χ. Armstrong, 2001c; Makridakis et al., 1982; McNees, 1992; Schnaars, 1986; Zarnowitz, 1984). Ίσως το πιο σημαντικό, παρόλο που οι συνδυασμένες προβλέψεις δεν ξεπερνούν κάθε μεμονωμένη πρόβλεψη σε κάθε κατάσταση, είναι πως δεν υπάρχει τρόπος να γνωρίζουμε εκ των προτέρων ποια από τις μεμονωμένες προβλέψεις (ή επιμέρους υποσύνολο προβλέψεων) θα έχει καλύτερη ή χειρότερη απόδοση από τον συνδυασμό.

Ο συνδυασμός μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Οι μεμονωμένες προβλέψεις μπορούν να βασίζονται σε διαφορετικές μεθόδους ή διαφορετικές προδιαγραφές της ίδιας μεθόδου. Οι συνδυασμοί μπορούν να ενσωματώσουν τα αποτελέσματα πολλών μεμονωμένων προβλέψεων ή μόνο λίγων. Μπορούν να είναι μέσοι όροι στους οποίους κάθε μεμονωμένη πρόβλεψη σταθμίζεται εξίσου (δηλαδή, ένας απλός μέσος όρος) ή μέσοι όροι στους οποίους ορισμένες



προβλέψεις σταθμίζονται βαρύτερα από άλλες. Για τους σταθμισμένους μέσους όρους, τα βάρη μπορούν να βασίζονται σε αντικειμενικά κριτήρια όπως η προηγούμενη απόδοση πρόβλεψης ή σε υποκειμενικά κριτήρια όπως η προσωπική κρίση των εμπειρογνομόνων.

Δεν υπάρχει συναίνεση στη βιβλιογραφία σχετικά με τον καλύτερο τρόπο συνδυασμού προβλέψεων. Οι Bates και Granger (1969) πρότειναν τη χρήση βαρών με βάση το μέγεθος των σφαλμάτων που βρέθηκαν σε προηγούμενες εφαρμογές των μεμονωμένων τεχνικών πρόβλεψης. Αν και ορισμένοι ερευνητές έχουν βρει ότι οι σταθμισμένοι μέσοι όροι παράγουν ακριβέστερες προβλέψεις από τους απλούς μέσους όρους (π.χ. Ashton & Ashton, 1985), δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι τα βάρη που βρήκαν βέλτιστα στο παρελθόν θα αποδειχθούν βέλτιστα στο μέλλον. Δεδομένης αυτής της αβεβαιότητας, πολλοί ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ένας απλός μέσος όρος θα έχει γενικά απόδοση τουλάχιστον όσο ή και καλύτερα από πιο εξελιγμένους σταθμισμένους μέσους όρους (π.χ. Clemen, 1989; Diebold & Pauly, 1990; Pant & Starbuck, 1990; Schnaars, 1986).

Ορισμένες εμπειρικές έρευνες έχουν χρησιμοποιήσει μόνο δύο, ενώ άλλες έχουν χρησιμοποιήσει 20 ή περισσότερες προβλέψεις για τον συνδυασμό. Το γενικό συμπέρασμα φαίνεται να είναι ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μεμονωμένων προβλέψεων, τόσο καλύτερα (π.χ. Granger, 1989; Makridakis & Winkler, 1983; Webby & O'Connor, 1996). Ωστόσο, ένα σημαντικό μέρος της βελτίωσης της απόδοσης των προβλέψεων έρχεται με τις πρώτες τέσσερις ή πέντε προβλέψεις που περιλαμβάνονται στο συνδυασμό. Περαιτέρω προσθήκες οδηγούν σε μικρότερες βελτιώσεις. Φαίνεται ότι πολλά από τα οφέλη του συνδυασμού μπορούν να επιτευχθούν με σχετικά μικρό αριθμό μεμονωμένων προβλέψεων (π.χ. Armstrong, 2001c, Ashton & Ashton, 1985; Clemen, 1989).

Παρόλο που ο συνδυασμός είναι μια κοινή πρακτική για πολλούς τύπους πρόβλεψης (συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων πληθυσμού που πραγματοποιούνται από μη-δημογράφους), γνωρίζουμε μόνο μερικές περιπτώσεις στις οποίες έχει χρησιμοποιηθεί από δημογράφους για προβολές πληθυσμού. Ο Voss και ο Kale (1985) έκαναν προβολές για τις Μικρές Πολιτικές Διαιρέσεις στο Ουισκόνσιν χρησιμοποιώντας 11 τεχνικές παρέκτασης. Κατά την αξιολόγηση των σφαλμάτων πρόβλεψης σε ορίζοντα 10 ετών, διαπίστωσαν ότι ο μέσος όρος και των 11 τεχνικών είχε μικρότερα σφάλματα από την πλειονότητα των μεμονωμένων τεχνικών και ότι καμία μεμονωμένη τεχνική δεν ξεπέρασε με συνέπεια τον μέσο όρο. Ο Isserman (1993) έκανε προβολές Cohort Component για κομητείες στη Δυτική Βιρτζίνια, χρησιμοποιώντας ποσοστά μετανάστευσης με βάση τον μέσο όρο των ποσοστών από δύο δεκαετίες. Οι προβολές κομητειών στη Φλόριντα βασίζονται σε έναν μέσο όρο προβολών από τέσσερις απλές μεθόδους παρέκτασης τάσεων, καθεμία από τις οποίες εφαρμόζεται σε αρκετές βασικές περιόδους (Smith & Nogle, 2000) Και οι τρεις από αυτές τις μελέτες χρησιμοποίησαν έναν απλό μέσο όρο, μερικές φορές μετά τον αποκλεισμό του υψηλότερου και του χαμηλότερου από τις μεμονωμένες προβολές για τη μείωση του αντίκτυπου των ακραίων τιμών (δηλ. ένα «κομμένο» μέσο – “trimmed mean”).

Συνοψίζοντας, ο συνδυασμός θα μπορούσε να γίνει με τη χρήση προβολών από διάφορες μεθόδους, όπως μοντέλα Cohort Component και δομικά μοντέλα, καθώς και διάφορες μεθόδους παρέκτασης. Θα μπορούσε επίσης να γίνει χρησιμοποιώντας διάφορα εναλλακτικά σύνολα υποθέσεων για μια δεδομένη μέθοδο (π.χ., διαφορετικούς συνδυασμούς θνησιμότητας, γονιμότητας και υποθέσεων μετανάστευσης για προβολές Cohort component). Ο συνδυασμός θα μπορούσε να γίνει λαμβάνοντας απλούς μέσους όρους ή αναθέτοντας βάρη βάσει ιστορικών παρατηρήσεων ή επαγγελματικής κρίσης (expert judgement). Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αποκαλυφθούν οι στατιστικές κανονικότητες και να εκτιμηθούν τα βέλτιστα βάρη που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη «σύνθετων» προβολών. Είναι δυνατές πολλές προσεγγίσεις.

#### 2.2.5. Επιλογή Μεθόδου

**Τελικά** αποφασίζεται να υιοθετηθεί μία συνδυαστική μέθοδος. Για να ληφθούν υπόψη διαφορές στη δημογραφική σύνθεση ή στα συστατικά της ανάπτυξης, ανακαλούνται πληροφορίες και προβολές πληθυσμού που παρέχονται από τον οργανισμό Worldometer. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων παρέχει εκτιμήσεις μεταβολής πληθυσμού των πόλεων σε Εθνικό επίπεδο (Urban Population), που αφορά και την προκείμενη μελέτη, και υπόκειται σε θεωρητικό υπόβαθρο πέρα από τη δομή του ίδιου του μοντέλου (προβολές βάσει ηλικίας, φύλου, γονιμότητας, θνησιμότητας, μετανάστευσης κλπ.). Η πληροφορία αυτή θα μεταφερθεί σε επίπεδο δήμου και περιοχών βάσει μίας απλής αναλογικής μεθοδολογίας και θα συνδυαστεί με τα αποτελέσματα τριών διαφορετικών μεθόδων απλής παρέκτασης ιστορικών τάσεων, με τη μέθοδο απλών μέσων όρων.

Για κάθε δήμο/περιοχή έγινε ξεχωριστή ανάλυση. Χρησιμοποιήθηκαν 6 μέθοδοι προβλέψης για τον προσδιορισμό του μελλοντικού πληθυσμού.

- i. Τρεις (3) – data extrapolation methods (ιστορικά δεδομένα, Regression models).
- ii. Δύο (2) – share methods (Constant Share, Shift Share model).
- iii. Παραδοχή σταθερού πληθυσμού (constant population) .

Για κάθε περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν όλες ή λιγότερες από τις αναφερόμενες μεθόδους πρόβλεψης στο τελικό μέσο όρο κρίνοντας από την αληθοφάνεια του αποτελέσματός τους (πράσινη ένδειξη, Πίνακας 2-1). Όσον αφορά στον ορίζοντα προβολής, εν συντομία τα εμπειρικά στοιχεία, υποδεικνύουν ότι τα σφάλματα πρόβλεψης είναι γενικά μεγαλύτερα για μικρά μέρη παρά για μεγάλα μέρη. Επίσης είναι γενικά μεγαλύτερα για μέρη που έχουν πολύ υψηλούς ή αρνητικούς ρυθμούς ανάπτυξης από ό, τι για μέρη που έχουν μέτριους, θετικούς ρυθμούς ανάπτυξης. Γενικά αυξάνεται με το μήκος του ορίζοντα προβολής και διαφέρουν από ένα έτος έναρξης σε άλλο. Ο βαθμός πολυπλοκότητας της μεθοδολογίας, ωστόσο, φαίνεται ότι δεν έχει συνεπή επίδραση στην ακρίβεια των προβλέψεων, τουλάχιστον για τις προβλέψεις του συνολικού πληθυσμού.



Πίνακας 2-1: Χρησιμοποιούμενοι μέθοδοι προβολής οικισμών

ΚΕΛ	REGIONS	Περιγραφή ("Πρόγραμμα" Καλλικράτης)	PROJECTIONS					
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			LINEAR	POLYNOMIAL	EXPO	CONSTANT	CONSTANT SHARE	SHIFT SHARE
ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ	REGION1	ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ (Έδρα: Μαραθών,ο)						
		Μαραθών,ο - Σχινιάς,ο						
		Κάτω Σούλιον,το - Αύρα,η						
	REGION2	Άγιος Παντελεήμων,ο						
		Βρανάς,ο						
	REGION3	Νέα Μάκρη,η Νέος Βουτζάς,ο						
ΠΛΑΤΥ ΧΩΡΑΦΙ	REGION1	ΔΗΜΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ - ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ (Έδρα: Ραφήνα,η)						
		Ραφήνα,η						
		Καλλιτεχνούπολις,η						
	REGION2	Πικέρμιον,το						
		Διώνη,η						
		Ντράφι,το						
	REGION3	ΔΗΜΟΣ ΣΠΑΤΩΝ - ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ (Έδρα: Σπάτα,τα)						
		Άρτεμη,η						
		Αγία Κυριακή,η - Άγιος Ιωάννης,ο - Βελανδιά,η - Νεάπολη,η						
		Σπάτα,τα						
	REGION4	Άγιος Νικόλαος Μπούρα,ο						
		Χριστούπολις,η - Φοίνικας,ο - Ήμερος Πεύκος,ο - Έτος Στέκο,το						
REGION4	ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΑΝΙΑΣ (Έδρα: Παιανία,η)							
REGION4	Αργιθέα,η							
ΠΑΙΑΝΙΑΣ - ΚΟΡΩΠΙΟΥ (1η γραμμή)	REGION 0	ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ (Έδρα: Γέρακας,ο)						
		Γέρακας,ο						
		Ανθούσα,η						
	REGION 1	Παλλήνη,η						
		Λεοντάριον,το						
	REGION 2	ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΑΝΙΑΣ (Έδρα: Παιανία,η)						
		Γλυκά Νερά,τα						
		Παιανία,η						
	REGION 3	ΔΗΜΟΣ ΚΡΩΠΙΑΣ (Έδρα: Κορωπίον,το)						
	REGION 3	Κορωπίον,το						
ΠΑΙΑΝΙΑΣ - ΚΟΡΩΠΙΟΥ (2η γραμμή)	REGION 4	ΔΗΜΟΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ (Έδρα: Καλύβια Θορικού,τα)						
		Κορωπίον,το						
		Αγία Μαρίνα,η						
	REGION 5	Άγιος Δημήτριος,ο						
		Κίτσι,το						
		Ανάβυσσος,η						
		Παλιά Φώκαια,η						
REGION 5	Θυμάρι,το Σαρωνίς,η							
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	REGION1	ΔΗΜΟΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ (Έδρα: Καλύβια Θορικού,τα)						
		Καλύβια Θορικού,τα						
	Κουβαράς,ο - Νέος Κουβαράς,ο							
	REGION2	ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ (Έδρα: Μαρκόπουλον,το)						
	REGION3	Μαρκόπουλον,το Αγία Τριάδα,η - Κουλιδάς,ο Λιμνή Μαρκοπούλου,ο						

Εύλογα, οι ορίζοντες προβολής είναι συχνά μεγαλύτεροι για προβολές εθνικής κλίμακας από ό,τι για τοπικές προβολές. Τα μοντέλα ποικίλλουν σε πολυπλοκότητα ανάλογα με τον αριθμό των μεταβλητών και τον βαθμό στον οποίο οι χρήστες νερού κατανέμονται ανά τομέα, τοποθεσία, εποχή ή άλλους παράγοντες αλλά ποικίλλουν επίσης ανάλογα με τον ορίζοντα πρόβλεψης. Οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις είναι συνήθως πιο χρήσιμες για τον σχεδιασμό υποδομών και κεφαλαίου, ενώ οι βραχυπρόθεσμες προβλέψεις είναι πιο χρήσιμες για τον καθορισμό των τιμών του νερού.

Με μία συντηρητική προσέγγιση επιδιώκεται ο προσδιορισμός του πληθυσμού στο πέρας των επόμενων 50 ετών (2021 έως 2071), βάσει του οποίου θα πραγματοποιηθούν οι προσομοιώσεις του υπό σχεδιασμού μοντέλου. Για τις ενδιάμεσες ημερομηνίες λαμβάνεται η απλοποιητική παραδοχή της γραμμικής εξέλιξης του πληθυσμού στο παραπάνω διάστημα.

Πίνακας 2-2: Τύποι προβολής χρήσης νερού (Billings and Jones 2008)

Forecast Type	Forecast Horizon	Applications
Long Term	Decades	Sizing system capacity, raw water supply
Medium Term	Years to a decade	Sizing, staging treatment and distribution system improvements
Short Term	Years	Setting water rates, revenue forecasting, program tracking and evaluation
Very Short Term	Hours, days, weeks	Optimizing, managing system operations, pumping

Συγκρίνοντας τις προβλέψεις βάσει της παραπάνω μεθόδου σε σχέση με αυτές της ΕΥΔΑΠ παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς το τελικό αποτέλεσμα. Να επισημανθεί πως η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται συντηρητική μπροστά στις εκτιμήσεις της ΕΥΔΑΠ για τον μελλοντικά εξυπηρετούμενο πληθυσμό, μιας και εκτιμά την ανάπτυξη του πληθυσμού σε 150% του σημερινού πληθυσμού το έτος 2070 σε αντιδιαστολή με της ΕΥΔΑΠ που εκτιμά 220% στο πέρας του έτους 2060.

Ως εκ τούτου, τα τελικά αποτελέσματα χωρίζονται σε δύο σενάρια πληθυσμιακών προβλέψεων: (i) σε ένα συντηρητικό και (ii) σε ένα που προσεγγίζει τα πληθυσμιακά δεδομένα της ΕΥΔΑΠ. Με προβλέψεις πληθυσμού που αντιμετωπίζουν τον κάθε οικισμό ξεχωριστά, μπορούμε να διακρίνουμε τον τελικά εξυπηρετούμενο πληθυσμό από κάθε ΚΕΛ, ενώ ταυτόχρονα δίνεται ευελιξία ως προς τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης του συνολικού συστήματος - μοντέλου.

## 2.3. Συνοπτική περιγραφή εγκαταστάσεων

### 2.3.1. Γενικά

Στη δεδομένη παράγραφο θα γίνει μία σύντομη περιγραφή των δομικών μερών της εγκατάστασης. Το σύνολο των έργων είναι εκτενές και η συνολική άποψη ως προς το προαναφερθέν σύνολο είναι σημαντική για την κατανόηση του τελικού μοντέλου. Σε αυτό το σύνολο συμπεριλαμβάνονται τόσο υπάρχοντα και υπό κατασκευή, όσο και μελλοντικά - υπό σχεδιασμό έργα.

Συνοπτικά, στα έργα συγκαταλέγονται: μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, τοπικά – εσωτερικά δίκτυα αποχέτευσης, κεντρικοί αποχετευτικοί αγωγοί, κεντρικά και τοπικά αντλητικά συστήματα λυμάτων, εσωτερικά δίκτυα επαναχρησιμοποίησης άρδευσης, αστικής και

βιομηχανικής χρήσης, δεξαμενές και φρεάτια προσωρινής αποθήκευσης του επεξεργασμένου ύδατος, αντλητικά συγκροτήματα επεξεργασμένου ύδατος, αρδευτικές ζώνες/εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης καθώς επίσης και ζώνες - συγκροτήματα τεχνητού εμπλουτισμού υπεδάφους είτε μέσω απλής διήθησης, είτε με μεθόδους εισπίεσης.

Μελετώντας το συνολικό σύστημα από μία μακροσκοπική άποψη, διακρίνεται η ανάγκη να δοθεί ανάλογη βαρύτητα στα συστατικά του στοιχεία. Στην τελική του ανάλυση, κάποια από αυτά θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο, ενώ κάποια άλλα θα αγνοηθούν ως ήσσονος σημασίας. Επίσης σημαντική κρίνεται η συνέπεια όσον αφορά την εμβάθυνση σε κάθε ένα από τα συστατικά που θα χρησιμοποιηθούν. Το τελικό μοντέλο πρέπει να χαρακτηρίζεται από ισότιμα μελετώμενα μέρη.

### 2.3.2. Υφιστάμενα και Μελλοντικά Έργα.

Όσον αφορά τα προτεινόμενα ΚΕΛ που θα συμμετέχουν στο πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων, αυτά ακολουθούν το από το 2018 εγκεκριμένο από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε «Master Plan Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών των ΚΕΛ Ανατολικής Αττικής»:

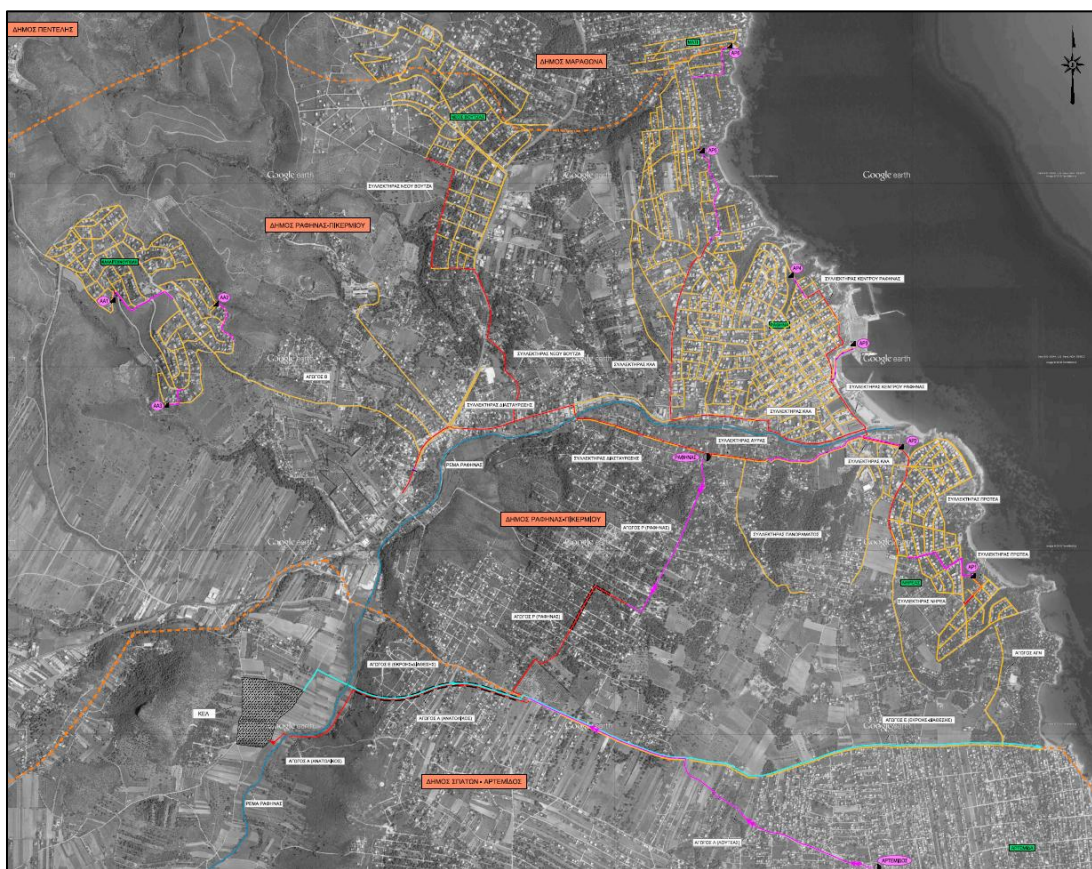
Το ΚΕΛ Β. Μεσογείων (ή ΚΕΛ Δήμων Ραφήνας-Πικερμίου & Σπάτων Αρτέμιδας) και το ΚΕΛ Δήμου Μαραθώνα συνιστούν νέες προσθήκες (υπό σχεδιασμό). Το ΚΕΛ Δήμου Μαρκόπουλου υφίσταται και βρίσκεται ήδη σε λειτουργία από τον Δ. Μαρκόπουλου, ενώ υπό κατασκευή βρίσκεται και η επέκτασή του με μονάδα τριτοβάθμιας επεξεργασίας προς επαναχρησιμοποίηση των εκροών. Το ΚΕΛ ΒΙΟΠΑ που σχεδιάζόταν για τη διοχέτευση σε αυτό των λυμάτων του Δήμου Σαρωνικού -όπως έχει προαναφερθεί- καταργήθηκε, ενώ το ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου βρίσκεται ήδη υπό κατασκευή προβλεπόμενο να επεξεργάζεται και τα λύματα του Σαρωνικού με ξεχωριστή γραμμή και σε επίπεδο τριτοβάθμιας επεξεργασίας.

Σε ό,τι αφορά στα δίκτυα ακαθάρτων, τα δίκτυα Γλυκών Νερών, Φούρεζι και Ν. Παλλήνης (Λεοντάρι, Κάτζα) συνιστούν νέα δίκτυα. Αποδέκτης τους είναι ο ήδη κατασκευασμένος Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΚΑΑ) Παιανίας με τελικό αποδέκτη το υπό κατασκευή ΚΕΛ Κορωπίου – Παιανίας. Τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα Μαρκόπουλου και Πόρτο Ράφτη έχουν αποδέκτη το ΚΕΛ Μαρκόπουλου, ενώ για τα δίκτυα Ραφήνας και περίξ περιοχών Αρτέμιδας που θα καταλήγουν μέσω ΚΑΑ στο ΚΕΛ Β. Μεσογείων και το δίκτυο της ευρύτερης περιοχής του Μαραθώνα έχουν ήδη ανατεθεί σε εργολαβίες. Για το Δ. Σαρωνικού, ο παραλιακός κεντρικός συλλεκτήρας έχει διευθετηθεί ενώ η σύνδεση του με το ΚΕΛ Παιανίας - Κορωπίου είναι υπό μελέτη.

Σε συνεργασία με την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. καθορίστηκε πως τα δίκτυα ακαθάρτων Παλλήνης, Γέρακα και Ανθούσας (νέα δίκτυα) θα αποχετεύονται στο υφιστάμενο δίκτυο ακαθάρτων του λεκανοπεδίου της Αθήνας της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. στη Λ. Μαραθώνος και εν συνεχεία Μεσογείων και τελικά στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ψυττάλειας. Τα δίκτυα ακαθάρτων Καπανδρίτου και Βαρνάβα (νέα δίκτυα) θα αποχετεύονται στον υφιστάμενο Παρακηφισσό Συλλεκτήρα ακαθάρτων (ΠΚΣ) του λεκανοπεδίου της Αθήνας της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. κατά μήκος της Εθνικής Οδού Αθηνών - Λαμίας και τελικά στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ)

Ψυττάλειας. Σχετικά με τους οικισμούς Γραμματικό, Καλέτζι, Άνω Σούλι κλπ. του Δήμου Μαραθώνα δεν έχουν μελετηθεί δίκτυα ακαθάρτων στη παρούσα φάση γιατί αποτελούν οικισμούς Γ προτεραιότητας σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/Ε.Ε. (πληθυσμός < 2000 κάτοικοι). Σε κάθε περίπτωση αποδέκτης θα είναι το ΚΕΛ Μαραθώνα που θα κατασκευασθεί για να εξυπηρετήσει τις οικιστικές ενότητες Μαραθώνα/Νέας Μάκρης. Τα παραπάνω θα αγνοηθούν επομένως στο σχεδιασμό του μοντέλου.

Για τα υπόλοιπα συστατικά μέρη του μοντέλου θα γίνει εκτενέστερος λόγος στα επόμενα κεφάλαια συνοδευόμενος από τις ανάλογες παραδοχές που τα διέπουν.



Εικόνα 2-5: Παράθεση σχεδίων εγκεκριμένης μελέτης για το ΚΕΛ Β. Μεσόγειων (μορφή πληροφορίας)

#### 2.4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένων λυμάτων.

Αναπόσπαστο κομμάτι της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων αποτελεί η ποιοτική τους κατάσταση μετά την επεξεργασία. Το αναλυτικό νομοθετικό πλαίσιο, βάσει της ΚΥΑ 145116/11 για την ποιοτική κατάταξη παρατίθεται στο **Παράρτημα Ι**. Για την εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων υιοθετήθηκαν οι τιμές ρύπων ανά ι.κ. που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2-3: Ρυπαντικά φορτία σχεδιασμού

Παράμετρος	Μέγεθος
BOD (βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο)	60 g/κατ/d
SS (Αιωρούμενα στερεά)	70 g/κατ/d
TN (ολικό άζωτο)	12 g/κατ/d
TP (ολικός φωσφόρος)	3,0 g/κατ/d

Επισημαίνεται πως παρόλο που η δεδομένη μελέτη εστιάζει στην ποσοτική κατανομή των επεξεργασμένων εκροών ανάμεσα στις εν δυνάμει χρήσεις που μπορούν να το αξιοποιήσουν, καθώς επίσης και στην ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος, χάριν πληρότητας αλλά και τεκμηρίωσης και νομοθετικής συμβατότητας, παρατίθενται πινακοποιημένα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων μετά την επεξεργασία τους. Τα αποτελέσματα αυτά είναι απόρροια μελετών της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και δεν αποτελούν μέρος της υφιστάμενης εργασίας. Τελικά προκύπτουν για τα ΚΕΛ Αν. Αττικής :

Πίνακας 2-4: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Μαραθώνα

Χαρακτηριστική Παράμετρος	Όριο Συγκέντρωσης	Παρατηρήσεις
BOD5 (mg/L)	≤ 10	80% των δειγμάτων
COD (mg/L)		
TSS (mg/L)	≤ 2	80% των δειγμάτων
TN (mg/L)	≤ 15	80% των δειγμάτων
Αμμωνιακό άζωτο, (N-NH <sub>4</sub> ) (mg/L)		
TP (mg/L) (1 mg/L) <sup>3</sup>	≤ 5	80% των δειγμάτων
Θολότητα (NTU)	≤ 2	διάμεση τιμή
Ολικά κολοβακτηρίδια TC/100 ml	≤ 5	80% των δειγμάτων
	≤ 50	95% των δειγμάτων

Τα λύματα θα διέρχονται από μονάδα τριτοβάθμιας επεξεργασίας, ώστε να ικανοποιούνται τα όρια για απεριόριστη άρδευση (Πίνακας 2 της ΚΥΑ 145116/11), θα έχουν τα παραπάνω ποιοτικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 2-4).



Πίνακας 2-5: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Πλατύ Χωράφι – Β. Μεσογείων

Χαρακτηριστική Παράμετρος	Όριο Συγκέντρωσης	Παρατηρήσεις
BOD5 (mg/L)	≤ 10	80% των δειγμάτων
COD (mg/L)	≤ 60	
TSS (mg/L)	≤ 2	80% των δειγμάτων
TN (mg/L)	≤ 10	μέση ετήσια τιμή
Αμμωνιακό άζωτο, (N-NH4 )(mg/L)		
TP (mg/L) (1 mg/L) <sup>3</sup>	≤ 4	μέση ετήσια τιμή
Θολότητα (NTU)	≤ 2	διάμεση τιμή
Ολικά κολοβακτηρίδια TC/100 ml	≤ 2	80% των δειγμάτων
	≤ 20	95% των δειγμάτων

Η εφαρμογή της προχωρημένης τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων με απομάκρυνση αζώτου και δυνατότητα απομάκρυνσης φωσφόρου σε σύστημα βιοαντιδραστήρων με μεμβράνες και απολύμανση, εξασφαλίζει την απαιτούμενη ποιότητα επεξεργασμένων λυμάτων για απεριόριστη άρδευση και αστική περιαστική χρήση σύμφωνα με τα όρια του Πίνακα 3 της ΚΥΑ 145116/2011.

Πίνακας 2-6: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Παιανίας - Κορωπίου

Χαρακτηριστική Παράμετρος	Όριο Συγκέντρωσης	Παρατηρήσεις
BOD5 (mg/L)	≤ 10	80% των δειγμάτων
COD (mg/L)		
TSS (mg/L)	≤ 2	80% των δειγμάτων
TN (mg/L)		
Αμμωνιακό άζωτο, (N-NH4 )(mg/L)	≤ 2	80% των δειγμάτων
TP (mg/L) (1 mg/L) <sup>3</sup>		
Θολότητα (NTU)	≤ 2	διάμεση τιμή
Ολικά κολοβακτηρίδια TC/100 ml	≤ 2	80% των δειγμάτων
	≤ 20	95% των δειγμάτων

Η εκροή του ΚΕΛ καλύπτει τις αυστηρότερες απαιτήσεις των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων όπως αυτές ορίζονται στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011, δίνοντας τη δυνατότητα για επαναχρησιμοποίηση του νερού.

Πίνακας 2-7: Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροών ΚΕΛ Μαρκόπουλου

Χαρακτηριστική Παράμετρος	Όριο Συγκέντρωσης	Παρατηρήσεις
BOD5 (mg/L)	≤ 10	80% των δειγμάτων
COD (mg/L)		
TSS (mg/L)	≤ 10	80% των δειγμάτων
TN (mg/L)	≤ 15	80% των δειγμάτων
Αμμωνιακό άζωτο, (N-NH <sub>4</sub> )(mg/L)	≤ 2	80% των δειγμάτων
TP (mg/L) (1 mg/L) <sup>3</sup>		
Θολότητα (NTU)	≤ 2	διάμεση τιμή
Ολικά κολοβακτηρίδια TC/100 ml	≤ 5	80% των δειγμάτων
	≤ 50	95% των δειγμάτων

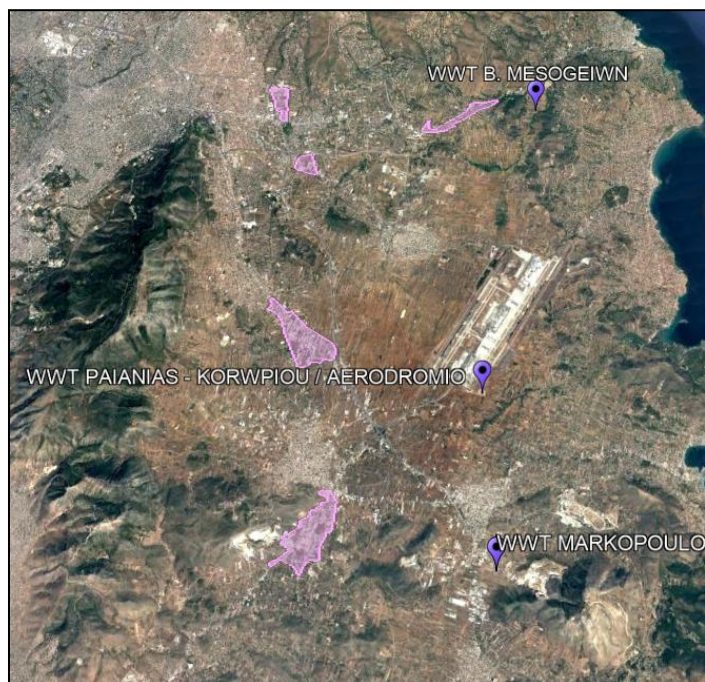
Η ποιοτική αξιολόγηση των επεξεργασμένων λυμάτων της ΕΕΛ Μαρκόπουλου, από πλευράς καταλληλότητας για άρδευση συγκεκριμένων καλλιεργειών έγινε με βάση τα εθνικά όρια και τα διεθνή πρότυπα στα πλαίσια της Μελέτης Επαναχρησιμοποίησης Επεξεργασμένων λυμάτων ΕΕΛ Δήμου Μαρκόπουλου (ΡΟΪΚΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε, 2017), και κατέταξε την εκροή της ΕΕΛ για την περίοδο από Μάιο έως Σεπτέμβριο στην κατηγορία C3-S1. Το νερό αυτό μπορεί να υποστηρίξει την απεριόριστη άρδευση των καλλιεργειών της περιοχής.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, τα όρια εκροής του Πίνακα 3 τα οποία επιτυγχάνονται από το σχήμα επεξεργασίας της ΕΕΛ Μαρκόπουλου μετά από τη διύλιση και την απολύμανση, καθιστούν δυνατή την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για απεριόριστη άρδευση και για βιομηχανική χρήση σύμφωνα με τα οριζόμενα στην ΚΥΑ 145116/2.2.2011 (Β' 354) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», όπως έχει τροποποιηθεί με την ΚΥΑ 191002/2013 (Β' 2220) και ισχύει. Η υπό σχεδιασμό επέκταση της ήδη υπάρχουσας επεξεργασίας θα δίνει την δυνατότητα για αστική και περιαστική χρήση των εκροών.

Γενικότερα, επισημαίνεται ότι με δεδομένη την επεξεργασία αμιγώς αστικών λυμάτων δεν αναμένεται παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων ή ουσιών προτεραιότητας στην εκροή των ΚΕΛ. Εξαιρέση αποτελεί η ΚΕΛ Κορωπίου – Παιανίας που επεξεργάζεται τα λύματα των ομώνυμων ΒΙΟΠΑ, ΒΙΟΠΕ που βρίσκονται πλησίον της μονάδας επεξεργασίας.

Στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Κορωπίου θα οδηγούνται τα λύματα των οικισμών της ευρύτερης περιοχής Κορωπίου – Παιανίας και Σαρωνικού όπως αναλυτικά περιγράφεται σε προηγούμενη ενότητα καθώς και υγρά απόβλητα των βιοτεχνικών μονάδων/ βιομηχανικών του ΒΙΟ.ΠΑ Παιανίας, Καρελλά και Κορωπίου οι οποίες υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της υπ' αριθ. 5673/400/1997 ΚΥΑ και αφορούν σε μονάδες των οποίων τα απόβλητα είναι μη επικίνδυνα ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από επεξεργασία σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων. Οι απαιτήσεις εκροής μετά την επεξεργασία των λυμάτων ακολουθούν τα οριζόμενα στην ΚΥΑ 145116/2011 περί επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, τις κείμενες διατάξεις της νομοθεσίας (οδηγία

91/271/ΕΟΚ, όπως αυτή εφαρμόστηκε στην Ελλάδα με την ΚΥΑ 5673/400/1997, ΦΕΚ 192Β/14-3-1997) καθώς και τις απαιτήσεις ποιότητας του ανακτημένου νερού για γεωργική άρδευση του νέου Ευρωπαϊκού Κανονισμού για την επαναχρησιμοποίηση (Ε.Ε – Ιούνιος 2020).



Εικόνα 2-6: Βιομηχανικές Ζώνες (ΒΙΟΠΑ – ΒΙΟΠΕ) περιοχής μελέτης



### **3. Εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης επεξεργασμένων εκροών ΚΕΛ Ανατολικής Αττικής**

#### **3.1. Γενικά**

Η ΕΥΔΑΠ στο πλαίσιο της υλοποίησης των ΚΕΛ Αν. Αττικής έχει εντάξει στο σχεδιασμό της την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών σύμφωνα με το σύγχρονο θεσμικό πλαίσιο της ΚΥΑ 145116/2011 «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», όπως αυτή τροποποιήθηκε με την ΚΥΑ 191002/2013. Η ΚΥΑ 145116/2011 και η ΚΥΑ 191002/2013 παρατίθενται στο **Παράρτημα Ι** της παρούσας Έκθεσης.

Οι εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης που εξετάζονται είναι:

- Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση.
- Επαναχρησιμοποίηση για αστική και περιαστική χρήση.
- Αξιοποίηση των εκροών για εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα.
- Αξιοποίηση για βιομηχανική χρήση.
- Διάθεση σε υδατορέματα.
- Διάθεση στη θάλασσα με υποθαλάσσιο αγωγό.

Πιο συγκεκριμένα, βασικοί στόχοι της εν λόγω απόφασης είναι: (α) η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων και (β) η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπογείων υδροφορέων. Η ΚΥΑ καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις επεξεργασίας και την αντίστοιχη ποιότητα του ανακτημένου νερού για τις ακόλουθες χρήσεις:

- (i) Άρδευση (περιορισμένη)
- (ii) Απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση (πλην νερού ψύξεως)
- (iii) Τροφοδότηση ή εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων και αστική και περιαστική χρήση,

Για την εν λόγω ΚΥΑ (145116/2011, 357B') έχουν εκδοθεί δύο εγκύκλιοι: (1) η εγκύκλιος 145447 / 23-06-2011 στην οποία δίνονται διευκρινήσεις σχετικά με την ορθή εφαρμογή της ΚΥΑ και (2) η εγκύκλιος 1589 / 3-11-2011 στην οποία δίνονται διευκρινήσεις σχετικά με τις άδειες διάθεσης λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων που καταργούνται μετά την εφαρμογή του άρθρου 12 του Ν. 4014/2011. Τέλος, ένας σημαντικός αριθμός προσθηκών και

τροποποιήσεων της ΚΥΑ 145116 (2011, 357B') δίνονται με την ΚΥΑ Αριθ. οικ. 191002, ΦΕΚ 2220/Β, 09/9/2013.

Να επισημανθεί πως ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση που εκδόθηκε πρόσφατα, θα καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη γεωργική επαναχρησιμοποίηση των υδάτων. Η εφαρμογή του Κανονισμού θα ξεκινήσει το 2023 και αναμένεται να προωθήσει σημαντικά την επαναχρησιμοποίηση ανακτημένου νερού στην Ε.Ε. Ο κανονισμός περιλαμβάνει εναρμονισμένα κριτήρια ποιότητας του νερού για την ασφαλή χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς και απαιτήσεις παρακολούθησης της ποιότητας των προς άρδευση υγρών. Επιπλέον, ο κανονισμός περιλαμβάνει προβλέψεις για την εκτίμηση και διαχείριση κινδύνων τόσο στη δημόσια υγεία όσο και στο περιβάλλον, απαιτήσεις αδειοδοτήσεων και διατάξεις για τη δημοσιοποίηση και ενημέρωση του κοινού. Οι νέοι κανόνες θα περιληφθούν στο περιεχόμενο του νέου Σχεδίου Δράσης για την Κυκλική Οικονομία το οποίο θέτει ως προτεραιότητα την επαναχρησιμοποίηση ανακτημένου νερού τόσο για σκοπούς άρδευσης όσο και για άλλες χρήσεις συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανικής χρήσης.

Ο Κανονισμός καθορίζει τέσσερις κατηγορίες (Α, Β, Γ και Δ) ποιότητας ανακτημένου νερού για άρδευση με την αντίστοιχη γεωργική χρήση και μέθοδο άρδευσης καθώς και τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ποιότητα του νερού, με τις αντίστοιχες ενδεικτικές μεθόδους επεξεργασίας.

### **3.2. Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων**

Καθοριστικός και περιοριστικός παράγοντας για τις δυνατότητες ή μη επαναχρησιμοποίησης των εκροών για διάφορες χρήσεις είναι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων στην εκροή. Στην ΚΥΑ 145116/2011 καθορίζονται τα όρια μικροβιολογικών παραμέτρων, η επεξεργασία και η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση, ανάλογα με τον τύπο επαναχρησιμοποίησης.

Στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 καθορίζονται τα όρια των μικροβιολογικών παραμέτρων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού μιας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3-1: Όρια μικροβιολογικών παραμέτρων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση και εμπλουτισμό υδροφορέων με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος (Πίνακας 1 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011)

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)
<b>Περιορισμένη άρδευση</b> <b>Βιομηχανική χρήση</b> , νερό ψύξης μιας χρήσης <b>Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων</b> , που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-

Αυστηρότερα όρια μικροβιολογικών παραμέτρων καθορίζονται στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού μιας χρήσης.

Για την επίτευξη των ορίων αυτών η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία είναι : Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια και απολύμανση.

Πίνακας 3-2: Όρια μικροβιολογικών παραμέτρων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης (Πίνακας 2 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011)

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα(NTU)
<b>Απεριόριστη άρδευση</b> . Όλες οι καλλιέργειες όπως σπυροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα τρώγονται ωμά, θερμοκήπια <b>Βιομηχανική χρήση</b> , πλην νερού ψύξης μιας χρήσης	≤ 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

Στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 καθορίζονται τα πλέον αυστηρά όρια των μικροβιολογικών παραμέτρων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική - περιαιστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις ως εξής:

Πίνακας 3-3: Όρια μικροβιολογικών παραμέτρων για αστική χρήση, άρδευση περιαιστικού πρασίνου και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις (Πίνακας 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011)

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)
<b>Αστική χρήση</b> <b>Περιστικό πράσινο</b> <b>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις</b>	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή

Για την επίτευξη των ορίων του Πίνακα 3, η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία είναι : Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από προχωρημένη επεξεργασία με κατάλληλο σύστημα μεμβρανών (συνιστάται τουλάχιστον υπερδιήθηση) ή ισοδύναμο σύστημα

επεξεργασίας και απολύμανση που να εξασφαλίζει στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων.

### 3.3. Προτεινόμενη μέθοδος αξιοποίησης

#### 3.3.1. Γενικά

Οι εξετασθείσες εναλλακτικές λύσεις επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών από τα προτεινόμενα ΚΕΛ πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων, βάσει των ορίων εκροής που εξασφαλίζονται, καθώς και το χαρακτήρα της περιοχής σε συνδυασμό με τις ανάγκες που μπορούν να εξυπηρετηθούν.

Σε αυτό το σημείο να τονιστεί πως στη συγκεκριμένη μελέτη δεν ακολουθήθηκε επακριβώς η προτεινόμενη από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. στρατηγική. Ειδικότερα τα κύρια σημεία διαφοροποίησης είναι δύο:

1. Ακολουθήθηκε μία διαφορετική προσέγγιση από εκείνη της ΕΥΔΑΠ ως προς την αστική - περιαστική χρήση (Πρόταση δικτύου μόνο σε Αρτέμιδα και Ραφήνα, και υπολογισμός της βάσει στρεμμάτων). Προτείνεται και προβλέπεται Αστική - Περιαστική χρήση σε όλες τις περιοχές. - (άρδευση αστικού-περιαστικού πρασίνου, πλύσιμο δρόμων, πεζοδρομίων, πλατειών, πάρκα, αμαξοστάσια, πυρόσβεση) – είτε αυτές εξυπηρετούνται από απευθείας δίκτυο, λόγω εγγυήτητάς στους σε WWT (ΕΕΛ), είτε εξυπηρετούνται αποκεντρωμένα από τοπικές μονάδες *sewer mining*.
2. Προτείνεται τεχνητός εμπλουτισμός και αποθήκευση επεξεργασμένων εκροών στο ΚΕΛ Μαραθώνα.

Βάσει της πρώτης διαφοροποίησης γίνεται αντιληπτό πως στο σύνολο των εκροών της Αν. Αττικής πρέπει να προβλεφθεί επεξεργασία ικανή να καλύπτει τα όρια του Πίνακα 3-3 τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα διάθεσης τους σε αστική και περιαστική χρήση, και επομένως σε κάποιες από τις ΚΕΛ θα χρειαστούν επιπρόσθετα από τα υπό σχεδιασμό έργα.

#### 3.3.2. Μέθοδοι αξιοποίησης στα προτεινόμενα ΚΕΛ

Βάσει των προαναφερθέντων ορισμένων από την νομοθεσία ορίων καθώς επίσης και των εκτιμώμενων/μετρημένων ποιοτικών χαρακτηριστικών των εκροών κάθε ΚΕΛ προτείνεται για τις επιμέρους χρήσεις:

Τα λύματα που θα επεξεργάζεται το ΚΕΛ Δήμου **Μαραθώνα** θα είναι αποκλειστικά αστικής προέλευσης καθώς δεν αναμένεται η διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων στο δίκτυο ακαθάρτων, οπότε οι επεξεργασμένες εκροές ανάλογα με την επεξεργασία, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με τους παρακάτω εναλλακτικούς τρόπους διάθεσης:

- Επαναχρησιμοποίηση για γεωργική χρήση – άρδευση
- Επαναχρησιμοποίηση για αστική και περιαστική χρήση

- Αξιοποίηση των εκροών για εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα

Από τους παραπάνω εναλλακτικούς τρόπους διάθεσης των επεξεργασμένων εκροών και με δεδομένο το γεωργικό χαρακτήρα της περιοχής προτείνεται η διάθεση των εκροών για γεωργική χρήση κατά το εξάμηνο Απριλίου – Σεπτεμβρίου. Λαμβάνοντας υπόψη το είδος και την έκταση των καλλιεργειών της περιοχής προτείνεται η προτεραιότητα διάθεσης της παροχής εκροής για απεριόριστη άρδευση κατά την αρδευτική περίοδο. Οι πλεονάζουσες εκροές θα χρησιμοποιούνται για αστική και περιαστική χρήση, ενώ επίσης διαφαίνεται δυνατότητα αποθήκευσης των εκροών στα ΥΥΣ Μαραθώνα (α) και Μαραθώνα (β) μέσω εδαφικής διήθησης. Καθώς στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν βιομηχανικές μονάδες, η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση δεν έχει εφαρμογή και δεν προτείνεται.

Στην περίπτωση κάλυψης των παραπάνω η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού. Οι επεξεργασμένες εκροές θα διατίθενται με υποθαλάσσιο αγωγό στη θάλασσα και θα ικανοποιούν τα όρια εκροής του Πίνακα 3-2 της παρούσας έκθεσης. Σε κάθε περίπτωση οι πλεονάζουσες εκροές του ΚΕΛ Δήμου Μαραθώνα θα μπορούν να διατίθενται στη θαλάσσια περιοχή του Νότιου Ευβοϊκού ανοιχτά του κόλπου της Αγ. Μαρίνας με υποθαλάσσιο αγωγό, σύμφωνα με τους όρους και περιορισμούς της με α.π. οικ. 5339/26.11.2015 Απόφασης του Αντιπεριφερειάρχη Ανατολικής Αττικής και την ΑΕΠΟ του έργου.

Για την ΚΕΛ Β. Μεσόγειων (**Σπάτων-Αρτέμιδος και Ραφήνας-Πικερμίου**) οι εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας είναι:

- Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση
- Επαναχρησιμοποίηση για αστική – περιαστική χρήση
- Αξιοποίηση των εκροών για εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα

Με δεδομένη την ύπαρξη μεγάλων γεωργικών εκτάσεων στα Μεσόγεια, οι οποίες σήμερα αρδεύονται πλημμελώς με γεωτρήσεις, η κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής σύμφωνα με το άρθρο 4 της ΚΥΑ 145116/2011 εξετάστηκε κατά προτεραιότητα.

Εκτός της επαναχρησιμοποίησης για άρδευση εξετάστηκε επίσης η δυνατότητα αξιοποίησης των εκροών για εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις σύμφωνα με το άρθρο 5 της ΚΥΑ 145116/2011, η αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση σύμφωνα με το άρθρο 6 της ΚΥΑ 145116/2011 και η βιομηχανική χρήση σύμφωνα με το άρθρο 7 της ΚΥΑ 145116/2011.

Για τις εκροές του ΚΕΛ των Δήμων Ραφήνας – Πικερμίου και Σπάτων - Αρτέμιδας επελέγη η συνδυασμένη εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση και αστική – περιαστική χρήση καθ' όλο το χρόνο και διάθεση της πλεονάζουσας παροχής στη θάλασσα (Ν. Ευβοϊκό) με υποθαλάσσιο αγωγό.

Με βάση την επισκόπηση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. εκτιμάται ότι είναι ιδιαίτερα δύσκολη η εφαρμογή προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού, εκτεταμένης κλίμακας. Το μικρό και αυξομειούμενο κατά θέσεις πάχος των αδρομερών σύγχρονων αποθέσεων, δεν επιτρέπει την ανάπτυξη αξιοσημείωτης ελεύθερης υπόγειας υδροφορίας εντός της οποίας θα μπορούσαν να αποθηκευθούν σημαντικές ποσότητες νερού προερχόμενες από τις εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων. Οι συχνές εναλλαγές αδρομερών με πλέον λεπτόκοκκα και μικρής διαπερατότητας υλικά στις νεογενείς αποθέσεις δεν επιτρέπουν επίσης την ανάπτυξη αξιόλογης υπόγειας υδροφορίας σ' αυτές. Η παρουσία επιμέρους υπόγειων υδροφοριών στους αδρομερείς ορίζοντες των κροκαλολατυποπαγών και ψαμιτών δεν παρουσιάζει ανάπτυξη στο χώρο ώστε στη ζώνη αυτή να επιδιωχθεί εφαρμογή προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού. Με βάση τα ανωτέρω δεν προτείνεται η εφαρμογή προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού, για την ενίσχυση των αναπτυσσόμενων υδροφοριών.

Επί πλέον δεν διαφαίνεται προοπτική για αξιοποίηση των επεξεργασμένων εκροών για βιομηχανική χρήση στα Βόρεια Μεσόγεια.

Η αξιοποίηση των εκροών του ΚΕΛ **Παιανίας – Κορωπίου** θα πραγματοποιείται με συνδυασμό επιφανειακής άρδευσης, αστικής περιαστικής χρήσης, βιομηχανικής χρήσης καθώς και εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα (εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων σε 3 ζώνες). *(Η τεκμηρίωση της παραπάνω επιλογής έχει πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο της πρόσφατης μελέτης «Παροχή Υπηρεσιών Τεχνικού Συμβούλου για τη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων για τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία, διάθεση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων του Δήμου Σαρωνικού και Αγίας Μαρίνας και Αγίου Δημητρίου Δήμου Κρωπίας.(ΕΥΔΑΠ Α.Ε, Απρίλιος 2020)».)*

Ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα θα γίνει μέσω κατάλληλων περιοχών σε τρεις Ζώνες (βλ. Αναλυτικά Ενότητα 5.2).

Επιπλέον της επιφανειακής άρδευσης, το ανακτημένο νερό θα χρησιμοποιείται για πυρόσβεση. Οι απαιτήσεις ποιότητας για χρήση νερού για πυρόσβεση δίδονται στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011, και καλύπτονται πλήρως από την εκροή του ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου. Ο Σταθμός Πυροσβεστικής στο Κορωπί (Πυροσβεστική Κρωπίας) βρίσκεται στην οδό Βασιλέως Κων/νου 3 (Λ. Λαυρίου) σε απόσταση 150 m περίπου από τη διασταύρωση των οδών Κοντρατσή Ζακύνθου και Λ. Λαυρίου. Ο αγωγός που οδεύει προς τις γεωτρήσεις της Ζώνης 1 θα παρέχει νερό και στον Πυροσβεστικό σταθμό ενώ κατά μήκος του δικτύου θα προβλεφθούν κρουνοί σε κατάλληλες θέσεις για την τροφοδοσία των πυροσβεστικών οχημάτων.

Η εκροή του ΚΕΛ καλύπτει επίσης τις απαιτήσεις των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων όπως αυτά ορίζονται στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 για άρδευση αστικού - περιαστικού πρασίνου.

Οι απαιτήσεις ποιότητας για βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης δίδονται στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 ενώ οι αντίστοιχες απαιτήσεις για βιομηχανική χρήση (πλυν του νερού ψύξης) δίδονται στον Πίνακα 2. Η εκροή του ΚΕΛ καλύπτει τις αυστηρότερες απαιτήσεις των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων όπως αυτά ορίζονται στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011, δίνοντας τη δυνατότητα για επαναχρησιμοποίηση του νερού για Βιομηχανική χρήση στη Βιομηχανική/Βιοτεχνική Περιοχή Παιανίας –Κορωπίου.

Με βάση το χαρακτήρα της περιοχής, των γεωργικών εκτάσεων που υπάρχουν στο **Δήμο Μαρκόπουλου** και της μεγάλης ποσότητας νερού που απαιτείται για την ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών τους, προτείνεται η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για απεριόριστη άρδευση.

Ο Δήμος Μαρκόπουλου διαθέτει σημαντικές γεωργικές εκτάσεις και η έλλειψη δικτύου άρδευσης στην περιοχή εντείνει την αναγκαιότητα αξιοποίησης των εκροών του ΚΕΛ για το σκοπό αυτό τους μήνες της αρδευτικής περιόδου.

Οι διατιθέμενες για άρδευση γεωργικές εκτάσεις του Δήμου Μαρκόπουλου οι οποίες βρίσκονται σε μικρή σχετικά απόσταση από την εγκατάσταση επεξεργασίας, προσφέρονται για την πλήρη αξιοποίηση των επεξεργασμένων εκροών τους θερινούς μήνες χωρίς να απαιτείται να εξευρεθούν άλλοι τρόποι επαναχρησιμοποίησης. Παρ' όλα αυτά προτείνεται η επαναχρησιμοποίηση μέρους του κύριου όγκου επεξεργασμένων εκροών για αστική- περιβαλλοντική χρήση. Πρέπει να επισημανθεί πως απαιτούνται επιπρόσθετα έργα στο ΚΕΛ Δήμου Μαρκόπουλου ώστε να εξασφαλίζεται η «προχωρημένη επεξεργασία» του Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 και η «κατάλληλη ποιότητα» που αφορά κυρίως στο όριο των αιωρούμενων στερεών.

Στο πλαίσιο των έργων επεξεργασίας (της επέκτασης της εγκατάστασης) έχει προβλεφθεί μικρή μονάδα προχωρημένης επεξεργασίας με σύστημα μεμβρανών και εφαρμογή υπερδιήθησης (Ultra Filtration – UV) για την προχωρημένη επεξεργασία των εκροών. Οι εκροές μετά από την προχωρημένη επεξεργασία θα μπορούν να χρησιμοποιούνται για αστική – περιβαλλοντική χρήση.

Δεν προτείνεται επίσης η επαναχρησιμοποίηση για εμπλουτισμό ή τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων.

Οι ποσότητες επεξεργασμένων λυμάτων οι οποίες δεν θα αξιοποιηθούν θα διατίθενται στη θάλασσα. Ο αγωγός διάθεσης των επεξεργασμένων εκροών της ΕΕΛ Μαρκόπουλου θα εκκινεί από την έξοδο της Εγκατάστασης και θα συμβάλει στον κεντρικό αγωγό διάθεσης των επεξεργασμένων εκροών του ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου. Οι επεξεργασμένες εκροές θα καταλήγουν μέσω υποθαλάσσιου αγωγού διάθεσης στη θαλάσσια περιοχή της Χαμολιάς.

Μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή των αγωγών διάθεσης, οι επεξεργασμένες εκροές θα διατίθενται στο ρέμα Αγίου Γεωργίου για παροχή μέχρι 3.500m<sup>3</sup>/d. Ο αγωγός διάθεσης στο ρ.

Αγ. Γεωργίου, μετά την ολοκλήρωση των έργων θα παραμένει ως εναλλακτικός αποδέκτης για μέγιστη παροχή 3.500m<sup>3</sup>/d.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη καταλήγουμε στο πόρισμα πως βάσει του δεδομένου μοντέλου επιπλέον έργα για επεξεργασία θα χρειαστούν μόνο στα ΚΕΛ Μαραθώνος και Μαρκόπουλου.

Αυτού του είδους η διαχείριση των εκροών θα παρέχει υψηλής ποιότητας αρδευτικό νερό σε μεγάλες γεωργικές εκτάσεις, ενώ ταυτόχρονα θα διασφαλίζει την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής και στερείται αρνητικών επιπτώσεων για το περιβάλλον.



## **4. Παροχές επεξεργασμένων λυμάτων στις προτεινόμενες ΚΕΛ**

### **4.1. Γενικά**

Στο πλαίσιο της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών έγινε προσπάθεια εκτίμησης των διατιθέμενων παροχών (εκροών από τα ΚΕΛ) οι οποίες θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε μηνιαία βάση. Γενικά, οι αγωγοί ακαθάρτων μεταφέρουν τα αστικά λύματα και ορισμένες επιπλέον ποσότητες υπογείου νερού και επιφανειακής απορροής που εισέρχονται σε αυτούς (παρασιτικές εισροές). Στην προκειμένη περίπτωση τα υπό σχεδιασμό δίκτυα θεωρήθηκαν κλειστού τύπου και οι τελευταίες παροχές αγνοήθηκαν. Κατά συνέπεια η εκτίμηση της παροχής των αγωγών προϋποθέτει την εκτίμηση του πληθυσμού που εξυπηρετείται (όπως αυτή αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2), της κατανάλωσης του νερού και του ποσοστού της που καταλήγει στους αγωγούς αποχέτευσης.

Ως εκ τούτου αναλογιζόμενοι πως έγινε ξεχωριστή πρόβλεψη πληθυσμού για τον κάθε εξυπηρετούμενο οικισμό εύλογα ακολουθήθηκε παρόμοια μεθοδολογία και για τα λύματα (ως συνέχεια των υπολογισμών). Το άθροισμα των παραπάνω εκροών θα αποτελεί και το συνολικό προς επεξεργασία και τελικώς προς επαναχρησιμοποίηση νερό. Υπενθυμίζουμε πως οι υπολογισμοί έγιναν για βάθος χρόνου 50 ετών, όση δηλαδή και η διάρκεια του υπό σχεδιασμό μοντέλου (διεθνώς και η περίοδος σχεδιασμού για τους κύριους συλλεκτήρες λυμάτων).

### **4.2. Ποσότητα και Διακύμανση των παροχών ακαθάρτων**

Εκτός από την περίπτωση που υπάρχουν επαρκή και αξιόπιστα στοιχεία από μετρήσεις σε υφιστάμενους αγωγούς ακαθάρτων, οι εκτιμήσεις των παροχών ακαθάρτων βασίζονται πάνω στις αντίστοιχες παροχές ύδρευσης, αφού αφαιρεθούν οι ποσότητες που δεν καταλήγουν στους υπονόμους. Οι ποσότητες αυτές, που κατά μεγάλο μέρος τους μετατρέπονται σε υδρατμούς, καταναλώνονται για πότισμα γλαστρών, κήπων, και πάρκων, για πλύσιμο αυτοκινήτων και δρόμων και για καθαρισμό σπιτιών. Οι υπόλοιπες ποσότητες που καταλήγουν στην αποχέτευση εκτιμώνται συνήθως ως ένα σταθερό ποσοστό στις καταναλώσεις ύδρευσης, το οποίο εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και κυμαίνεται από 60% έως 80%. Για την εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού οι ελληνικές προδιαγραφές (ΠΔ696, 1974) επιβάλλουν το ποσοστό αυτό να θεωρείται 80%. Η ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (1985) συνιστά γενικώς ποσοστό 85%, εκτός από τις παραθεριστικές περιοχές και τις περιοχές υψηλής εισοδηματικής τάξης, όπου συνιστά ποσοστό 80%.

Η υδατική κατανάλωση διακρίνεται κατ' αρχάς σε οικιακή, βιομηχανική, δημόσια και δημοτική. Οι συνιστώσες αυτές της κατανάλωσης εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις από περιοχή σε

περιοχή και οι παράγοντες που τις επηρεάζουν είναι (1) το κλίμα, (2) το επίπεδο ζωής, (3) η ύπαρξη ή όχι δικτύου αποχέτευσης, (4) ο τύπος των εμπορικών, βιομηχανικών και τουριστικών δραστηριοτήτων, (5) η διαθεσιμότητα του υδρευτικού νερού, (6) οι πιέσεις του δικτύου ύδρευσης, (7) η ποιότητα του νερού (8) το κόστος του νερού και (9) η πολιτική διαχείρισης του συστήματος υδροδότησης. Επισημαίνεται πως πάντα θα πρέπει να γίνεται μια προβολή στο μέλλον της κατανάλωσης, δεδομένου ότι η βελτίωση της ποιότητας ζωής, η τυχόν ανάπτυξη της πόλης, αλλά ακόμη και η κατασκευή του δικτύου αποχέτευσης οδηγούν σε αύξηση της κατανάλωσης.

Συνήθως οι διάφορες συνιστώσες της κατανάλωσης εκφράζονται με το δείκτη της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ανά κάτοικο  $L/(d \text{ κατ})$ . Στον ελλαδικό χώρο οι τυπικές τιμές της οικιακής κατανάλωσης κυμαίνονται από 150 έως 250  $L/(d \text{ κατ})$  σε μικρούς οικισμούς έως μεγάλες πόλεις, με μέση τιμή 200  $L/(d \text{ κατ})$ . Στην Αθήνα η μέση ετήσια οικιακή κατανάλωση (για το έτος 2026) έχει τυποποιηθεί (ΕΥΔΑΠ, 1985) ως εξής:

- 235  $L/(d \text{ κατ})$  για περιοχές μέσης και κατώτερης εισοδηματικής τάξης.
- 310  $L/(d \text{ κατ})$  για περιοχές ανώτερης εισοδηματικής τάξης.
- 380  $L/(d \text{ κατ})$  για ημιαστικοπαραθεριστικές περιοχές (παραλιακοί Δήμοι) και υψηλής εισοδηματικής τάξης (β. προάστια).

Γενικά για τις βιομηχανικές, δημόσιες και δημοτικές καταναλώσεις προσδιορίζονται ξεχωριστά, παίρνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες. Συχνά για λόγους ομοιομορφίας ανάγονται και αυτές σε ειδικές καταναλώσεις ανά κάτοικο, που προστίθενται στην οικιακή κατανάλωση. Να τονιστεί πως στο αναπτυσσόμενο μοντέλο δεν έγινε κάποια ιδιαίτερη μέριμνα για την απορροή λυμάτων από τις βιοτεχνικές και βιομηχανικές περιοχές, ως αμελητέα ποσότητα σε σχέση με αυτή των αστικών λυμάτων.

Αναφορικά με τη διακύμανση, οι παροχές ακαθάρτων εμφανίζουν συνεχείς μεταβολές που κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- i. Υπερετήσιες μεταβολές: Οφείλονται στην εξέλιξη του πληθυσμού, των κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών και του επιπέδου διαβίωσης, και εν γένει είναι αυξητικές. Κατά συνέπεια οι μέγιστες παροχές του έργου εμφανίζονται στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού του.
- ii. Διακυμάνσεις μέσα στη διάρκεια ενός έτους: Οι διακυμάνσεις αυτές είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος τους περιοδικές και κατά το υπόλοιπο τυχαίες και οφείλονται στις αντίστοιχες μεταβολές της κατανάλωσης νερού που προκαλούνται από τις διάφορες κλιματικές συνθήκες. Έτσι το καλοκαίρι οι καταναλώσεις νερού και οι παροχές ακαθάρτων είναι μεγαλύτερες.
- iii. Διακυμάνσεις στη διάρκεια της ημέρας: οι διακυμάνσεις αυτές έχουν μία ντετερμινιστική συνιστώσα που συναρτάται με τις γενικευμένες καθημερινές συνθήκες της ζωής και μία τυχαία συνιστώσα.

Είναι προφανές πως στην υφιστάμενη μελέτη θα πρέπει να προβλεφθούν οι δύο πρώτες διακυμάνσεις ενώ η τρίτη αγνοείται στο πλαίσιο ενός μοντέλου μηνιαίου βήματος.

Τέλος τα κυριότερα μεγέθη παροχής που κατά κανόνα ενδιαφέρουν τη δεδομένη μελέτη και ο τρόπος υπολογισμού τους, κωδικοποιούνται στα ακόλουθα.

- a. Μέση μηνιαία παροχή ακαθάρτων  $Q_E$  (και ανηγμένη κατά κάτοικο  $q_E$ ). Ουσιαστικά είναι ο ετήσιος όγκος ακαθάρτων, διηρημένος με τη διάρκεια ενός έτους. Εκτιμάται ως η αντίστοιχη παροχή ύδρευσης επί ενός συντελεστή απορροής στο δίκτυο.
- b. Μέγιστη μηνιαία παροχή ακαθάρτων  $Q_H$  (και ανηγμένη κατά κάτοικο  $q_H$ ). Ουσιαστικά είναι η μέση παροχή του μήνα με τη μεγαλύτερη κατανάλωση. Εκτιμάται ως το γινόμενο της μέσης μηνιαίας παροχής επί ενός συντελεστή μηνιαίας αιχμής  $\lambda_H$ .

### **4.3. Εκτίμηση διατιθέμενων ποσοτήτων επεξεργασμένων λυμάτων**

Δεδομένων όλων των προαναφερθέντων, και ελλείψει επαρκών και αξιόπιστων διαθέσιμων στοιχείων αγωγών αποχέτευσης για τα υπό σχεδιασμό έργα, κρίθηκε αναγκαία η αξιοποίηση χρονοσειράς κατανάλωσης νερού από τη Μονάδα Επεξεργασίας Νερού (MEN) Κιούρκων. Από την δεδομένη χρονοσειρά δημιουργήθηκε στοχαστική - συνθετική χιλίων (1000) ετών με μηνιαίο βήμα.

Όσον αφορά τη στοχαστική προσομοίωση και την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών, αυτή έγινε με τη βοήθεια του πακέτου, γλώσσας προγραμματισμού R, anySim (Tsoukalas et al., 2020) το οποίο προσφέρει πρόσβαση σε πληθώρα μοντέλων στοχαστικής προσομοίωσης, αλλά και επιμερισμού χρονοσειρών (Kossieris et al., 2019; Tsoukalas et al., 2017, 2018a, 2018b, 2019). Πιο συγκεκριμένα, και στις δύο περιπτώσεις, η γένεση συνθετικών χρονοσειρών έγινε με τη βοήθεια ενός σχήματος στοχαστικού επιμερισμού χρονοσειρών (Tsoukalas et al., 2019) το οποίο επιτρέπει τη σύζευξη ενός στάσιμου στοχαστικού μοντέλου (Tsoukalas et al., 2018b), για την ετήσια χρονική κλίμακα, και την προσομοίωση ανεξίτηλων που παρουσιάζουν έντονη αυτοσυσχέτιση (π.χ., τύπου fractional Gaussian noise ή αλλιώς Hurst-Kolmogorov, βλ., Koutsoyiannis (2003)) με ένα κυκλοστάσιμο μοντέλο, για την μηνιαία χρονική κλίμακα, ικανό να περιγράψει ανεξίτηλους με περιοδικά μεταβαλλόμενες περιθώριες κατανομές και συσχετίσεις (Tsoukalas et al., 2017, 2018a). Πέραν των παραπάνω εργασιών, συνοπτικές περιγραφές των μοντέλων παρουσιάζονται στις εργασίες των Tsoukalas et al. (2020) και Kossieris et al. (2019).

Λαμβάνοντας υπόψη τον χαρακτήρα των υπό μελέτη περιοχών, με την παραδοχή ότι η απορροή στο δίκτυο ακαθάρτων σε σχέση με την κατανάλωση νερού εκτιμάται σε 70% τους μήνες της θερινής περιόδου (Ιούνιο έως και Σεπτέμβριο) και τους υπόλοιπους μήνες στην αποχέτευση καταλήγει, αντίστοιχα, ποσοστό 80%, δημιουργήθηκε μία αντίστοιχη στοχαστική χρονοσειρά απορροής λυμάτων στο δίκτυο.

Θεωρώντας την χρονοσειρά αντιπροσωπευτική ως προς την συμπεριφορά του μέσου καταναλωτή στους οικισμούς της Αν. Αττικής και χωρίζοντας την σε 20 διαδοχικές 50-ετιές

προσδιορίστηκε ο μέσος συντελεστής μηνιαίας αιχμής  $\lambda_H$ . Στην προκειμένη περίπτωση από την επεξεργασία προέκυψε για το σύνολο της περιοχής εξυπηρέτησης της ΜΕΝ Κιούρκων, ο συντελεστής  $\lambda_H$  ως 2.25.

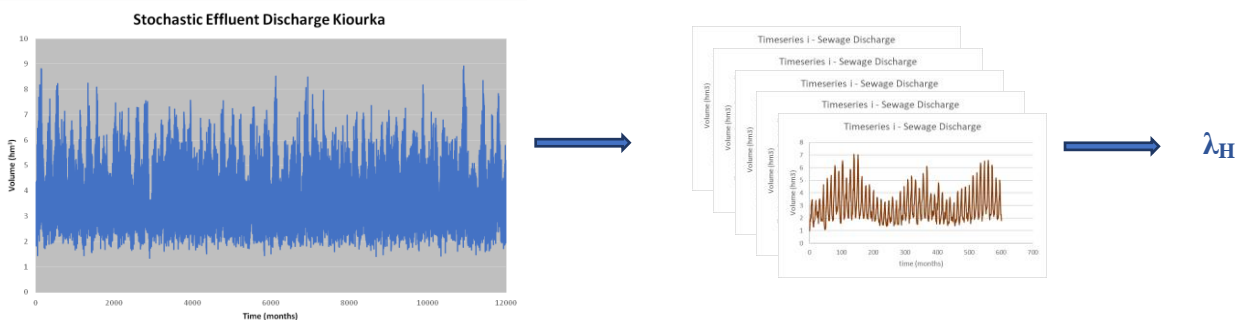
Προφανώς αυτή η χρονοσειρά αφορά την απορροή λυμάτων μιας ευρύτερης πληθυσμιακά μερίδας. Από εδώ και στο εξής θα αναφερόμαστε στην συγκεκριμένη χρονοσειρά ως  $X$ .

Για την αναγωγή της πληροφορίας της  $X$  σε κάθε οικισμό ξεχωριστά ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Βάσει των πληθυσμιακών εκτιμήσεων κάθε οικισμού υπολογίσθηκαν τα κύρια μεγέθη παροχής απορροής ακαθάρτων  $Q_{E(2021)}$  και  $Q_{H(2071)}$  με την υπόθεση μέσης υδατικής κατανάλωσης 200 L/(d κατ) και  $\lambda_H=2.25$ .
- Με την ως ανωτέρω μέση παροχή του 2021 έγινε μία αναγωγή της  $X$  στον κάθε οικισμό, οπότε προέκυψε μία 50-ετής χρονοσειρά  $Y_o$  για κάθε οικισμό.
- Τέλος δόθηκε ένα trend στη χρονοσειρά  $Y_o$ , ώστε η μέγιστη τιμή της, που βάσει λογικής παρουσιάζεται στους θερινούς μήνες των τελευταίων ετών, να συνάδει με την  $Q_{H(2071)}$ .
- Επειδή ο συνολικός πληθυσμός αποτελεί άθροισμα του μόνιμου και του εποχικού πληθυσμού, και γνωρίζοντας τον παραθεριστικό χαρακτήρα κάποιων περιοχών, η παροχή λυμάτων τους θερινούς μήνες πολλαπλασιάστηκε με ένα συντελεστή (βάσει των μελετών ΕΥΔΑΠ) που υποδηλώνει την αντίστοιχη αύξηση του πληθυσμού.

Με την παραπάνω διαδικασία εξασφαλίζεται πως οι τελικές χρονοσειρές απορροής λυμάτων του κάθε οικισμού, υπακούουν τόσο στις υπερετήσιες μεταβολές λόγω πληθυσμιακής αλλαγής, όσο και στις μεταβολές λόγω εποχικότητας της κατανάλωσης ύδατος.

Είναι προφανές και πρέπει να τονιστεί ότι οι ποσότητες αυτές δεν είναι εξασφαλισμένες και εξαρτώνται από την ολοκλήρωση του έργου, την αναμενόμενη αύξηση του πληθυσμού και τις συνδέσεις στο δίκτυο αποχέτευσης.

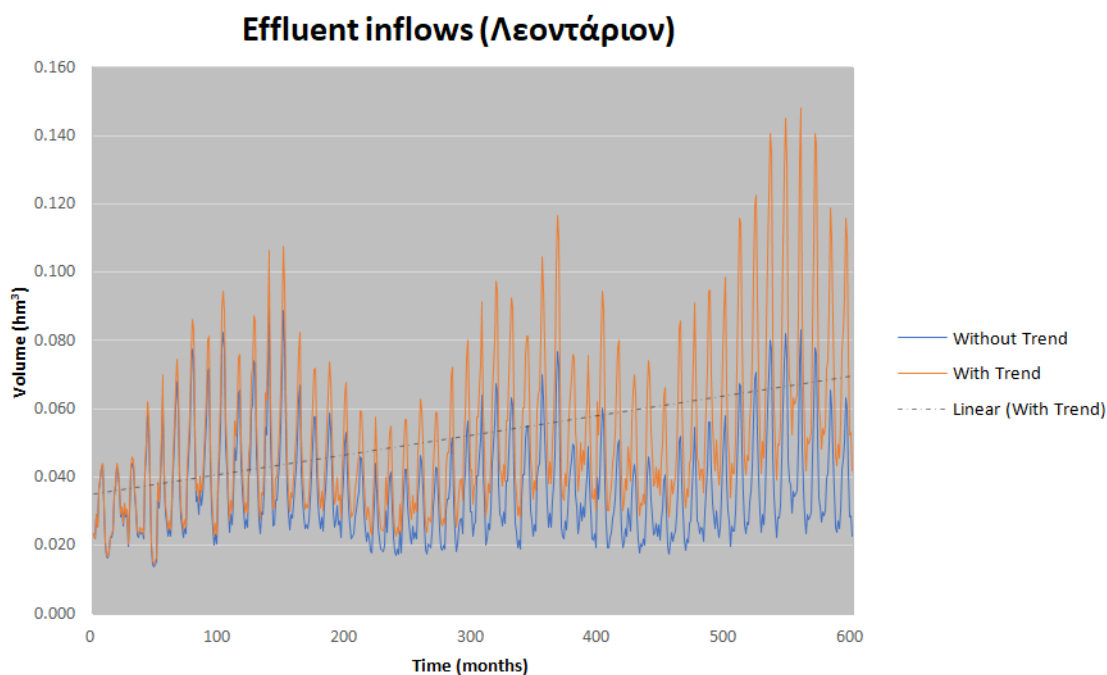


Εικόνα 4-1: Διαδικασία υπολογισμού συντελεστή θερινής παροχής

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά της συνθετικής χρονοσειράς χιλίων χρόνων, καθώς και ένα ενδεικτικό τελικό αποτέλεσμα για έναν από τους οικισμούς παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα και σχήμα αντίστοιχα.

Πίνακας 4-1: Στατιστικά χαρακτηριστικά συνθετικής χρονοσειράς παροχής λυμάτων ΜΕΝ Κιούρκων

Κιούρκα Discharge (hm <sup>3</sup> )	
Average	3.58
STDEV	1.27



Σχήμα 4-1: Παράδειγμα υπερετήσιας μεταβολής παροχής λυμάτων για τον οικισμό Λεοντάριον

## **5. Εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης επεξεργασμένων εκροών ΚΕΛ**

### **5.1. Άρδευση**

#### 5.1.1. Γενικά

Στην περίπτωση διάθεσης ποσότητας επεξεργασμένων εκροών για άρδευση, η ανά μονάδα εδαφικής επιφάνειας μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση με επεξεργασμένες εκροές και η συνολικά απαιτούμενη έκταση για τη διάθεσή τους υπολογίζεται γενικά βάσει:

- των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό,
- του υδραυλικού φορτίου εφαρμογής στο έδαφος,
- του οργανικού φορτίου,
- του φορτίου σε στερεά, και
- του φορτίου θρεπτικών στοιχείων.

Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης έκτασης πραγματοποιείται έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες των φυτών σε νερό κατά το μήνα με τις μέγιστες αρδευτικές ανάγκες και για ολόκληρη την αρδευτική περίοδο, και ταυτόχρονα να αποφεύγεται η διήθηση εδαφικού νερού και η υπερφόρτιση του εδάφους με οργανικό φορτίο, φορτίο στερεών ή θρεπτικών.

Για λύματα, τα οποία έχουν υποστεί προχωρημένη επεξεργασία ώστε να είναι κατάλληλα για απεριόριστη άρδευση, η απαιτούμενη έκταση προκύπτει βάσει των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών, καθώς τα μέγιστα όρια παροχής νερού λόγω υδραυλικού φορτίου, οργανικού φορτίου, φορτίου στερεών και θρεπτικών είναι γενικά μεγαλύτερα. Να επισημανθεί πως οι παραπάνω εκτιμήσεις/υπολογισμοί για την φόρτιση του εδάφους έχουν πραγματοποιηθεί από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και η εγκυρότητα τους λαμβάνεται δεδομένη.

Με την παραδοχή πλήρως ανεπτυγμένων μονάδων ΚΕΛ για την εξυπηρέτηση της Ανατολικής Αττικής, που όπως έχει προαναφερθεί παράγουν λύματα ικανά για απεριόριστη άρδευση, κρίσιμο παράγοντα προσδιορισμού των καλλιεργήσιμων εκτάσεων που δύναται να εξυπηρετηθούν από επεξεργασμένες εκροές, αποτελούν αποκλειστικά οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Σε αντιδιαστολή με το ήδη υπάρχον masterplan, στη δεδομένη μελέτη οι εξυπηρετηθείσες εκτάσεις δεν υπολογίζονται ντετερμινιστικά, αλλά αποτελούν μεταβλητή που καθορίζει την τελική απόδοση του συστήματος. Οι αρχικές εκτιμήσεις για τις αρδευθείσες εκτάσεις λήφθηκαν αυτούσιες όπως θα αναφερθούν στα επόμενα κεφάλαια, βάσει της πρότασης της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

### 5.1.2. Προσδιορισμός αναγκών άρδευσης – Μεθοδολογία

Με τον όρο εξατμισοδιαπνοή εννοούμε την ποσότητα του νερού που καταναλώνεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξάτμιση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Από την εξατμισοδιαπνοή εξαρτώνται όχι μόνο οι απαιτούμενες ποσότητες αρδευτικού νερού ανεξαρτήτως προέλευσης, αλλά και γενικά η εφαρμογή των αρδεύσεων και η οικονομική ευστάθεια των έργων.

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, έχοντας υπόψη την ανάγκη για ακρίβεια και τον υπολογιστικό φόρτο των μεθόδων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απλοποιημένη μέθοδος των Blaney-Criddle με την οποία υπολογίζουμε την μηνιαία εξατμισοδιαπνοή από τη σχέση:

$$ET = K \cdot F = \left[ \frac{(1.8T+32)P}{3.94} \right] \quad (1)$$

Όπου:

*ET είναι η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm,*

*K είναι ο εμπειρικός φυτικός συντελεστής (υδατοκατανάλωσης) που αναφέρεται στη συγκεκριμένη καλλιέργεια*

*T είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε °C και*

*P είναι το μηνιαίο ποσοστό διάρκειας των ωρών ημέρας σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους, το οποίο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του βορείου ημισφαιρίου.*

Η προς άρδευση περιοχή με επεξεργασμένες εκροές των ΚΕΛ Δήμων Ραφήνας – Πικερμίου και Σπάτων - Αρτέμιδος, Παιανίας – Κορωπίου (μέρος των οποίων πρώην ΒΙΟΠΑ Καλυβίων) και Δήμου Μαρκόπουλου βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 37<sup>0</sup>, ενώ η προτεινόμενη προς άρδευση περιοχή με τις επεξεργασμένες εκροές του ΚΕΛ Δήμου Μαραθώνα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38<sup>0</sup>.

Για τον υπολογισμό των αναγκών των φυτών σε νερό αφαιρούνται οι ωφέλιμες μηνιαίες βροχοπτώσεις ( $P_{eff}$ ) οι οποίες για συνολικές κατακρημνίσεις < 250 mm, υπολογίζονται από τη σχέση :

$$P_{eff} = \frac{P_{tot}(125 - 0.2P_{tot})}{125} \quad (2)$$

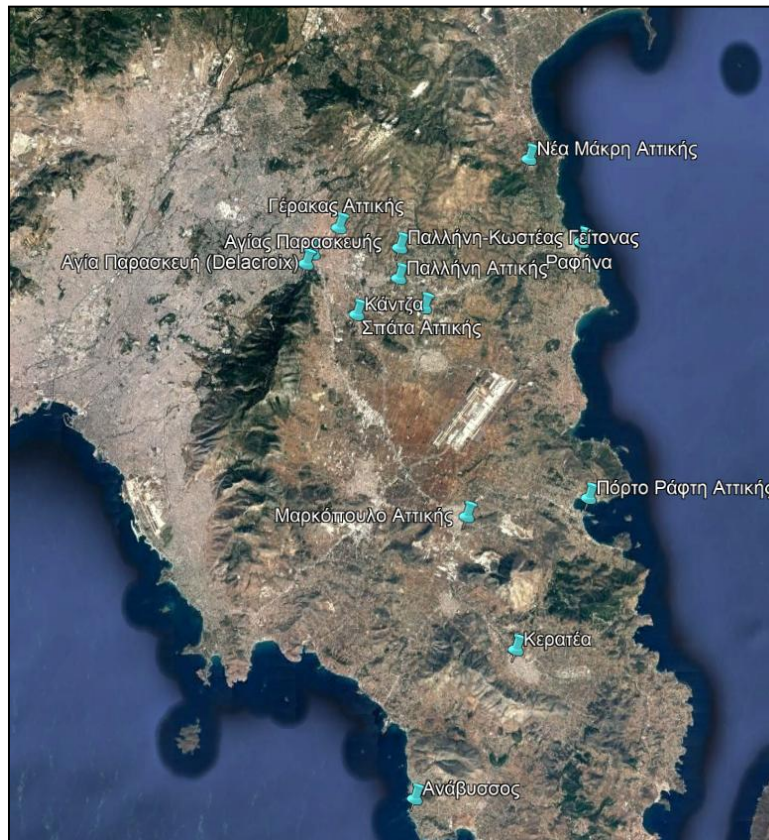
όπου,

*P<sub>tot</sub> = η συνολική μηνιαία βροχόπτωση (mm/month).*

Για συνολικές κατακρημνίσεις  $P_{tot} > 250 \text{ mm}$ ,

$$P_{eff} = 125 + 0.1P_{tot} \quad (3)$$

Τα κλιματολογικά στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς ελήφθησαν από δεκατέσσερις (14) μετεωρολογικούς σταθμούς (Μ.Σ.) (Αναβύσσου, Κερατέας, Μαρκόπουλου, Πόρτο Ράφτη, Κιάτςας, Σπάτων, Αγίας Παρασκευής, Αγίας Παρασκευής Delacroix, Γέρακα, Παλλήνης, Παλλήνης GCS, Ραφήνας, Νέας Μάκρης) της Ανατολικής Αττικής, του δικτύου Meteο, που διατίθενται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Τα μηνιαία δεδομένα, λήφθηκαν από την διαδικτυακή βάση δεδομένων και μετατράπηκαν σε επεξεργάσιμη μορφή. Η «έκταση» των δεδομένων όλων των βροχομετρικών σταθμών, παρείχε πληροφορία από το 10/2007 έως και τον 08/2021. Στο τελικό επιλεγθέν σύνολο των δεδομένων, λαμβάνονται υπόψη οι μηνιαίες τιμές μόνο όταν υπάρχει πλήρη καταγραφή της πληροφορίας μέσα στον ίδιο μήνα. Τυχούσες ελλείψεις των μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων στους σταθμούς, λόγω πιθανής βλάβης ή διακοπής λειτουργίας για συντήρηση ή απλά μη λειτουργίας του στο εκάστοτε χρονικό διάστημα, συμπληρώθηκαν από τους υπόλοιπους υπό λειτουργία σταθμούς. Η συμπλήρωση των ελλিপών τιμών και η στάθμιση της βροχόπτωσης -κοινής- για όλη την Αν. Αττική, έγινε με τη χρήση απλών μέσων όρων (Μ.Ο.).

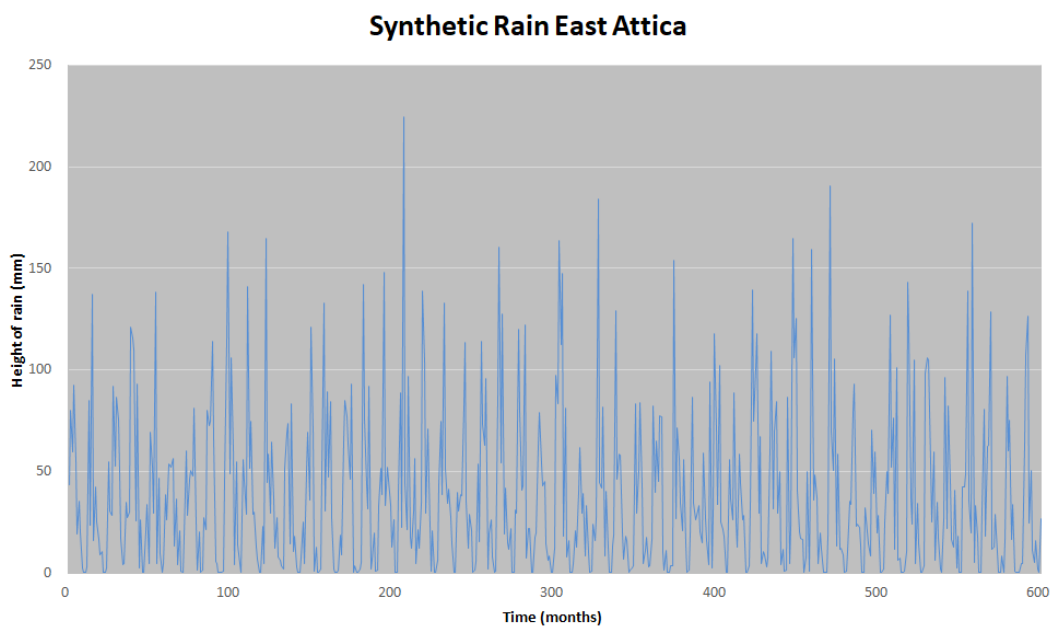


Εικόνα 5-1: Μετεωρολογικοί σταθμοί Αν. Αττικής



Από την παραπάνω κοινή για όλη την επικράτεια της Αν. Αττικής χρονοσειρά, προέκυψε μία αντίστοιχη στοχαστική χιλίων (1000) ετών που διατηρεί τα στατιστικά χαρακτηριστικά και τη τάση της. Για τη δημιουργία της συνθετικής χρονοσειράς βροχόπτωσης στην Αν. Αττική, όπως και για την στοχαστική προσομοίωση για τις παροχές ΜΕΝ Κιούρκων που προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε το πακέτο γλώσσας προγραμματισμού R anySim (Tsoukalas et al., 2020) και ειδικότερα τα μοντέλα στοχαστικού επιμερισμού και προσομοίωσης που περιγράφονται στις εργασίες των Tsoukalas et al. (2017, 2018a, 2018b, 2019) και Kossieris et al. (2019).

Κυλιόμενα και ανά 50-ετία υδρολογικών ετών, λήφθηκε η πιο ξηρή όπου και χρησιμοποιήθηκε στο τελικό μοντέλο για τον προσδιορισμό των στοχαστικών αρδευτικών αναγκών. Η τελική χρονοσειρά της ξηρής 50-ετίας καθώς και τα στατιστικά χαρακτηριστικά της έναντι της αρχικής στοχαστικής χιλίων (1000) ετών παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα και πίνακα αντίστοιχα:



Σχήμα 5-1: Ξηρότερη 50-ετία βάσει στοχαστικής ανάλυσης

Πίνακας 5-1: Σύγκριση στατιστικών χαρακτηριστικών τελικής χρονοσειράς βροχόπτωσης με αυτά της αρχικής στοχαστικής

	Average Monthly Rain (mm)	STDEV (mm)	Max Rain (mm)
Dry (50 years)	37.9	39.9	224.4
Stochastic (1000 years)	39.5	42.2	353.8

Πάντως γενικά παρατηρείται ότι στα Μεσόγεια η περιοχή χαρακτηρίζεται από χαμηλό ύψος βροχής μεταξύ Οκτωβρίου και Μαρτίου ενώ είναι σχεδόν άνομβρη το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου.

Στην περιοχή του Μαραθώνα η μεγαλύτερη τιμή υετού παρατηρείται τους μήνες Δεκέμβριο, Νοέμβριο και Μάρτιο ενώ οι ξηρότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος (σχεδόν άνομβροι).

Οι μέγιστες τιμές βροχόπτωσης καθώς και οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και ενεργούς βροχόπτωσης στην Αν. Αττική παρατίθενται στον Πίνακα 5-2 που ακολουθεί.

Πίνακας 5-2: Μέγιστη και μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης Αν. Αττικής

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
max Rain (mm)	132.9	147.2	172.5	100.8	58.8	30.4	56.3	7.6	94.0	98.1	190.3	224.4
avg Rain (mm)	65.9	58.3	55.7	28.6	18.2	14.5	2.5	1.0	21.0	37.0	64.8	86.6
avg Act. Rain (mm)	57.7	51.0	48.6	26.2	17.3	14.1	2.4	1.0	19.6	33.4	54.2	70.7

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά στοιχεία υπολογίσθηκαν -με την απλοποιημένη μέθοδο των Blaney-Criddle-, οι καθαρές ημερήσιες ανάγκες σε νερό, σε  $m^3$  ανά στρέμμα καλλιεργειών Κατηγορίας I (καλλιέργεια ελαιόδεντρων, αμπέλων), Κατηγορίας III (οπωροφόρα, φράουλες, άνθη) και Κατηγορίας IV (κηπευτικά, μπουστάνια κλπ), με φυτικούς συντελεστές  $K=0,55$ ,  $K=0,65$  και  $K=0,70$  αντίστοιχα.

Οι καλλιέργειες για τις οποίες υπολογίσθηκαν οι αρδευτικές ανάγκες προέκυψαν σύμφωνα με τις καταμετρήσεις των καλλιεργειών (ΣΔΛΑΠ, 2009-2015) για τις δημοτικές ενότητες, Μαραθώνα (άρδευση Μαραθώνα), Σπάτων – Λούτσας (άρδευση Σπάτων), Παιανίας – Κορωπίου (1<sup>η</sup> γραμμή Παιανίας- Κορωπίου), Καλυβίων Θορικού, Κερατέας, Κουβαρά (2<sup>η</sup> γραμμή Παιανίας- Κορωπίου), Μαρκόπουλου Μεσογείων (άρδευση Μαρκόπουλου), και κατατάσσοντάς τις ανά φυτικό συντελεστή  $K$  προέκυψαν ως εξής:

Πίνακας 5-3: Κατάταξη καλλιεργειών σε είδη Φυσικού συντελεστή υδατοκατανάλωσης ανά περιοχή

ΑΡΔΕΥΣΙΜΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ	Είδος Καλλιέργειας		
	K(i)	K(iii)	K(iv)
ΜΑΡΑΘΩΝΑ	2%	0%	98%
ΣΠΑΤΩΝ-ΛΟΥΤΣΑΣ	0%	97%	3%
ΠΑΙΑΝΙΑΣ - ΚΟΡΩΠΙΟΥ (1η)	11%	50%	39%
ΚΑΛΥΒΙΑ - ΚΟΥΒΑΡΑΣ (2η)	35%	27%	38%
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	65%	23%	12%

Με δεδομένο ότι όλες οι περιοχές χαρακτηρίζονται από έντονη γεωργική δραστηριότητα, η οποία περιορίζεται αποκλειστικά στα πεδινά, (+10m έως +120m) δεν κρίθηκε απαραίτητη η χρήση της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας για την αναγωγή αποτελεσμάτων των αρδευτικών αναγκών.

Οι αναγκαίες ποσότητες αρδευτικού νερού ανάλογα με τις καλλιέργειες και τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας, καθορίζονται και στην ΚΥΑ Αριθ. πρωτ. Φ/16/6631/1.6.1989 (ΦΕΚ Β' 428/1989), όπου για το Υδατικό Διαμέρισμα 6 (Αττικής) και καλλιέργειες Κατηγοριών I, III και IV, έχουν προσδιορισθεί τα κατώτατα και ανώτατα όρια των αναγκαίων ποσοτήτων για την

ορθολογική χρήση αρδευτικού νερού κατά την αρδευτική περίοδο, τα οποία παρουσιάζονται στον κατωτέρω Πίνακα 5-4.

Πίνακας 5-4: Ανώτατα και κατώτατα όρια αναγκαίων ποσοτήτων νερού άρδευσης ανά μήνα για το Υδατικό διαμέρισμα Αττικής (σε m<sup>3</sup>/στρ) (ΦΕΚ Β' 428/1989).

Μήνες	Καλλιέργειες Κατηγορίας I Φυτικός συντελεστής K = 0,55	Καλλιέργειες Κατηγορίας III Φυτικός συντελεστής K = 0,65	Καλλιέργειες Κατηγορίας IV Φυτικός συντελεστής K = 0,70
Απρίλιος	63 – 74	75 – 88	80 - 94
Μάιος	85 - 102	101 - 120	108 - 129
Ιούνιος	96 - 115	114 - 136	122 - 147
Ιούλιος	104 - 124	123 - 146	133 - 157
Αύγουστος	99 - 118	117 - 140	126 - 150
Σεπτέμβριος	77 - 93	91 - 110	98 – 119

Γενικά οι τιμές που προέκυψαν με τη μέθοδο των Blaney-Criddle για τους μήνες της αρδευτικής περιόδου είναι πολύ κοντά στις τιμές που καθορίζονται στην ΚΥΑ αρ. πρωτ. Φ/16/6631/1.6.1989 για την Αττική. Βάσει αυτών των ορίων και των ποσοστών καλλιιεργειών σε κάθε περιοχή, προέκυψαν οι τελικοί περιορισμοί για την ορθολογική άρδευση, οι οποίοι και τηρήθηκαν.

Τέλος ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης η οποία εφαρμόζεται, ισχύουν διάφοροι βαθμοί απόδοσης των αρδεύσεων. Ο βαθμός απόδοσης για στάγδην άρδευση (η οποία προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί στην περιοχή) είναι 90%. Οι απώλειες νερού κατά τη μεταφορά του με κλειστούς αγωγούς εκτιμώνται σε 5%. Ο βαθμός απόδοσης της μεθόδου άρδευσης και οι απώλειες μεταφοράς λαμβάνονται υπόψη από κοινού διαιρώντας τις απαιτήσεις σε νερό με την αντίστοιχη απόδοση/απώλεια.

Ως εκ τούτου για μεταφορά με κλειστούς αγωγούς και άρδευση με σταγόνες ο αντίστοιχος συντελεστής απωλειών προκύπτει :  $0,90 * 0,95 = 0,855$  και βάσει αυτού υπολογίζεται η παροχή στην κεφαλή του δικτύου.

Με βάση τις αρχικές υποθέσεις αρδεύσιμης γης από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (βλ. επόμενες υποενότητες), τα κλιματολογικά στοιχεία (υετός, θερμοκρασία) καθώς επίσης και τα είδη της επικρατούσας φυτικής βλάστησης, υπολογίζεται το απαιτούμενο αρδευτικό νερό για την ικανοποίηση των αναγκών του αντιπροσωπευτικού στρέμματος των καλλιιεργειών για το σύνολο της αρδευτικής περιόδου (σε m<sup>3</sup>/στρ) και κατά συνέπεια οι μηνιαίες καθαρές αρδευτικές ανάγκες για κάθε περιοχή που καλούνται να εξυπηρετηθούν από τις διαθέσιμες ποσότητες επεξεργασμένων λυμάτων. Οι Μ.Ο. των αναγκών επεξεργασμένων πόρων για άρδευση καθ' όλη την 50-ετία εφαρμογής της, σε κάθε περιοχή, φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 5-5: Μ.Ο. 50-ετίας αρδευτικών αναγκών ανά στρέμμα κατά την αρδευτική περίοδο

Αрд. Ανάγκες (m3/στρ)	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ΜΑΡΑΘΩΝΑ	0.0	0.0	0.0	81.9	106.4	103.5	119.3	119.7	79.8	0.0	0.0	0.0
ΣΠΑΤΩΝ-ΛΟΥΤΣΑΣ	0.0	0.0	0.0	71.0	98.0	95.7	111.4	111.8	73.1	0.0	0.0	0.0
ΠΑΙΑΝΙΑΣ - ΚΟΡΩΠΙΟΥ (1η)	0.0	0.0	0.0	71.9	99.3	96.9	112.6	113.0	74.1	0.0	0.0	0.0
ΚΑΛΥΒΙΑ - ΚΟΥΒΑΡΑΣ (2η)	0.0	0.0	0.0	68.1	94.8	92.7	108.3	108.8	70.5	0.0	0.0	0.0
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	0.0	0.0	0.0	61.7	87.0	85.3	100.8	101.3	64.3	0.0	0.0	0.0

### 5.1.3. Άρδευση ΚΕΛ Μαραθώνα

Στην περιοχή αυτή βάσει των χαρτών του προγράμματος Corine 2012 της Ε.Ε. καλλιεργούνται κυρίως σύνθετα συστήματα (καλλιεργειών). Κυρίως καλλιεργούνται κηπευτικά και εμπορικοί ανθόκηποι. Η καλλιέργεια γίνεται είτε υπαίθρια είτε σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις, όταν πρόκειται για ευαίσθητα είδη ή για είδη εκτός εποχής.

Το αρδευτικό δίκτυο θα εξυπηρετήσει συνολική έκταση 6.600 στρ. Εξ αυτών τα 4.100στρ βρίσκονται εγγύς του ΚΕΛ στην περιοχή με τοπωνύμιο «Κάτω Σούλι», όπου καλλιεργούνται κηπευτικά και εμπορικοί ανθόκηποι. Τα υπόλοιπα 2.500 στρ βρίσκονται νοτίως του Οικοδομικού Συνεταιρισμού Δικαστικών Υπαλλήλων.

Το δίκτυο στην περιοχή «Κάτω Σούλι» βρίσκεται εγγύτερα στις εγκαταστάσεις του ΚΕΛ Δήμου Μαραθώνα. Τα υψόμετρα εδάφους στην προς άρδευση περιοχή είναι από +1,0m έως +30,0m περίπου.

Η επέκταση του δικτύου νοτίως του Οικοδομικού Συνεταιρισμού Δικαστικών Υπαλλήλων και της Λεωφ. Σουλίου, βρίσκεται σε υψόμετρα εδάφους στην περιοχή των επεκτάσεων από +3,0m έως +16,0m περίπου.

Λόγω της θέσης που προβλέπεται να κατασκευασθεί η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (σε υψόμετρο +140m έως +145m) δεν απαιτείται άντληση των εκροών που θα διατεθούν για άρδευση.



Εικόνα 5-2: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Μαραθώνα

#### 5.1.4. Άρδευση ΚΕΛ Ραφήνας-Πικερμίου Σπάτων-Λούτσας

Στην περιοχή των Μεσογείων σύμφωνα με τους χάρτες του προγράμματος Corine 2012 της Ε.Ε. καλλιεργούνται κυρίως αμπέλια, σύνθετα συστήματα (καλλιέργειών) και ελαιόδεντρα. Λόγω της έλλειψης νερού μικρό ποσοστό των καλλιεργειών αρδεύεται. Οι υφιστάμενες καλλιέργειες ανήκουν στην πλειονότητά τους στην Κατηγορία I, με τις πιο χαμηλές απαιτήσεις σε νερό.

Στην περιοχή των Μεσογείων καλλιεργούνται σήμερα κυρίως αμπέλια (με επικρατέστερη ποικιλία το Σαββατιανό αλλά και οι ποικιλίες Cabernet, Sauvignon, Αγιωργίτικο κ.α.) και σύνθετα συστήματα καλλιέργειών λόγω του μικρού ύψους βροχής και της έλλειψης αρδευτικού νερού. Η εγκατάλειψη των αμπελουργικών και γενικά των γεωργικών εκτάσεων αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της περιοχής και τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια από φορείς της Περιφέρειας (Δ/ση Αγροτικής Οικονομίας) για δράσεις στήριξης των παραγωγών και κατευθύνσεις για υφιστάμενες και νέες προωθούμενες καλλιέργειες με στόχο τον εκσυγχρονισμό των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

Η εδαφική έκταση που προτείνεται να αξιοποιηθεί με την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων του ΚΕΛ Δήμων Ραφήνας – Πικερμίου και Σπάτων - Αρτέμιδος για απεριόριστη άρδευση, περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο γεωργικές εκτάσεις της Ζώνης Περιορισμένης Ανάπτυξης (“Buffer Zone”) του Αεροδρομίου Αθηνών Ελευθέριος Βενιζέλος που εκτείνεται δυτικά του Αεροδρομίου και βορείως αυτού μέχρι το ρέμα Ραφήνας (με μικρή μόνο έκταση να βρίσκεται βορείως του ρέματος). Το τμήμα αυτό της Ζώνης ανήκει εξ ολοκλήρου στο Δήμο Σπάτων – Αρτέμιδας.



Επιπλέον έκταση  $\approx 500$  στρ. βρίσκεται δυτικά της Ζώνης Περιορισμένης Ανάπτυξης μέχρι την οδό Κιάφας. Τα υψόμετρα εδάφους της επιλεγείσας προς αξιοποίηση περιοχής είναι από +60m έως +100m περίπου.

Στις επεκτάσεις του δικτύου (κατά 2.000 στρ) μέχρι και την ολοκλήρωση του έργου συμπεριλαμβάνονται εκτάσεις μέχρι την Επαρχιακή οδό Πικερμίου – Μαρκοπούλου και της περιοχής βορείως του ρέματος Ραφήνας μέχρι την οδό Κοιμήσεως Θεοτόκου.

Η περίμετρος των έργων των Β. Μεσογείων παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 5-3.



Εικόνα 5-3: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Β. Μεσογείων, Σπάτων-Λούτσας

#### 5.1.5. Άρδευση ΚΕΛ Παιανίας-Κορωπίου

Όπως προαναφέρθηκε οι καλλιέργειες στην περιοχή είναι κυρίως ξηρικές λόγω έλλειψης νερού. Οι υφιστάμενες καλλιέργειες ανήκουν στην πλειονότητά τους στην Κατηγορία Ι, με τις πιο χαμηλές απαιτήσεις σε νερό.

Η εδαφική έκταση που προτείνεται να αξιοποιηθεί με την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων του ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου για απεριόριστη άρδευση, περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο γεωργικές εκτάσεις της Ζώνης Περιορισμένης Ανάπτυξης (“Buffer Zone”) του Αεροδρομίου Αθηνών Ελευθέριος Βενιζέλος.

Η επιλεγείσα προς άρδευση περιοχή εκτείνεται μεταξύ του δυτικού ορίου απαλλοτρίωσης του Αεροδρομίου και της Αττικής Οδού. Νότιο όριο της περιοχής είναι η Λεωφόρος Κορωπίου - Αεροδρομίου από τον Κόμβο Αεροδρομίου της Α.Ο. μέχρι την είσοδο του Αεροδρομίου.

Συνολικά προβλέπεται να αρδευθούν με επεξεργασμένες εκροές 8300 στρ. Από τη συνολική έκταση το μεγαλύτερο τμήμα (6200 στρ) ανήκει στο Δ. Παιανίας, ενώ στο Δ. Κορωπίου ανήκει έκταση 2100 στρ. περίπου.

Στις επεκτάσεις του δικτύου (κατά 2.300 στρ) για την ολοκλήρωση του έργου, προτείνεται η ένταξη της περιοχής βορειώς και δυτικά του ορίου της αρχικά προτεινόμενης, σε αγροτικές εκτάσεις του Δ. Παιανίας. Ολόκληρη η εκτός της Buffer Zone έκταση είναι χαρακτηρισμένη ως Ζώνη Γ1 «Ειδικής ενίσχυσης παραδοσιακών & Βιολογικών καλλιεργειών» στο Χάρτη Ζωνών Οικιστικού Ελέγχου Ανατ. Αττικής – Μεσογείων (ΦΕΚ199Δ/2003).

Τα υψόμετρα εδάφους της προς άρδευση περιοχής είναι από +70m έως +100m περίπου.

Η περίμετρος των εκτάσεων προς άρδευση από το ΚΕΛ Παιανίας-Κορωπίου παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 5-4.



Εικόνα 5-4: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Παιανίας – Κορωπίου (1<sup>η</sup> γραμμή)

Όσον αφορά την κατάργηση της ΚΕΛ ΒΙΟΠΑ Καλυβίων, προβλέπεται όπως έχει προαναφερθεί η εξυπηρέτηση των εν λόγω περιοχών από την ΚΕΛ Παιανίας-Κορωπίου. Αναλογικά και η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Στην περιοχή των Καλυβίων καλλιεργούνται σήμερα κυρίως ελιές, αμπέλια, οπωροφόρα και κηπευτικά σε έκταση 3.000 στρ. περίπου. Με την ύπαρξη νερού για απεριόριστη άρδευση η υφιστάμενη κατάσταση θα μπορέσει να βελτιωθεί σημαντικά με τη συστηματική άρδευση των καλλιεργειών ή/και την αναδιάρθρωσή τους.



Σε τελική φάση η επέκταση του δικτύου προβλέπεται να καλύπτει μικτή έκταση 7.600 στρ. Δεν προτείνεται μεγαλύτερη αύξηση της έκτασης (μέχρι των 8.000 στρ, που αντιστοιχούν στη μέγιστη θεωρητικά μικτή έκταση), αφ' ενός γιατί τα υψόμετρα εδάφους στο δυτικό όριο της περιοχής (νότια της Λ. Σταυρού – Αναβύσσου) αλλά και στο ανατολικό είναι αρκετά υψηλά και η άρδευση τους θα απαιτούσε την τοποθέτηση του φρεατίου φόρτισης σε μεγαλύτερο υψόμετρο τουλάχιστον κατά 10 μ. αλλά και για να δοθεί η δυνατότητα, εάν κριθεί σκόπιμο να δοθεί νερό για αστική-περιαστική χρήση και το καλοκαίρι.

Η εδαφική έκταση που προτείνεται να αξιοποιηθεί περιλαμβάνει την περιοχή του υφιστάμενου δικτύου και μια ευρύτερη περιοχή γύρω από αυτό. Η περιοχή βρίσκεται εκατέρωθεν της νέας συνδετήριας οδού Μαρκοπούλου – Παραλίας. Προς τα ανατολικά η έκταση φτάνει μέχρι τα Καλύβια και στα δυτικά μέχρι το υψόμετρο +120m περίπου. Νότιο όριο της περιοχής είναι στην Α΄ Φάση η οδός Γαλάζιας Ακτής και το ρέμα. Στη Β΄ φάση προστίθεται επι πλέον έκταση 800 στρ. νοτίως της οδού Γαλάζιας Ακτής μέχρι την Λ. Σταυρού-Αναβύσσου μέχρι τη διασταύρωση της τελευταίας με την οδό Θορικού και έκταση 800 στρ. μεταξύ της Λ. Λαυρίου και του ρέματος Αγ. Γεωργίου βορειοανατολικά των Καλυβίων.



Εικόνα 5-5: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Καλυβίων – Κουβαρά (2<sup>η</sup> γραμμή)

#### 5.1.6. Άρδευση ΚΕΛ Μαρκόπουλου

Στην περιοχή αυτή των Μεσογείων και βάσει των χαρτών του προγράμματος Corine 2012 της Ε.Ε. καλλιεργούνται κυρίως αμπέλια, ελιές και σύνθετα συστήματα καλλιεργειών. Οι ανάγκες



νερού για την κάλυψη των δραστηριοτήτων καλύπτονται κατά κύριο λόγο από τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι παρουσιάζουν τάσεις υποβάθμισης λόγω των εντατικών αντλήσεων και της μεγάλης αύξησης των πιέσεων που δέχονται. Πάντως η έλλειψη αρδευτικού νερού διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομία της περιοχής καθώς η αδυναμία της κάλυψης των αρδευτικών αναγκών δυσχεραίνει την άσκηση γεωργικής δραστηριότητας μεγαλύτερης έκτασης και έντασης.

Η εδαφική έκταση που προτείνεται να αξιοποιηθεί περιλαμβάνει γεωργικές εκτάσεις που βρίσκονται βόρεια- βορειοανατολικά του οικισμού του Μαρκόπουλου. Όρια της περιοχής είναι: το όριο της λεκάνης κατάκλυσης του φράγματος του ρέματος Ερασίνου, το όριο της Ζώνης απολύτου προστασίας Β1 (αρχαιολογική περιοχή) που καθορίζεται στη ΖΟΕ Ανατολικής Αττικής, η Λεωφ. Βραυρώνας βορείως της διασταύρωσης με την οδό Πυθαγόρα, η οδός Δημοσθένη Σωτηρίου και η οδός Ρούμελης. Τα γεωργικά εδάφη της περιοχής είναι γενικά πολύ καλής ποιότητας. Τα υψόμετρα εδάφους είναι μεταξύ +13m και +83m.

Αρχικά προβλέπεται να αρδευθούν, με επεξεργασμένες εκροές, 3.200 στρ. και στην τελική Φάση 4.200 στρ.



Εικόνα 5-6: Προτεινόμενη περίμετρος έργων άρδευσης Μαρκόπουλου

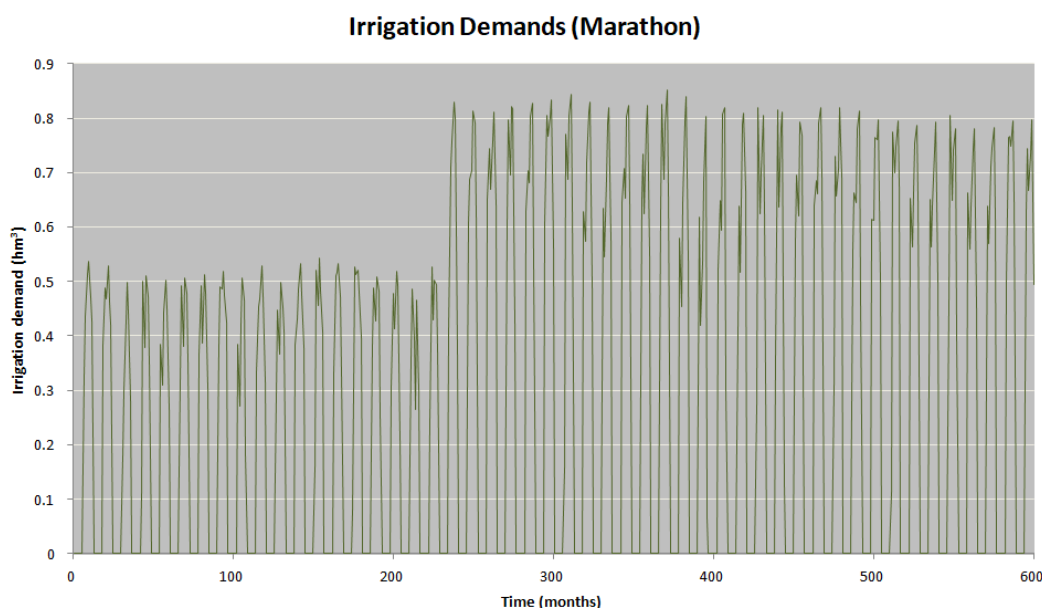
Στις επεκτάσεις του δικτύου (κατά 1.000 στρ) περιλαμβάνονται οι πλέον ανατολικές εκτάσεις της περιοχής νοτίως της οδού Δημ. Σωτηρίου και δυτικά της οδού Ρούμελης.

### 5.1.7. Περίμετρος έργων και στρατηγική Άρδευσης

Ως αρχική υπόθεση για την περίμετρο των έργων, λαμβάνεται η προταθείσα από την μελέτη «Γενικό σχέδιο επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών των ΚΕΛ Ανατολικής Αττικής» όπως προαναφέρθηκε.

Αναφέρεται πως η δυνάμενη να αρδευθεί έκταση ορίστηκε με την παραδοχή ότι οι επεξεργασμένες εκροές θα χρησιμοποιούνται για απεριόριστη άρδευση το εξάμηνο της αρδευτικής περιόδου. Να σημειωθεί πως με την ύπαρξη νερού για απεριόριστη άρδευση η υφιστάμενη κατάσταση ελλιπούς αρδευτικού νερού θα μπορέσει να βελτιωθεί σημαντικά ή/και να οδηγήσει στην αναδιάρθρωσή των υφιστάμενων καλλιεργειών (στροφή πολιτικής καλλιεργειών).

Ακολουθείται επίσης η ίδια, με την προτεινόμενη, στρατηγική ανάπτυξης του αρδευτικού δικτύου σε δύο φάσεις (Α και Β). Όπως είδαμε και στις προηγούμενες ενότητες στο πέρας της Α φάσης (20 έτη) προβλέπεται επέκταση των αρδευτικών δικτύων (Β φάση έργων), λόγω της αυξημένης παροχρησιμότητας λυμάτων με την ανάπτυξη του πληθυσμού.



Σχήμα 5-2: Παράδειγμα στρατηγικής άρδευσης Μαραθώνα σε δύο φάσεις (Α,Β)

Να επισημανθεί πως οι αρχικές προτεινόμενες εκτάσεις αποτελούν υπόθεση – μεταβλητή στη δεδομένη μελέτη, οι οποίες ενδέχεται να υποστούν τροποποίηση βάσει της αξιοπιστίας και της ευαισθησίας του τελικού αναπτυσσόμενου μοντέλου για το σύστημα επαναχρησιμοποίησης λυμάτων της Ανατολικής Αττικής. Η σεναριακή αντιμετώπιση της θα παρουσιαστεί σε επόμενο Κεφάλαιο.

Γενικά γίνεται η παραδοχή ενός πλήρως ανεπτυγμένου συστήματος επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων όσον αφορά σε επίπεδο υποδομών. Επομένως ο χρόνος και

τα στάδια κατασκευής της επέκτασης και ολοκλήρωσης του δικτύου που θα εξαρτηθούν (i) αφ' ενός από την προθυμία των καλλιεργητών να αρδεύσουν τις υπάρχουσες γεωργικές εκτάσεις και (ii) αφ' ετέρου από τις διαθέσιμες παροχές επεξεργασμένων λυμάτων, δεν θα ληφθούν υπόψη. Στην πράξη, μέχρι την ολοκλήρωση των έργων η υπόψη γεωργική έκταση θα μπορεί να αρδεύεται συμπληρωματικά αλλά όχι αποκλειστικά με επεξεργασμένες εκροές.

## 5.2. Εμπλουτισμός Υπόγειου Υδροφορέα

### 5.2.1. Γενικά

Η ακόρεστη ζώνη πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα περιέχει αέρα και νερό ενώ η κορεσμένη ζώνη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα ονομάζεται υπόγεια ύδατα (Chow et al. 1988; Waller 2001), (Waller, 1988). Τα υπόγεια ύδατα είναι ένα από τα μεγαλύτερα αποθέματα γλυκού νερού που είναι διαθέσιμα για χρήση από τον άνθρωπο. Πολλές χρήσεις του νερού εξαρτώνται από αυτόν τον υδάτινο πόρο αποκλειστικά και μόνο επειδή είναι υψηλής ποιότητας και διαθέσιμος σε χαμηλή τιμή για γεωργικούς, βιομηχανικούς και οικιακούς χρήστες (U.S. Geological Survey. 2013). Η διαδικασία επαναφόρτισης των υπόγειων υδάτων πραγματοποιείται όταν το νερό εισέρχεται στην κορεσμένη ζώνη και μέχρι αυτό να φτάσει στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα (Freeze et al. 1979).

Ο τεχνητός εμπλουτισμός (artificial recharge), παρέχει τη δυνατότητα αύξησης του ρυθμού ανανέωσης των υπόγειων υδάτων, μέσω της χρήσης φυσικού ή επεξεργασμένου νερού το οποίο και βρίσκεται σε περίσσεια. Οι βασικές αρχές στις οποίες αποβλέπει ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι οι εξής (Σούλιος, 2004):

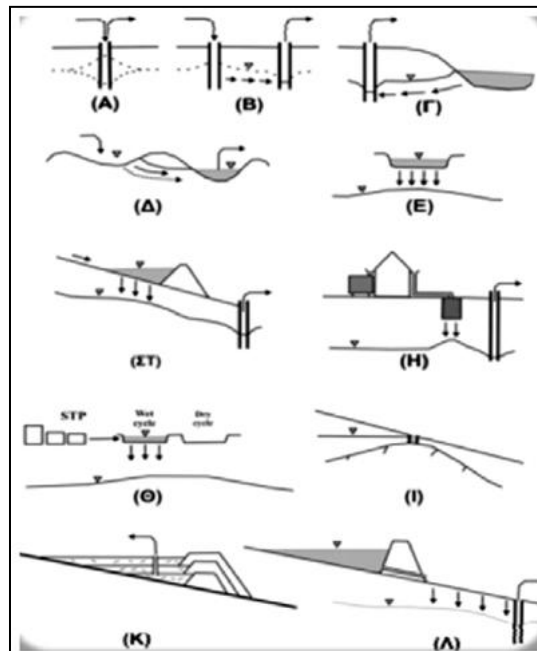
- Επαναπλήρωση εξαντλημένων υπόγειων υδροφορέων από την εντατική εκμετάλλευσή τους
- Αποθήκευση ποσοτήτων νερού για μελλοντική χρήση.
- Ανάσχεση της θαλάσσιας διείσδυσης στους παράκτιους υδροφορείς.
- Ποιοτική αναβάθμιση υπόγειων νερών.
- Αντιμετώπιση φαινομένων καθίζησης του εδάφους λόγω υπεράντλησης.
- Αξιοποίηση ποιοτικά υποβαθμισμένων υδάτων.
- Συντονισμό της λειτουργίας των επιφανειακών και υπόγειων δεξαμενών νερού.
- Έλεγχος των πλημμυρικών απορροών.

Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού, οι κυριότερες από τις οποίες συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Εισαγωγή νερού σε μια γεώτρηση με σκοπό την αποθήκευσή του και άντληση από την ίδια γεώτρηση (Aquifer Storage and Recovery, ASR) (Εικ. 5-7 Α).
- Εισαγωγή νερού σε μια γεώτρηση με σκοπό την αποθήκευσή του και άντληση από γειτονική γεώτρηση για επιπλέον επεξεργασία στο υπέδαφος (Aquifer Storage Transfer and Recovery, ASTR) (Εικ. 5-7 Β).

- Εμπλουτισμός μέσω κοίτης ποταμού και άντληση από γεώτρηση (Εικ. 5-7 Γ).
- Εμπλουτισμός μέσω μικρών λιμνών εντός θινών και άντληση από γεώτρηση ή λίμνη στα κατάντη (Εικ. 5-7 Δ).
- Λεκάνες κατεισδυσης, συνήθως εξωποτάμιες, προς τις οποίες παροχετεύονται επιφανειακά νερά για εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων (Εικ. 5-7 Ε).
- Δεξαμενές διήθησης οι οποίες χρησιμοποιούνται για αποθήκευση του νερού και στη συνέχεια αυτό κατεισδύει από τη βάση τους, εμπλουτίζοντας το φρεάτιο υδροφορέα, από τον οποίο αντλείται για κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών (Εικ. 5-7 ΣΤ).
- Εμπλουτισμός με βρόχινο νερό το οποίο διοχετεύεται μέσω γεώτρησης ή μέσω εκσκαφής γεμάτης με άμμο στο υπέδαφος και αντλείται από άλλη γεώτρηση (Εικ. 5-7 Η).
- Συστήματα εδάφους υδροφορέα (Soil Aquifer Treatment, SAT) (Εικ. 5-7 Θ). Κατασκευή υπόγειων φραγμάτων (Εικ. 5-7 Ι) ή αμμούχων φραγμάτων για εμπλουτισμό (Εικ. 5-7 Κ).
- Φράγματα ή τάφροι για συγκράτηση νερού και αργή απελευθέρωση μέσω αγωγού για εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων (Εικ. 5-7 Λ).

Η πιο διαδεδομένη και κατά καιρούς επικρατούσα εφαρμοζόμενη μέθοδος, είναι αυτή της εισαγωγής νερού σε μια γεώτρηση με σκοπό την αποθήκευσή του και άντληση από την ίδια γεώτρηση (Aquifer Storage and Recovery, ASR). Η εφαρμογή της εμπίπτει σε αποθήκευση επεξεργασμένου πόσιμου νερού. Τα τελευταία χρόνια όμως έχει υπάρξει στροφή στο ενδιαφέρον στοχεύοντας στις δυνατότητες αποθήκευσης και επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου από τα λύματα νερού, το οποίο προβλέπεται ως η πιο αξιόπιστη πηγή «νέου» διαθέσιμου νερού.



Εικόνα 5-7: Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων μεθόδων εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού (Dillon, 2005, από Βουδούρης κ.α., 2011, με τροποποιήσεις)

Ο τεχνητός εμπλουτισμός αναφέρεται σε οποιοδήποτε άρα επιφανειακό υδατικό πόρο που προβλέπεται να «ενεθεί» στον υδροφόρο ορίζοντα με τεχνητά μέσα. Πρόκειται για την πιο αποτελεσματική μέθοδο για την άμεση αύξηση των υπόγειων πόρων και παρέχει μία σημαντική διέξοδο ως προς την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως αυτό της υδροληψίας λόγω ξηρασιών, την πτώση του υδροφόρου ορίζοντα, την υφαλμύριση, την ποιοτική υποβάθμιση του εδάφους και καταστροφές λόγω σεισμών (Guo 2000).

Επομένως, ο τεχνητός εμπλουτισμός διαδραματίζει μείζων στρατηγικό ρόλο στα σχήματα διαχείρισης υδατικών πόρων πολλών χωρών.

#### 5.2.2. Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Μαραθώνα

Στην περιοχή του Μαραθώνα δεν υπάρχει διαθέσιμη κάποια ειδική υδρογεωλογική μελέτη. Σε αντιδιαστολή με την πρόταση της ΕΥΔΑΠ Α.Ε., συστήνεται εμπλουτισμός του Υπόγειου Υδροφορέα τόσο για την αντιμετώπιση των φαινομένων υφαλμύρισης που παρουσιάζονται στο παραθαλάσσιο υδατικό σώμα, με την έννοια της εξυγίανσης και ανάκτησης της γονιμότητας του εδάφους, όσο και για την αποθήκευση του νερού και ορθολογικότερη διαχείρισή του. Αναφορικά με τις εκροές λυμάτων του Μαραθώνα, όσον αφορά τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα, αναφέρεται για τα υποκείμενα υδρογεωλογικά δεδομένα και υδροφόρα συστήματα (ΣΔΛΑΠ 1<sup>η</sup> αναθεώρηση, 2015-2021):

- **GR0600120: Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Μαραθώνα (α)**

Ορίζεται στις μάζες των ανθρακικών πετρωμάτων (μαρμάρων) της περιοχής Μαραθώνα - Γραμματικού – Βαρνάβα, που αναπτύσσονται στο Α ΒΑ τμήμα της Αττικής, βόρεια της πεδιάδας του Μαραθώνα. Η έκταση της περιοχής ορισμού του συστήματος είναι 103 km<sup>2</sup>.

Η γεωλογική σύσταση του συστήματος αποτελείται από μέσο- έως παχυστρωματώδη μάρμαρα που εναλλάσσονται με διάφορους σχιστόλιθους και το σύνολο εμφανίζει διάρρηξη και καρστικοποίηση. Το πάχος του συστήματος εκτιμάται ότι προσεγγίζει τα 400 m.

Η αναπτυσσόμενη υπόγεια υδροφορία είναι καρστικής μορφής και η δυναμικότητα της είναι συνάρτηση του πάχους της αμιγώς ανθρακικής μάζας και του αριθμού και του πάχους των σχιστολιθικών παρεμβολών. Συνολικά πρόκειται για υδροφορίες ικανοποιητικής δυναμικότητας που συμβάλλουν στην κάλυψη γεωργικών και τοπικών υδρευτικών αναγκών.

Υπερκείμενα στρώματα του συστήματος αποτελούν κατά περίπτωση: τα ανώτερα τμήματα των μαρμάρων υψηλής υδροπερατότητας, ή τριτογενή και τεταρτογενή υλικά μέτριας ως χαμηλής υδροπερατότητας

- **GR0600130: Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Μαραθώνα (β)**



Ορίζεται στα προσχωματικά υλικά της ομώνυμης παράκτιας λεκάνης που σχηματίζεται με Α ΝΑ έκθεση, μεταξύ των ορεινών όγκων της Πεντέλης και της περιοχής Βαρνάβα-Γραμματικού. Η έκταση της περιοχής ορισμού του συστήματος είναι 36 km<sup>2</sup>.

Η αναπτυσσόμενη στο σύστημα υπόγεια υδροφορία είναι κοκκώδης, φρεάτια, με μικρή υδροπερατότητα, αλλά αυξημένη υδατοχωρητικότητα λόγω του μεγάλου αναπτύγματος του σχηματισμού. Το πάχος του συστήματος εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 80m.

Στην περιοχή του συστήματος σχηματίζεται το έλος Σχοινιά.

Υπερκείμενα στρώματα του συστήματος αποτελούν τα μέτριας περατότητας επιφανειακά γεωλογικά υλικά των τεταρτογενών αποθέσεων

Γενικότερα στην περιοχή επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις γης, ενώ υπάρχουν και εκτάσεις με φυσική βλάστηση και περιορισμένες χρήσεις κατοικίας. Οι εγκαταστάσεις του ΚΕΛ βρίσκονται κατά κύριο λόγο πάνω από το Σύστημα Μαραθώνα (β) και λιγότερο από το Μαραθώνα (α) (Αρχική φάση ανάπτυξης έργου).

Για το ΥΥΣ Μαραθώνα (α) η ποιοτική κατάσταση του νερού του συστήματος είναι γενικά καλή ενώ στη παράκτια ζώνη τα χλωριόντα φθάνουν και τα 1000mg/l, λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης. Στο ΥΥΣ Μαραθώνα (β) το νερό του συστήματος είναι ποιοτικά βεβαρημένο λόγω της γεωργίας, γενικά των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της υφαλμύρωσης.

Τοπικά τα συστήματα υφίστανται υπερεκμετάλλευση λόγω των αντλήσεων ενώ το υδρολογικό έτος 2007-2008 με μειωμένες βροχοπτώσεις, καταγράφηκε πτωτική πορεία της υπόγειας στάθμης. Όσον αφορά την ποσοτική κατάσταση σύμφωνα με τα επικαιροποιημένα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ 1<sup>η</sup> αναθεώρηση) το ΥΥΣ Μαραθώνα (β) είναι το μοναδικό που αξιολογείται σε ΚΑΚΗ ποσοτική κατάσταση.

Είναι εμφανές πως το σύστημα επεξεργασίας λυμάτων και επαναχρησιμοποίησης Μαραθώνα είναι το πλέον απομονωμένο από τα υπόλοιπα, ενώ οι χρήσεις του δεν βρίσκονται πλησίον κάποιου άλλου ΥΥΣ. Ως εκ τούτου, κρίνεται απαραίτητος ο εμπλουτισμός της υπόγειας υδροφορίας, σε μία έκταση 20 km<sup>2</sup> (Ανάλογης της προτεινόμενης από την ΕΥΔΑΠ στο ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου, όπως θα εξεταστεί στη συνέχεια) ως παράγοντας ρύθμισης της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων.

### 5.2.3. Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Ραφήνας-Πικερμίου Σπάτων-Αρτέμιδος

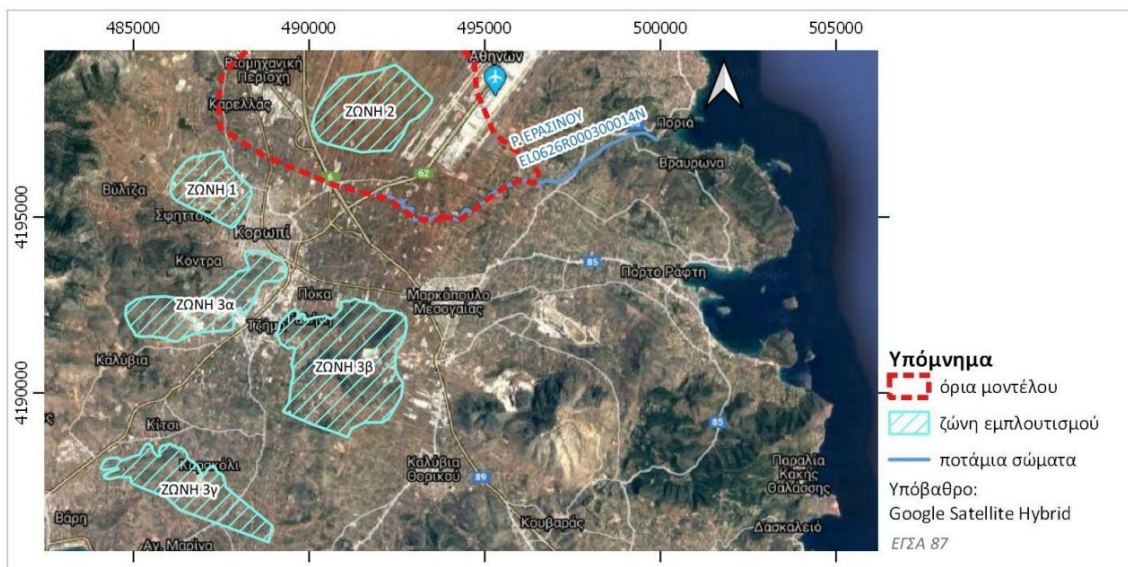
Με βάση τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής εκτιμάται ότι είναι ιδιαίτερα δύσκολη η εφαρμογή προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού, εκτεταμένης κλίμακας. Το μικρό και αυξομειούμενο κατά θέσεις πάχος των αδρομερών σύγχρονων αποθέσεων, δεν επιτρέπει την ανάπτυξη αξιοσημείωτης ελεύθερης υπόγειας υδροφορίας εντός της οποίας θα μπορούσαν να αποθηκευθούν σημαντικές ποσότητες νερού προερχόμενες από τις εγκαταστάσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων. Ως εκ τούτου δεν προτείνεται η εφαρμογή προγράμματος

τεχνητού εμπλουτισμού, για την ενίσχυση των αναπτυσσόμενων υδροφοριών τους χειμερινούς μήνες.

#### 5.2.4. Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Παιανίας-Κορωπίου

Στο πλαίσιο της Ειδικής Υδρογεωλογική Μελέτης (που πραγματοποιήθηκε από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και συνεργάτες) εξετάστηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες των αναπτυσσόμενων υπογείων υδροφοριών και διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού για την ενίσχυση των υπογείων υδροφοριών. Σημειώνεται ότι τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΥΥΣ) στα οποία προτείνεται η πραγματοποίηση του τεχνητού εμπλουτισμού, δεν εντάσσονται στο μητρώο προστατευόμενων περιοχών για κάλυψη αναγκών ύδρευσης ως σύνολο και στην έκτασή τους δεν συναντώνται γεωτρήσεις ύδρευσης.

Στην μελέτη οριοθετούνται, με βάση την αξιολόγηση υφιστάμενων υδρογεωλογικών δεδομένων και πληροφοριών αγροτών της περιοχής, δυο ζώνες στις σύγχρονες αποθέσεις και τρεις επιμέρους ζώνες σε περιοχές ανάπτυξης καρστικής υδροφορίας (βλ. Εικόνα 5-8):



Εικόνα 5-8: Προτεινόμενες από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Ζώνες εφαρμογής Τεχνητού εμπλουτισμού με εκροές του ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου(Πηγή: ΕΥΔΑΠ Α.Ε. – Μελέτη Σχεδιασμού και Εφαρμογής του Εμπλουτισμού)

#### Ζώνη 1. Δ ΒΔ της πόλης του Κορωπίου (Δ.Ε. Κορωπίου)

Στην περιοχή αναπτύσσεται φρεάτια υδροφορία στις σύγχρονες αποθέσεις και στον μανδύα αποσάθρωσης των υποκείμενων σχιστολίθων. Το πάχος του υδροφορέα εκτιμάται στα 13m έως και τοπικά τα 30m. Η υδροφορία εκμεταλλεύεται σήμερα από σημαντικό αριθμό πηγαδιών για κάλυψη αρδευτικών αναγκών.

#### Ζώνη 2. Δυτικό τμήμα του Αεροδρομίου (Δήμος Παιανίας)

Στην πεδινή αυτή έκταση που καλύπτεται από σύγχρονες πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις αναπτύσσεται φρεάτιος υδροφορία που σε βάθος μεταπίπτει τοπικώς σε μερικώς υπό πίεση. Υπόβαθρο των σύγχρονων αποθέσεων αποτελούν τα στρώματα του νεογενούς. Στη ζώνη αυτή εκτιμάται, με βάση τις καλές παροχές των γεωτρήσεων, ότι κυριαρχούν τα κροκαλοπαγή εντός των νεογενών ιζημάτων.

### Ζώνη 3α. Μάρμαρα Ν ΝΔ πόλης Κορωπίου

Στις εμφανίσεις των μαρμάρων και δολομιτών αναπτύσσεται καρστική υδροφορία. Η εκφόρτιση της καρστικής υδροφορίας γίνεται προς τα Δ ΝΔ με κατάληξη τη θάλασσα. Η υπόγεια υδροφορία εκμεταλλεύεται από αριθμό γεωτρήσεων για κάλυψη αρδευτικών και βιομηχανικών αναγκών.

### Ζώνη 3β. Εναλλαγές Ασβεστολίθων Σχιστολίθων λόφων Πρ. Ηλία-Γωνιάς-Στρογγύλη

Στις εναλλαγές των ασβεστολίθων και σχιστολίθων αναπτύσσεται καρστική υδροφορία. Η εκφόρτιση της καρστικής υδροφορίας γίνεται προς τα Ν ΝΔ με κατάληξη τη θάλασσα. Η υπόγεια υδροφορία εκμεταλλεύεται από αριθμό γεωτρήσεων, βάθους 120-140m, για κάλυψη αρδευτικών και βιομηχανικών αναγκών.

### Ζώνη 3γ. Μάρμαρα λόφου Μπαράκο Κορωπίου και Αγίας Μαρίνας

Στις εμφανίσεις των μαρμάρων αναπτύσσεται καρστική υδροφορία. Η εκφόρτιση της καρστικής υδροφορίας γίνεται προς τα Ν με κατάληξη τη θάλασσα. Η υπόγεια υδροφορία εκμεταλλεύεται από αριθμό γεωτρήσεων, βάθους 100-120m για κάλυψη αρδευτικών και βιομηχανικών αναγκών.

Στις ευρύτερες περιοχές των καθορισμένων ζωνών, η υπόγεια υδροφορία βρίσκεται τοπικώς σε καθεστώς υπερεκμετάλλευσης και συναντώνται κατά θέσεις φαινόμενα υφαλμύρισης. Οι υποκείμενες υδροφορίες περιλαμβάνουν μέρη των ΥΥΣ Β. Μεσόγειας, Υμηττού και Λαυρεωτικής. Οι υδροφορίες των σύγχρονων αποθέσεων είναι ενταγμένες στις ευπρόσβλητες περιοχές λόγω νιτρορύπανσης γεωργικής προέλευσης. Η εφαρμογή προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού στις θέσεις αυτές καθώς και της ελεγχόμενης άντλησης από τη Ζώνη 2 (καθώς και μέρη της Ζώνης 3) για επαναχρησιμοποίηση, θα συμβάλλει στην καλύτερευση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης των υπογείων υδροφοριών και θα αντιμετωπισθούν φαινόμενα υφαλμύρισης, νιτρορύπανσης και τοπικών υπερεκμεταλλεύσεων.

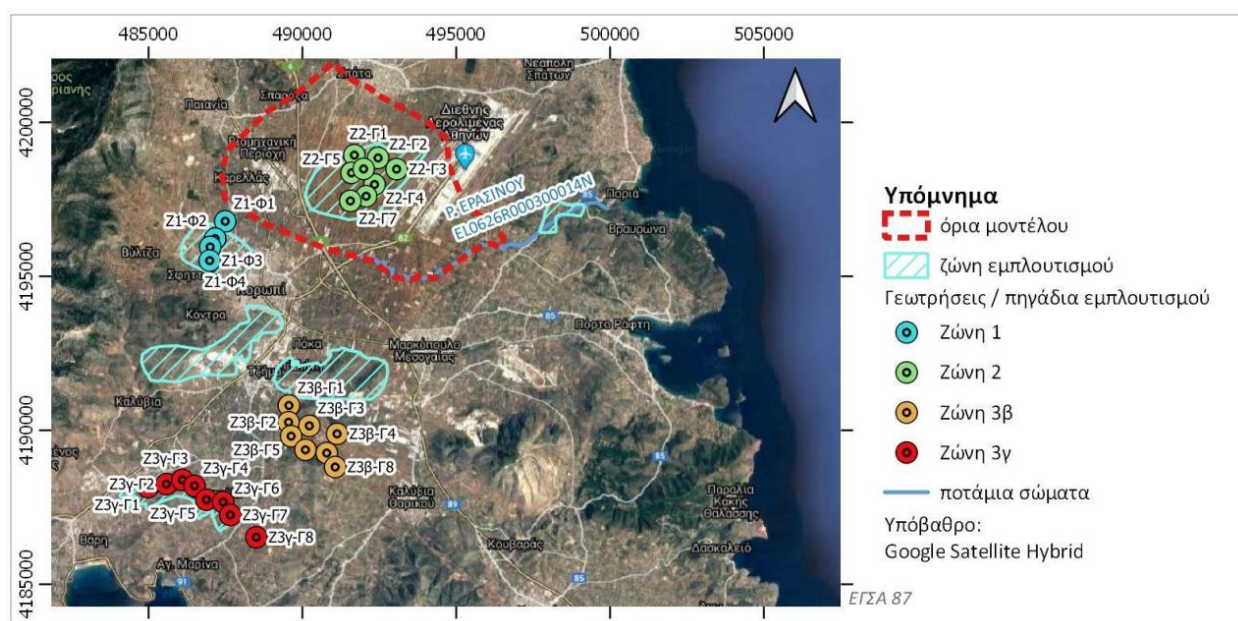
Από τη διενέργεια της υδρογεωλογικής μελέτης προέκυψαν τα ειδικά χαρακτηριστικά (αριθμός γεωτρήσεων, θέσεις και πρόγραμμα λειτουργίας) του δικτύου γεωτρήσεων εμπλουτισμού στους κοκκώδεις και καρστικούς υδροφορείς της περιοχής. Τονίζεται πως αυτά τα δεδομένα προκύπτουν από τις μελέτες της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και παρατίθενται αποκλειστικά και μόνο για λόγους πληρότητας.

Για την εφαρμογή προγράμματος εμπλουτισμού εξετάστηκαν διαφορετικές θέσεις λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω κριτήρια:



- Προσβασιμότητα.
- Ελεύθερος χώρος και όσο το δυνατόν μακριά από τον υφιστάμενο οικιστικό ιστό και τις μελλοντικές χρήσεις.
- Θέση του χώρου ώστε τα έργα που θα εκτελεστούν να είναι το λιγότερο δυνατόν ορατά,
- Θέσεις γεωτρήσεων άρδευσης.
- Επαρκή απορρόφηση από τους γεωλογικούς σχηματισμούς.
- Όρια νέου αεροδρομίου.

Η κατανομή και τα χαρακτηριστικά των πηγαδιών εμπλουτισμού δίνονται, ανά ζώνη εμπλουτισμού, στους ακόλουθους πίνακες. Οι θέσεις των γεωτρήσεων εμπλουτισμού παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-9.



Εικόνα 5-9: Θέσεις γεωτρήσεων εμπλουτισμού (Πηγή: ΕΥΔΑΠ Α.Ε. – Μελέτη Σχεδιασμού και Εφαρμογής του Εμπλουτισμού)

#### 5.2.5. Τεχνητός Εμπλουτισμός - ΚΕΛ Μαρκόπουλου

Οι διατιθέμενες για άρδευση γεωργικές εκτάσεις του Δήμου Μαρκόπουλου οι οποίες βρίσκονται σε μικρή σχετικά απόσταση από την εγκατάσταση επεξεργασίας μαζί με την ανάγκη για αστική και περιαστική χρήση, προσφέρονται για την πλήρη αξιοποίηση των επεξεργασμένων εκροών όλη τη διάρκεια του έτους χωρίς να απαιτείται να εξευρεθούν άλλοι τρόποι επαναχρησιμοποίησης. Ο Δήμος Μαρκόπουλου διαθέτει σημαντικές γεωργικές εκτάσεις και η έλλειψη δικτύου άρδευσης στην περιοχή εντείνει την αναγκαιότητα αξιοποίησης των εκροών του ΚΕΛ για το σκοπό αυτό. Ο υποκείμενος υδροφόρος ορίζοντας θα τροφοδοτείται ουσιαστικά από την πλησίον της ΚΕΛ Μαρκόπουλου, ΚΕΛ Παιανίας-Κορωπίου. Η δεδομένη μελέτη δεν αποσκοπεί στον καθορισμό των δυνατικών σχέσεων και διασυνδέσεων των υπόγειων υδροφόρων σωμάτων. Ως εκ τούτου η παραπάνω παραδοχή είναι αποδεκτή στο πλαίσιο μιας

αδρομερούς περιγραφής του μοντέλου της Ανατολικής Αττικής, που εν τέλει αποσκοπεί η μελέτη.

#### 5.2.6. Μεθοδολογία

Η διαδικασία αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων συμβαίνει όταν το νερό εισέρχεται στην κορεσμένη ζώνη και μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα (Freeze et al. 1979).

Η εκτίμηση της αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων είναι ένας από τους πιο δύσκολους παράγοντες για να ληφθεί υπόψη όσον αφορά στους υπόγειους υδάτινους πόρους. Υπάρχουν περισσότερες από μία μέθοδοι που υπολογίζουν την αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων συγκαταλέγοντας Water Table Fluctuation (WTF), Water Budget, Darcy's Law, Εμπειρικές σχέσεις και ειδικά μοντέλα υπόγειας υδροφορίας, ωστόσο ένας μεγάλος αριθμός σφαλμάτων συνήθως τις συνοδεύει. Παρ' όλα αυτά, ο υπολογισμός της αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων μπορεί να εκτιμηθεί με ένα ευρύ σύνολο μεθόδων, προκειμένου να δοθεί η πλησιέστερη εκτίμηση της αναπλήρωσης.

Ομοίως αναφέρεται: είναι δύσκολο να αξιολογηθεί η ακρίβεια οποιασδήποτε μεθόδου. Ως αποτέλεσμα, είναι χρήσιμο να εφαρμοστούν πολλαπλές μέθοδοι για την εκτίμηση της αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων (Healy and Cook 2002).

Η μέτρηση της αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων είναι δύσκολο να εκτιμηθεί με ακρίβεια. Ως εκ τούτου, περισσότερες από μία μέθοδοι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευση των εκτιμήσεων (Sumioka και Bauer 2003).

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης, κατασκευής ενός αδρομερούς αρχικά μοντέλου προσομοίωσης (ενεργειακού και υδατικού ισοζυγίου) του συστήματος αποχέτευσης και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων της Αν. Αττικής, δεν απαιτείται μέθοδος μεγάλου υπολογιστικού φόρτου. Η μέθοδος και οι παραδοχές που καλούνται να ληφθούν, πρέπει να μην δίνουν ρεαλιστικά αποτελέσματα αλλά και να είναι εύχρηστες και εύκολα συνεργάσιμες με το πρόγραμμα προσομοίωσης που θα χρησιμοποιηθεί (ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ βλ. Κεφάλαιο 6). Η τελική ευαισθησία του μοντέλου κρίνεται από την ευκολία ή αντίστοιχα δυσκολία μεταβολής της στάθμης νερού, των υπόγειων αυτών δεξαμενών (ΥΥΣ) που θα θεωρήσουμε στο μοντέλο.

Συμπερασματικά κρίνεται πως η απλή εφαρμογή της μεθόδου διακύμανσης του υδροφόρου ορίζοντα (κατά Healy 2010) είναι ικανή για να προσδώσει μία καλή και ρεαλιστική προσέγγιση στο ζητούμενο.

Στην εφαρμογή της μεθόδου WTF η βασική υπόθεση είναι ότι, η άνοδος της στάθμης των υπόγειων υδάτων σε μη περιορισμένο υδροφόρο ορίζοντα γίνεται μόνο λόγω του νερού αναπλήρωσης που φτάνει στον υδροφόρο ορίζοντα. Η επαναφόρτιση υπολογίζεται ως:

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4)$$

όπου,

$R$  = ρυθμός επαναφόρτισης ( $LT^{-1}$ )

$S_y$  = ειδική απόδοση, ( $M^0L^0T^0$ )

$Dh = \Delta h$  = άνοδος του υδροφόρου ορίζοντα, ( $L$ )

$Dt = \Delta t$  = χρόνος εντός του οποίου λαμβάνει χώρα η άνοδος  $dh$ , ( $T$ )

Η τιμή του  $R$  που προκύπτει παραπάνω μπορεί να πολλαπλασιαστεί με το εμβαδόν/ έκταση του υδροφόρου ορίζοντα για την επαναφόρτιση ως τον όγκο ανά μονάδα χρόνου. Εύλογα προκύπτει:

$$S_y = \frac{V_{drained/added}}{A\Delta h} \leftrightarrow A_{drained/added} = A \cdot S_y \quad (5)$$

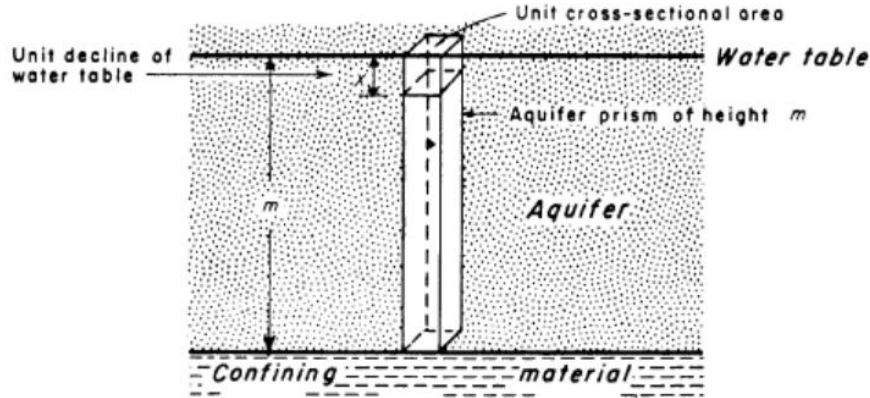
Υπάρχει μια χρονική υστέρηση μεταξύ της άφιξης του νερού και του μοιρασμού του στις άλλες ροές όπως η βασική ροή, εξάτμιση υπόγειων υδάτων και καθαρή υποεπιφανειακή ροή από μία περιοχή. Η μέθοδος WTF μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (εποχιακή ή ετήσια) για την εκτίμηση της αλλαγής της υπεδάφιας αποθήκευσης νερού. Ο Healy et al., (2002) ανέφεραν ότι η μέθοδος WTF, για την εκτίμηση της αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων εφαρμόστηκε ήδη τη δεκαετία του 1920 και από τότε έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες μελέτες.

Η μέθοδος είναι αρκετά απλή καθώς δεν γίνονται υποθέσεις για το μηχανισμό με τον οποίο το νερό φτάνει στα υπόγεια ύδατα. Η μέθοδος έχει επίσης ορισμένα μειονεκτήματα. Η μέθοδος Διακύμανσης του υδροφόρου ορίζοντα, εφαρμόζεται μόνο σε μη περιορισμένους υδροφορείς (φρεάτια υδροφορία βλ. Εικόνα 5-10) και η μέθοδος δεν μπορεί να αντιπροσωπεύει σταθερό ρυθμό επαναφόρτισης. Αυτό σημαίνει, εάν ο ρυθμός επαναφόρτισης σε μια περιοχή είναι ίσος με το ποσό της αποστράγγισης, τα επίπεδα του νερού δεν θα αλλάξουν και η μέθοδος WTF δεν θα προβλέψει καμία μεταβολή. Άλλες δυσκολίες προκύπτουν στον προσδιορισμό των τιμών συγκεκριμένης απόδοσης  $S_y$  (specific yield).

Πολλοί ερευνητές έχουν δοκιμάσει αυτή τη μέθοδο για την εκτίμηση της αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων. Οι Allison et al., (1990) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο διακύμανσης του υδροφόρου ορίζοντα για την εκτίμηση του τεχνητού εμπλουτισμού στη νότια Αυστραλία. Παρατήρησαν επίπεδα των υπόγειων υδάτων που αυξάνονταν σταθερά κατά 0,1 m/έτος μετά την απομάκρυνση της αυτοφυούς βλάστησης. Υποθέτοντας μία συγκεκριμένη απόδοση 0,2 που αντιστοιχεί σε αύξηση της επαναφόρτισης κατά 20 mm/έτος. Αυτή η τιμή βρέθηκε συνεπής με την επαναφόρτιση που εκτιμήθηκε με άλλες ανεξάρτητες μεθόδους.

Ολοκληρωμένες ανασκοπήσεις για μεθόδους εκτίμησης αναπλήρωσης των υπόγειων υδάτων που βασίζονται σε δεδομένα στάθμης, παρουσιάστηκαν από τους Healy και Cook (2002).

Κατέληξαν πως η μέθοδος WTF που χρησιμοποιεί ειδική απόδοση  $S_y$  και παραλλαγές στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα με την πάροδο του χρόνου μπορεί να είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εκτίμηση της επαναφόρτισης των υπόγειων υδάτων.



Εικόνα 5-10: Αποθηκευτικότητα Φρεάτιας Υδροφορίας (1962, Ferris κ.α.)

Η μέθοδος διακύμανσης του υδροφόρου ορίζοντα (WTF) εκτελείται βασικά με την εκτίμηση της ειδικής απόδοσης για μια περιοχή διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων υδάτων (Healy 2010).

Η αποθηκευτικότητα ενός απεριόριστου υδροφόρου ορίζοντα περιλαμβάνει την ειδική απόδοση ή το αποστραγγιζόμενο πορώδες του:

$$S = S_y + S_s b \quad (6)$$

Όπου

$S$  είναι η ικανότητα αποθήκευσης [χωρίς διάσταση]

$S_y$  είναι ειδική απόδοση [χωρίς διάσταση]

$S_s$  είναι η ειδική αποθήκευση [ $L^{-1}$ ] και

$b$  είναι το πάχος του υδροφόρου ορίζοντα (ή του υδροφόρου ορίζοντα) [ $L$ ].

Η ειδική απόδοση ορίζεται ως ο όγκος του νερού που απελευθερώνεται από την αποθήκευση από έναν απεριόριστο υδροφόρο ορίζοντα ανά μονάδα επιφάνειας υδροφορέα ανά μονάδα πτώσης του υδροφόρου ορίζοντα. Το χαμηλόμα του υδροφόρου ορίζοντα σε έναν απεριόριστο υδροφόρο ορίζοντα οδηγεί στην απελευθέρωση νερού που αποθηκεύεται στα ενδιάμεσα ανοίγματα του πορώδους από την βαρυτική αποστράγγιση. Ο Bear (1979) συσχετίζει την ειδική απόδοση με το συνολικό πορώδες ως εξής:

$$n = S_y + S_r \quad (7)$$

Όπου:

*n είναι το ολικό πορώδες [χωρίς διάσταση],*

*S<sub>y</sub> είναι ειδική απόδοση [χωρίς διάσταση]*

*S<sub>r</sub> είναι ειδική κατακράτηση [χωρίς διάσταση], η ποσότητα νερού που συγκρατείται από τις τριχοειδείς δυνάμεις κατά την αποστράγγιση της βαρύτητας ενός απεριόριστου υδροφορέα.*

Έτσι, η ειδική απόδοση, η οποία μερικές φορές ονομάζεται αποτελεσματικό πορώδες, είναι μικρότερη από το συνολικό πορώδες ενός απεριόριστου υδροφορέα (Bear 1979).

Σε σύγκριση με την αποστράγγιση με βαρύτητα, η συμπίεση του υδροφόρου ορίζοντα και η διαστολή του νερού σε έναν υδροφόρο ορίζοντα αποδίδουν σχετικά λιγότερο νερό από την αποθήκευση. Ως εκ τούτου, σε απεριόριστους υδροφορείς:

$$S_y \gg S_s \cdot b \quad (8)$$

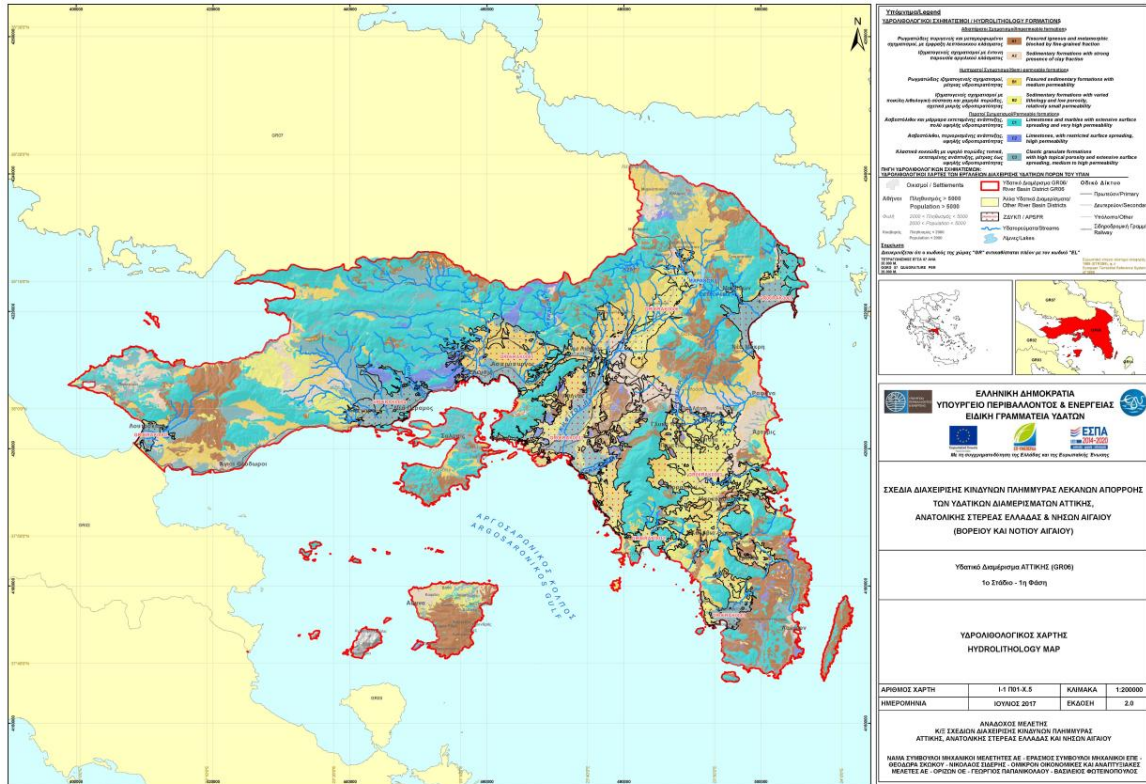
και

$$S \cong S_y \quad (9)$$

Η ικανότητα αποθήκευσης σε μη περιορισμένους υδροφορείς κυμαίνεται τυπικά από 0.1 έως 0.3 (Lohman 1972).

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία των υπό μελέτη περιοχών όπως αυτά τέθηκαν εν συντομία στις προηγούμενες υποενότητες καθώς επίσης και τα προαναφερθέντα γίνονται οι εξής παραδοχές και υπολογισμοί για την ισοδύναμη έκταση (Ισοδύναμο ωφέλιμο όγκο των υπόγειων υδροφόρων σωμάτων). Αρχικά γίνεται η θεώρηση αποκλειστικά και μόνο φρεάτιων υδροφοριών (Unconfined Aquifers). Τα ΥΥΣ αντικαταστάθηκαν με δύο υπόγειους –closed box- ταμιευτήρες, με επίπεδη ελεύθερη επιφάνεια ύδατος. Τα χαρακτηριστικά έκτασης και specific yield θεωρούνται αμετάβλητα καθ'όλη την έκταση και το ύψος τους. Οι επιφάνειες εμπλουτισμού εκτιμώνται περί 20 km<sup>2</sup> για Μαραθώνα και Παιανία – Κορωπί. Η ενεργός επιφάνεια υπολογίστηκε μετά την ανάθεση των ανάλογων S<sub>y</sub> τιμών στις περιοχές, βάσει της γεωλογικής και υδρογεωλογικής τους σύστασης.





Εικόνα 5-11: Υδρολιθολογικός χάρτης Αττικής – Κατηγοριοποίηση Υδρολιθολογικών Σχηματισμών (Ειδική Γραμματεία Υδάτων)

Αρχικά τα εδάφη κατατάσσονται προσεγγιστικά βάσει του Υδρογεωλογικού χάρτη Αττικής (Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας) στις κατάλληλες κατηγορίες που ορίζουν την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά. Επομένως προέκυψαν τα εξής:

- Ζώνη 1 (Παιανία – Κορωπί): Κατηγορία B1 – Ρωγματώδεις ιζηματογενείς σχηματισμοί μέτριας υδατοπερατότητας
- Ζώνη 2 (Παιανία – Κορωπί): Κατηγορία B2 – Ιζηματογενείς σχηματισμοί Χαμηλού πορώδους, σχετικά μικρής υδατοπερατότητας
- Ζώνη 3<sup>α</sup> (Παιανία – Κορωπί): Κατηγορία C1 – Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης υψηλής υδατοπερατότητας
- Ζώνη 3<sup>β</sup> (Παιανία – Κορωπί): Κατηγορία B1 και B2
- Ζώνη 3<sup>γ</sup> (Παιανία – Κορωπί): Κατηγορία C1 – Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης υψηλής υδατοπερατότητας
- Μαραθώνας (α): Κατηγορία C1 – Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης υψηλής υδατοπερατότητας
- Μαραθώνας (β): Κατηγορία C3 – Κλαστικά κοκκώδη με υψηλό πορώδες τοπικά, εκτεταμένης ανάπτυξης

Εν συνεχεία αντιστοιχούνται με τα ανάλογα πιθανά υπάρχοντα πετρώματα και με συνεκτίμηση των προτεινόμενων για αυτά  $S_y$  από τους ακόλουθους πίνακες προκύπτουν οι τελικές τιμές.

Πίνακας 5-6: Προτεινόμενες τιμές ειδικής απόδοσης  $S_y$  (Heath, 1983)

Material	Porosity (%)	Specific yield (%)	Specific Retention (%)
Soil	55	40	15
Clay	50	2	48
Sand	25	22	3
Gravel	20	19	1
Limestone	20	18	2
Sandstone (unconsolidated)	11	6	5
Granite	0.1	0.09	0.01
Basalt (young)	11	8	3

Πίνακας 5-7: Προτεινόμενες τιμές ειδικής απόδοσης  $S_y$  (Morris and Johnson 1967)

Material	Specific yield (%)
Gravel, coarse	21
Gravel, medium	24
Gravel, fine	28
Sand, coarse	30
Sand, medium	32
Sand, fine	33
Silt	20
Clay	6
Sandstone, fine grained	21
Sandstone, medium grained	27
Limestone	14
Dune sand	38
Loess	18
Peat	44
Schist	26
Siltstone	12
Till, predominantly silt	6
Till, predominantly sand	16
Till, predominantly gravel	16
Tiff	21

Τέλος γίνεται η παραδοχή, πως το ισοζύγιο της φυσικής εισροής (βροχόπτωση, επικοινωνία με άλλα ΥΥΣ) και απορροής-εκβολής τους είναι μηδενικό (υπόγειων ταμιευτήρων). Συνεπώς βρίσκονται σε φυσική ισορροπία και μόνη πηγή διατάραξής της, είναι οι ανθρώπινες απολήψεις προς κάλυψη των ανάλογων αναγκών.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω προκύπτουν:

- Ταμιευτήρας-ΥΥΣ ΒΜ:  $19.6 \text{ km}^2$  και  $Sy_{(B.Mεσόγειων)} = 0.2$
- Ταμιευτήρας-ΥΥΣ ΜΑΡ:  $20 \text{ km}^2$  και  $Sy_{(Μαραθώνα)} = 0.22$

### **5.3. Εναλλακτικές χρήσεις επεξεργασμένου νερού (αστική-περιαστική χρήση, πυρόσβεση, βιομηχανία)**

#### 5.3.1. Αστική – Περιαστική Χρήση

Στην παρούσα μελέτη ακολουθείται μία διαφορετική προσέγγιση από αυτή της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. όσον αφορά τη χρήση του νερού για αστική χρήση. Με την υπόθεση ενός πλήρως ανεπτυγμένου συστήματος επεξεργασίας λυμάτων και εφοδιασμού τους στους οικισμούς (προϋπόθεση αρχικού κεφαλαίου και κατάλληλων υποδομών) προβλέπεται Αστική και Περιαστική επαναχρησιμοποίηση σε όλες τις υπό εξυπηρέτηση περιοχές. Η διανομή του επεξεργασμένου ύδατος στις δεδομένες περιοχές/οικισμούς θα γίνεται είτε απευθείας μέσω εσωτερικού αστικού δικτύου επαναχρησιμοποίησης λόγω εγγύτητας τους στα ΚΕΛ αναφοράς, είτε αυτές θα εξυπηρετούνται αποκεντρωμένα από ειδικές τοπικές μονάδες sewer mining.

Οι μονάδες αυτές είναι ικανές να επεξεργασθούν ικανές ποσότητες τοπικών λυμάτων (in situ επεξεργασία) και μετά μέσω κατάλληλης δυναμικότητας αντλήσεων να γίνει αναδιανομή τους για χρήση. Η μελέτη και τα χαρακτηριστικά των μονάδων sewer mining δεν αποτελούν μέρος της εργασίας και δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

Όσον αφορά την αστική – περιαστική χρήση, αυτή θα περιλαμβάνει με τη σειρά της ένα σύνολο ειδικών χρήσεων. Μεταξύ άλλων αναφέρονται η άρδευση του αστικού και περιαστικού πρασίνου, πλύσιμο δρόμων, πεζοδρομίων και πλατειών, εξυπηρέτηση πάρκων και δημοτικών κήπων, ενώ εξετάζονται περιπτώσεις όπως αμαξοστάσια και χρήση για πυρόσβεση.

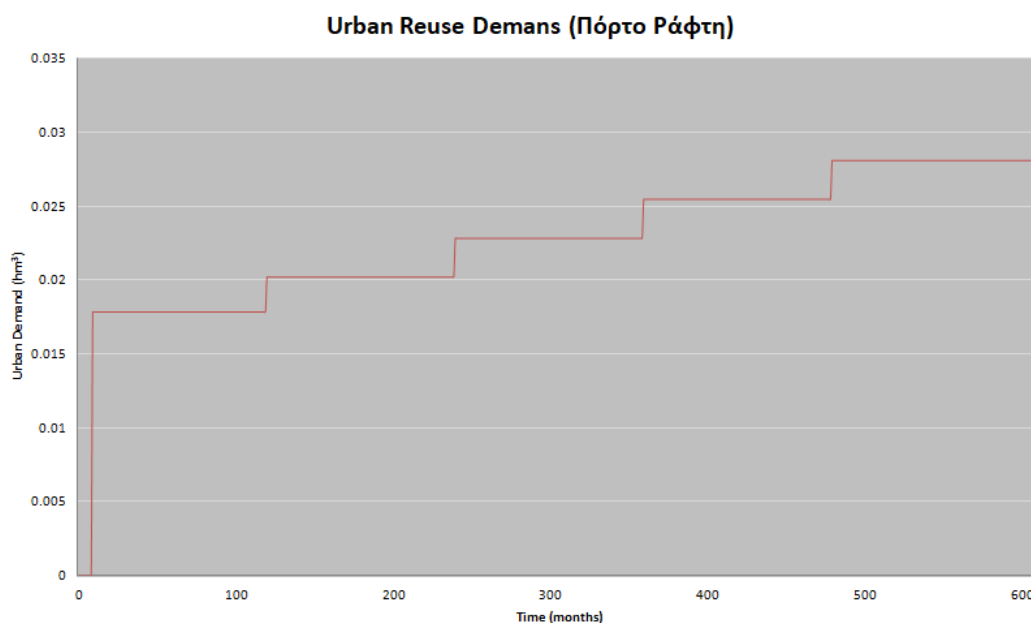
Ειδικότερα, στην πολεοδομία το πράσινο κατηγοριοποιείται σε αστικό και περιαστικό. Το αστικό πράσινο συνήθως είναι δημοτικοί και δημόσιοι κήποι, πάρκα διαφόρων μεγεθών, δασάκια και γενικά χώροι με κάποιας μορφής βλάστηση. Υπάρχουν επίσης χώροι με ειδικό καθεστώς διαχείρισης όπως αρχαιολογικοί χώροι, αθλητικές εγκαταστάσεις, νεκροταφεία κλπ.

Στο περιαστικό πράσινο ανήκουν οι περιοχές που βρίσκονται εκτός ρυμοτομικών σχεδίων δηλαδή φυσικές περιοχές που περιβάλλουν τις πόλεις και λειτουργούν ως πνεύμονες πρασίνου και χώροι αναψυχής.

Κρίθηκε σκόπιμο να μην προβλεφθεί άρδευση και γενικά επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων σε παιδικές χαρές, σχολεία κλπ καθώς το νερό αυτό δεν είναι κατάλληλο για ύδρευση και σε τέτοιους χώρους υπάρχει φόβος να καταναλωθεί ως πόσιμο παρά τα μέτρα ενημέρωσης και προστασίας του κοινού (σωληνώσεις διαφορετικού χρώματος από το δίκτυο ύδρευσης, προειδοποιητικές πινακίδες κλπ).



Για την δημόσια και δημοτική κατανάλωση, βιβλιογραφικά οι τυπικές τιμές κυμαίνονται από 10 έως 50 L/(d κατ). Λαμβάνοντας υπόψη τον χαρακτήρα των περιοχών της Αν. Αττικής και τη σχετικά αραιή δόμηση, χρησιμοποιήθηκε η τιμή 50 L/(d κατ). Γενικά η εξάρτηση από τον πληθυσμό εκφράζει την υπερετήσια τάση αύξησης αυτών των αναγκών, μίας και κάποια τετραγωνικά μέτρα πρασίνου ή ισοδύναμα κάποιος όγκος νερού, αναλογούν σε κάθε πολίτη. Σε κάθε περίπτωση η βήμα προς βήμα γραμμική αύξηση (όπως ο πληθυσμός) αυτής της ανάγκης δεν θεωρήθηκε ρεαλιστική παραδοχή. Για τον παραπάνω λόγο, η χρονοσειρά ανάγκης για χρήση αστικού νερού, θεωρήθηκε βαθμιδωτή και σταθερή ανά δεκαετία. Αυτή η παραδοχή μπορεί απλούστερα να μεταφρασθεί, ως μία αλλαγή πολιτικής ή αναθεώρηση των αναγκών για αστική και περιαστική χρήση ανά δέκα (10) χρόνια από τους υπό εξυπηρέτηση δήμους. Έτσι βάσει των προβλέψεων πληθυσμού που έγιναν για τα επόμενα πενήντα (50) χρόνια για κάθε περιοχή, προέκυψαν ανάγκες της παρακάτω μορφής:



Σχήμα 5-3: Χρονοσειρά υπερετήσιας αύξησης αναγκών για αστική – περιαστική χρήση στον οικισμό Πόρτο Ράφτη

### 5.3.2. Βιομηχανία

Για την λειτουργία και τη παραγωγική διαδικασία των βιομηχανιών απαιτείται νερό, η ποσότητα του οποίου εξαρτάται από το είδος της δραστηριότητας, το μέγεθος κάθε μονάδας αλλά και το παραγόμενο προϊόν (ποσότητα) το οποίο δύναται να τροποποιείται ανάλογα με την ζήτηση. Στο πλαίσιο υλοποίησης των 1<sup>ov</sup> Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Αποροής Ποταμών, αντλήθηκε από μελέτες, ένας αρχικός βασικός όγκος των απαιτούμενων στοιχείων για την καταγραφή των βιομηχανικών μονάδων, τους κλάδους δραστηριότητας, τη χωρική τους τοποθέτηση καθώς και για την δυναμικότητα ορισμένων μονάδων.

Σύμφωνα με τα ΣΔΛΑΠ: Για το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας είχαν αντληθεί στοιχεία για τις βιομηχανίες αυτές καθώς και για την πηγή υδροδότησής τους

(επιφανειακά ή υπόγεια υδατικά σώματα) και για την εκτίμηση της κατανάλωσης, συγκεκριμένα από τις μελέτες:

- «Κατάρτιση Μητρώου Χρηστών Ύδατος στους Τομείς Αρμοδιότητας του Υπουργείου Ανάπτυξης (Ενέργεια, Βιομηχανία, Εμπόριο) και στον Τουρισμό. Ανάπτυξη Εργαλείων Επικαιροποίησης και Επεξεργασίας των Δεδομένων. Εγκατάσταση Δικτύου Επικοινωνίας των επί μέρους Τομέων», ΥΠΙΑΝ 2008 και
- Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Ηπείρου, Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Θεσσαλίας», ΥΠΙΑΝ 2008.

*Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ύδατος βιομηχανίας είχε θεωρηθεί ότι οι βιομηχανίες εκείνες που βρίσκονται εντός της περιοχής αρμοδιότητας της ΕΥΔΑΠ, καθώς και εκείνες που βρίσκονται σε Δήμους οι οποίοι επιπλέον του ύδατος που προμηθεύονται από την ΕΥΔΑΠ χρησιμοποιούν και γεωτρήσεις, θεωρήθηκε ότι καλύπτουν τις ανάγκες τους κατά το 1/2 από το δίκτυο της ΕΥΔΑΠ και κατά το 1/2 από υπόγεια νερά. Για τις βιομηχανίες που βρίσκονται σε Δήμους εκτός της περιοχής αρμοδιότητας ΕΥΔΑΠ θεωρήθηκε ότι το σύνολο της αντίστοιχης ζήτησης καλύπτεται από τους υπόγειους υδροφορείς.*

Στη 1<sup>η</sup> αναθεώρηση των ΣΔΔΑΠ του υδατικού διαμερίσματος Αττικής, υπογραμμίζεται η δυσκολία εύρεσης των απαιτούμενων στοιχείων, αλλά και η επιβεβαίωση λειτουργίας ή μη των βιομηχανιών.

Τελικά από τις δεδομένες μελέτες αντλήθηκε, πως οι απαιτούμενες ποσότητες για νερό που προορίζονται για βιομηχανική χρήση εκτιμώνται σε συνολικά 33.000.000 m<sup>3</sup>, από τα οποία τα 18.454.086 m<sup>3</sup> καλύπτονται από τα υπόγεια ύδατα ενώ τα υπόλοιπα 14,5 hm<sup>3</sup> εκτιμάται ότι παρέχονται από την ΕΥΔΑΠ.

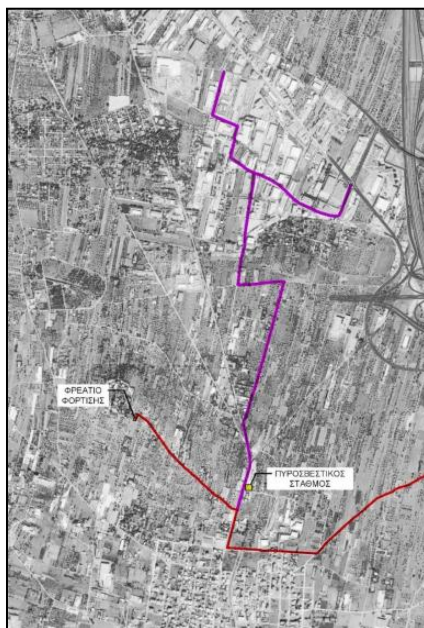
Λαμβάνοντας υπόψη πως οι βιομηχανίες έχουν ανάγκη τόσο από καλής ποιότητας όσο και από χειρότερης ποιότητας νερό, αυτή η ποσότητα αρχικά των 18 hm<sup>3</sup> επιδιώκεται να εξυπηρετείται από το σύστημα επαναχρησιμοποίησης λυμάτων μιας και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής από τα ΚΕΛ μας το επιτρέπουν βάσει νομοθεσίας. Για βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης θα πρέπει να πληρούνται τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων του Πίνακα 1 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011 και για βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης θα πρέπει να πληρούνται τα ίδια όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων με την απεριόριστη άρδευση (Πίνακας 2 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011). Υπάρχει δυνατότητα για επαναχρησιμοποίηση του νερού για Βιομηχανική χρήση στη Βιομηχανική/Βιοτεχνική Περιοχή Παιανίας – Κορωπίου εκατέρωθεν της Λ. Μαρκοπούλου, βορείως του Κορωπίου. Προτείνεται η κατασκευή αγωγών νερού βιομηχανικής χρήσης. Το δίκτυο βιομηχανικού νερού θα τροφοδοτείται από τον κεντρικό αγωγό του αρδευτικού δικτύου στη διασταύρωση των οδών Κοντρατσή Ζακύνθου και Λ. Λαυρίου

Επομένως η ΕΥΔΑΠ Α.Ε. αναφέρει ρητά πως ευκαιρία επαναχρησιμοποίησης για βιομηχανική-βιοτεχνική χρήση εμφανίζεται μόνο στις ΒΙΟΠΑ – ΒΙΟΠΕ Παιανίας – Κορωπίου και ακολουθείται η συγκεκριμένη στρατηγική και σε αυτή τη μελέτη.

Από την πρώτη αναθεώρηση των ΣΔΛΑΠ 2015-2021 έχουμε για το ΥΔ06 Αττικής το σύνολο των μεγάλων βιομηχανιών, την έδρα τους, καθώς επίσης και τη συνολική τους κατανάλωση σε καθαρό και υπόγειο νερό όπως προαναφέρθηκε.

Μη λαμβάνοντας υπόψη το είδος (παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής είδους βιομηχανίας στο χώρο) εκτιμάται πως περίπου 20% της βιομηχανικής – βιοτεχνικής δύναμης της Αττικής, άρα και της κατανάλωσης νερού βρίσκεται στην εν λόγω περιοχή της Παιανίας - Κορωπίου. Άρα τελικά η κατανάλωση για τη βιομηχανία εκτιμάται σε 0.31 hm<sup>3</sup>/month με την παραδοχή πως είναι σταθερή στο χρόνο.

*“Χαρακτηριστικά αναφέρεται από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. πως ο Σταθμός Πυροσβεστικής στο Κορωπί (Πυροσβεστική Κρωπίας) βρίσκεται στην οδό Βασιλέως Κων/νου 3 (Α. Λαυρίου) σε απόσταση 150 m περίπου από τη διασταύρωση των οδών Κοντρατσή Ζακύνθου και Α. Λαυρίου. Επομένως μία πλεονάζουσα υδροδότηση των οχημάτων του Σταθμού Πυροσβεστικής με επεξεργασμένες εκροές σε περιπτώσεις πυρκαγιάς είναι δυνατή μέσω του Αγωγού νερού βιομηχανικής χρήσης.”*



Εικόνα 5-12: Παράδειγμα συνεργασίας Βιομηχανικής – αστικής χρήσης (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

## **6. Μοντελοποίηση δικτύου στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ**

### **6.1. Το Πρόγραμμα**

Οι αναλύσεις βασίζονται στις προχωρημένες τεχνικές στοχαστικής προσομοίωσης από τα σχετικά υπολογιστικά εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί από το ΕΜΠ, που έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς στο πλαίσιο πρότερων ερευνητικών συνεργασιών με την ΕΥΔΑΠ Α.Ε., αλλά και πληθώρας ερευνητικών έργων και τεχνολογικών μελετών. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται η πλέον πρόσφατη έκδοση του λογισμικού Υδρονομέας, που περιγράφεται σε σχετική ερευνητική έκθεση του ΕΜΠ (Ευστρατιάδης κ.ά., 2015).

Γενικά, στο μοντέλο του Υδρονομέα ένα υδροσύστημα αναπαρίσταται ως ένα εννοιολογικό δίκτυο αποτελούμενο από κόμβους και κλάδους. Οι κόμβοι αποτελούν σημεία προσφοράς (ταμιευτήρες, γεωτρήσεις) ή ζήτησης νερού, σημεία διακλάδωσης και σημεία αλλαγής των χαρακτηριστικών των αγωγών, ενώ οι κλάδοι αντιπροσωπεύουν μεταφορές νερού μέσω υδραγωγείων και αντλιοστασίων.

Το υδροσύστημα εξετάστηκε σε ένα σύνολο σεναρίων, όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια. Σε όλα τα σεναρία, η προσομοίωση έγινε από τον Οκτώβριο του 2021 έως τον Σεπτέμβριο του 2071 (50 υδρολογικά έτη). Ως εκ τούτου θεωρήθηκαν δώδεκα νεκρά βήματα προσομοίωσης, εννέα στην αρχή αυτής και τρία στο τέλος, μιας και το πρόγραμμα λειτουργεί βάσει ημερολογιακών ετών.

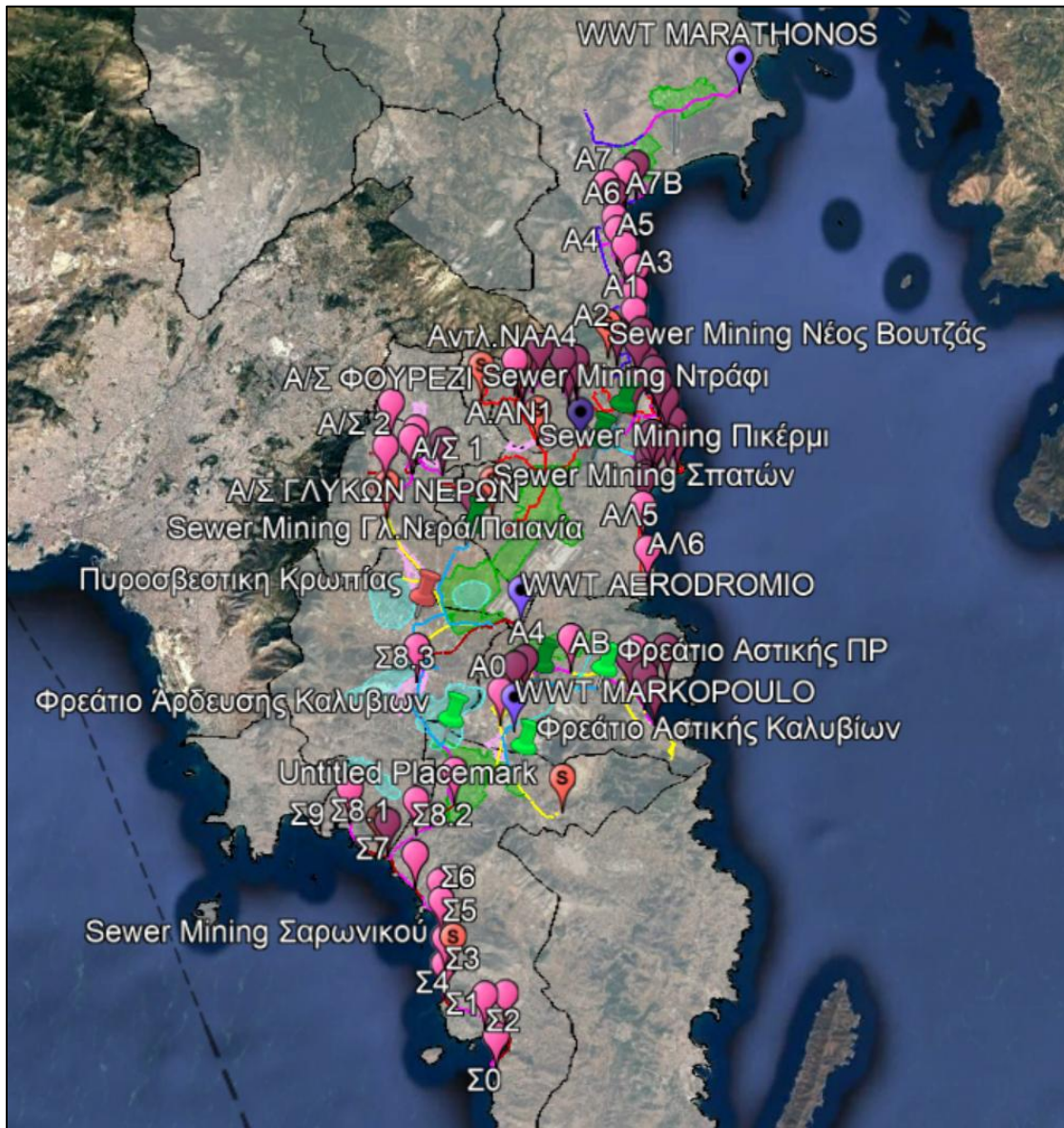
### **6.2. Σχηματοποίηση δικτύου**

#### **6.2.1. Το δίκτυο**

Η διαμόρφωση του μοντέλου, όπως προαναφέρθηκε, έγινε στο περιβάλλον του λογισμικού Υδρονομέας, με υπόβαθρο το σχήμα (σχέδια προγραμματισμένων έργων) που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο των μελετών της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (masterplan) όσον αφορά την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων της Αν. Αττικής.

Οι πληροφορίες που λήφθηκαν για την τελική σχηματοποίηση του δικτύου, βρίσκονταν τόσο σε μορφή απεικόνισης (υφιστάμενα σχέδια) όσο και γραπτού λόγου (τεχνικές μελέτες). Στην αρχή της παρούσας έκθεσης αναφέρεται πως η πληροφορία αποτελούσε μέρος ήδη εγκεκριμένων μελετών, προμελετών, χαρτών, αναθέσεων εργολαβίας, αλλά και εν εξελίξη μελετών και μη εγκεκριμένων ακόμα πλάνων. Η πληροφορία αυτή συγκεντρώθηκε και οργανώθηκε σε μία ενιαία βάση δεδομένων χρήσει των χαρτών Google Earth, ώστε να υπάρχει μία καθολική

εποπτεία του συστήματος. Στην παρακάτω Εικόνα 6-1 παρουσιάζεται το σύνολο του συστήματος επί των χαρτών:



Εικόνα 6-1: Συγκεντρωμένη πληροφορία βασικών υποδομών του συστήματος επί χαρτών Google Earth

Στην Εικόνα 6-7 απεικονίζεται η τελική - απλοποιημένη σχηματική διάταξη του συστήματος, όπως υλοποιήθηκε στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Υδρονομέας. Στο δίκτυο απεικονίζονται οι υπό εξυπηρέτηση οικισμοί, οι κύριοι κλάδοι των επί μέρους αποχετευτικών συστημάτων (Κεντρικοί Αποχετευτικοί Αγωγοί – ΚΑΑ), τα αντλιοστάσια και οι αντίστοιχοι καταθλιπτικοί κλάδοι, οι επεξεργασίες λυμάτων που είναι εν λειτουργία αυτή την περίοδο (τόσο οι Κεντρικές Επεξεργασίες – ΚΕΛ, όσο και οι τοπικές μονάδες Sewer Mining), οι βασικές συνδέσεις – αγωγοί του επεξεργασμένου ύδατος κατόπιν της επεξεργασίας (αστικοί-περιαστικοί, αρδευτικοί, εμπλουτισμού), οι συγκεντρωτικές ζητήσεις νερού, οι υπόγειοι



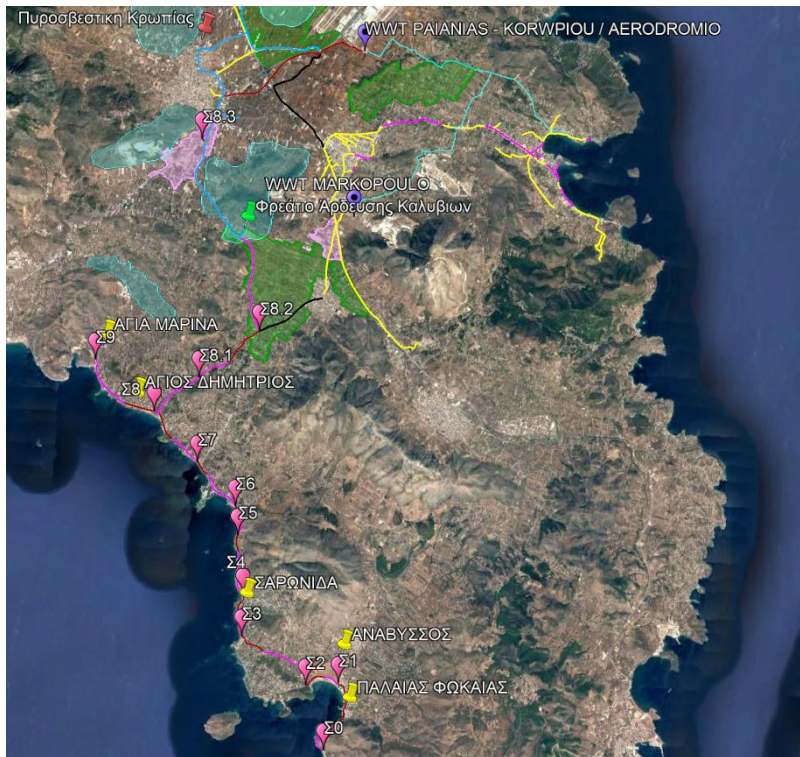
υδροφορείς ως toy-reservoirs, οι γεωτρήσεις, καθώς και οι σχετικοί στόχοι και περιορισμοί του μοντέλου. Η απλοποιημένη αυτή δομή δικτύου είναι ικανοποιητική προκειμένου να παραχθεί το υδατικό και ενεργειακό ισοζύγιο για την περίοδο ελέγχου, βάσει των προαναφερθέντων παραδοχών πρόγνωσης των εισροών λυμάτων στο δίκτυο (βλ. προηγούμενα Κεφάλαια).



Εικόνα 6-2: ΚΕΛ Μαραθώνος





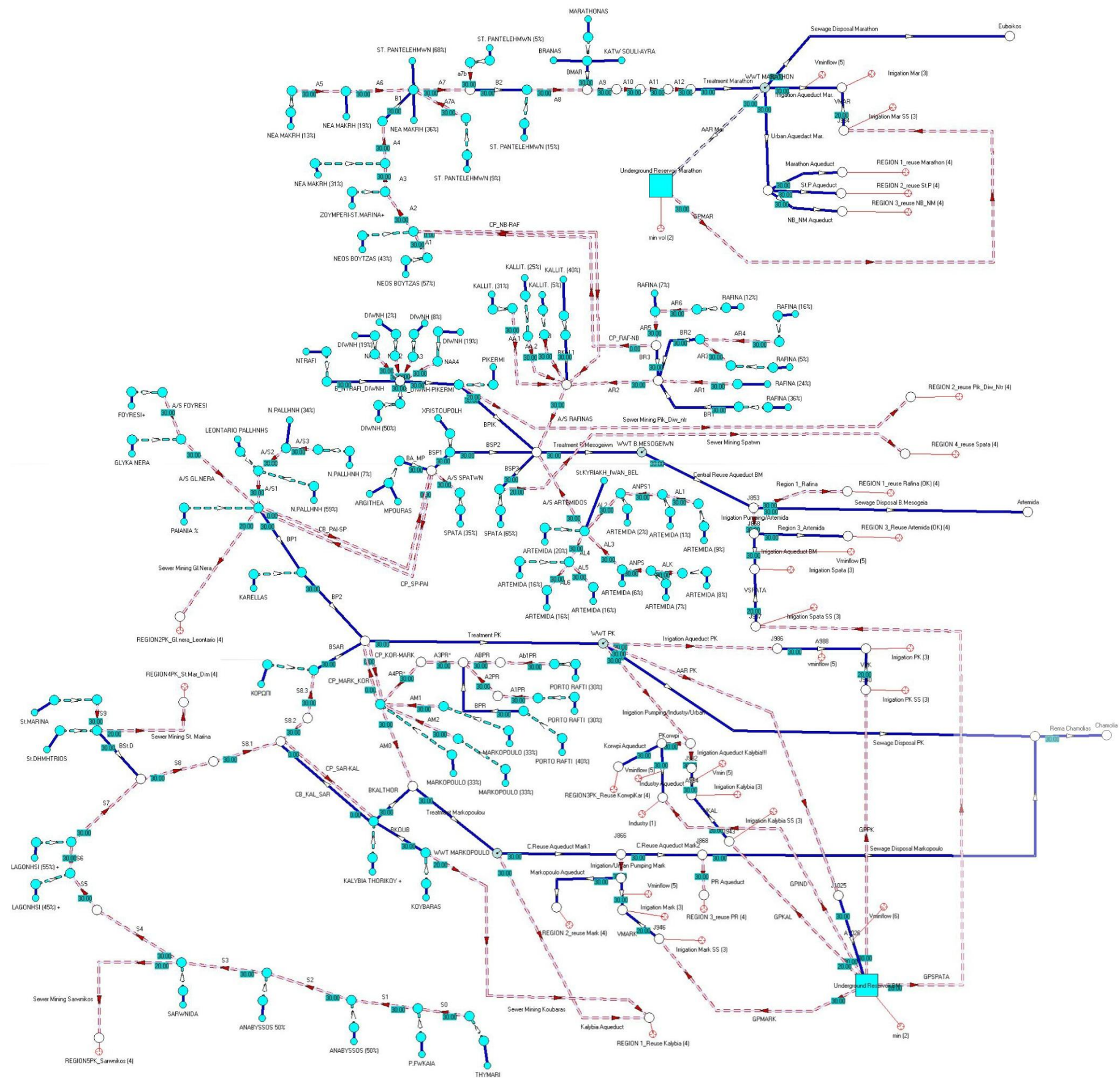


Εικόνα 6-5: ΚΕΛ Παιανίας – Κορωπίου 2<sup>η</sup> γραμμή



Εικόνα 6-6: ΚΕΛ Μαρκόπουλου





Εικόνα 6-7: Τελική απλοποιημένη αναπαράσταση του συστήματος επαναχρησιμοποίησης λυμάτων Αν. Αττικής στο λογισμικό ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

### 6.2.2. Στόχοι του μοντέλου

Αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η εκτίμηση της δυναμικότητας του υδροδοτικού συστήματος, και ειδικότερα η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της ζήτησης νερού, της αξιοπιστίας (ή συχνότητας ελλειμμάτων) και της κατανάλωσης ενέργειας. Η θεωρητική αυτή ανάλυση βασίζεται σε πληθώρα σεναρίων προσομοίωσης του υδροσυστήματος, με χρήση του λογισμικού Υδρονομίας (βλ. Ενότητα 6.3).

Το μαθηματικό υπόβαθρο του Υδρονομία επιβάλλει ιεράρχηση στόχων, ώστε σε περίπτωση ανεπαρκών αποθεμάτων ή ανεπαρκούς παροχρητευτικότητας το μοντέλο να ικανοποιεί τις χρήσεις νερού και περιορισμούς υψηλότερης προτεραιότητας. Παρακάτω δίνεται μια συγκεντρωτική εικόνα των στόχων, με τα αντίστοιχα επίπεδα προτεραιότητας.

Έτσι έχουμε τις απαιτήσεις σε επεξεργασμένο νερό που τίθενται στο μοντέλο υπό την μορφή των ακόλουθων ιεραρχημένων στόχων:

- i. Κάλυψη της ανάγκης για επαναχρησιμοποίηση σε βιομηχανία (συγκεντρωμένη σε ένα κόμβο).
- ii. Τήρηση των ορίων ελάχιστου όγκου για τους υπόγειους ταμιευτήρες.
  - a) Β. Μεσόγεια: σταθερό κατώτατο όριο/ διακύμανση 0.2 m
  - b) Μαραθώνας: αύξηση κατώτατου ορίου της στάθμης κατά 5 m στο πέρας των 50 ετών/ διακύμανση 0.45 m
- iii. Ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών.
- iv. Ικανοποίηση των αναγκών σε αστική – περιαστική χρήση

Το πρόβλημα που γίνεται προσπάθεια να απαντηθεί, αφορά το πλέον συζητημένο από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε. θέμα, για την διαχείριση των υδατικών πόρων έχοντας κατά νου το μοντέλο της «κυκλικής οικονομίας», δηλαδή πόσες από τις υπάρχουσες ανάγκες μπορούν να καλυφθούν –τη στιγμή της ζήτησης- από εναλλακτικούς υδατικούς πόρους (;), ήτοι επεξεργασμένα λύματα, με τι κόστος (;), ενώ ταυτόχρονα οι πλεονάζοντες πόροι να μπορούν να διατίθενται προς υπόγεια αποθήκευση εγκαθιδρύοντας μία κατάσταση αειφορίας. Εύλογα λοιπόν σε ένα τέτοιο πρόβλημα θα ήταν αναμενόμενο ο στόχος για εμπλουτισμό (τήρηση ορίων του υδροφόρου) να είναι τελευταίος. Στην προσπάθεια αντιμετώπισης του παραπάνω προβλήματος παρουσιάστηκε ζήτημα ως προς την μοντελοποίηση – προσομοίωση της υπόγεια υδροφορίας ως δεξαμενής αποθήκευσης. Ανεξαρτήτως σεναρίου πίεσης (ζητήσεων) του συστήματος και ορθολογικού μεγέθους του υπόγειου υδροφορέα, το μοντέλο κατέληγε με το πέρας μερικών βημάτων στο άδειασμα των υπόγειων δεξαμενών και στη συνεχή αστοχία των ορίων στάθμης τους. Εξήγηση του παραπάνω αποτελεί το γεγονός πως οι συνολικές ζητήσεις απαιτούν επιπλέον των

επεξεργασμένων λυμάτων, υδατικούς πόρους από άλλες πηγές π.χ. ήδη υπάρχοντα υπόγεια ύδατα ή δίκτυα καθαρού νερού.

Προς απάντηση του συγκεκριμένου ζητήματος έγινε στροφή στη συνολική αντιμετώπιση του προβλήματος του οποίου οι στόχοι επαναπροσδιορίστηκαν. Το μοντέλο δίνει ως αποτέλεσμα το μέγιστο των ζητήσεων που μπορούν καλυφθούν (αξιοπιστία του συστήματος) χωρίς να υπάρξει υποβίβαση της στάθμης του ΥΟ. Μόνη πηγή αστοχίας του, μπορεί να αποτελέσει η έλλειψη υδατικών πόρων σε επίπεδο βιομηχανίας, η οποία τίθεται σε προτεραιότητα ως μείζονος σημασίας. Με αυτό τον τρόπο οι υπόγειοι υδροφορείς λειτουργούν ως μεγάλες δεξαμενές που διαχειρίζονται το πλεόνασμα υδατικών πόρων (που πιθανώς έχει προκύψει από προηγούμενους μήνες) ως προς την κατώτατη στάθμη που έχει οριστεί σε αυτούς. Έτσι η αρχικά φαινομενικά παράδοξη ιεράρχηση του ταμιευτήρα στη δεύτερη θέση είναι η πλέον λογική.

Επομένως η πληροφορία που λαμβάνει ο διαχειριστής είναι το μέγιστο ποσό νερού που μπορεί να αντλήσει από ένα ΥΥΣ δίχως να το υποβιβάσει. Να τονιστεί πως στην πράξη ο διαχειριστής θα έχει τη δυνατότητα να αντλήσει περαιτέρω του προτεινόμενου από το μοντέλο, εάν ο ίδιος βάσει προβλέψεών του γνωρίζει εκ των προτέρων πως με κάποιο τρόπο αυτό θα αναπληρωθεί τον επικείμενο καιρό.

Ως αποτέλεσμα της παραπάνω ιεράρχησης, το πρόγραμμα επιλύει το μοντέλο - γράφο στο σύνολό του, υπό την μορφή πινάκων, και βρίσκει τις βέλτιστες ενεργειακά διαδρομές για την ικανοποίηση της πλειονότητας των στόχων, υπό ένα βιώσιμο καθεστώς ως προς την διατήρηση και αποθήκευση υδατικών πόρων.

Ειδικότερα αναφέρονται οι ακόλουθες απλοποιητικές τροποποιήσεις κατά τη μοντελοποίηση του δικτύου επί του προγράμματος ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ:

- Η συνολική βιομηχανική ζήτηση συγκεντρώθηκε σε έναν και μόνο κόμβο και αφορά την ευρύτερη περιοχή Παιανίας – Κορωπίου (ΒΙΟΠΑ –ΒΙΟΠΕ).
- Η συνολική αρδευτική ζήτηση κατά μήκος του συστήματος συγκεντρώθηκε σε οκτώ (8) κόμβους που αντιστοιχούν στις τέσσερις (4) προτεινόμενες εκτάσεις αρδεύσεων του μοντέλου (βλ. Ενότητα 6.3).
- Η ζήτηση νερού για αστική – περιαστική χρήση των περιοχών ομαδοποιήθηκε σε συστάδες περιοχών (Regions) για την σχηματική απλοποίηση του μοντέλου και τέθηκε σε τελευταία προτεραιότητα ως ήσσονος σημασίας και όντας στην εγγύτητα ήδη υπαρχόντων δικτύων ύδρευσης. (βλ. Πίνακα 2-1).
- Στο ΥΥΣ - ταμιευτήρα Μαραθώνα, ορίστηκε η διατήρηση ενός μηνιαία μεταβαλλόμενου στόχου ελάχιστου αποθέματος ασφαλείας, ως αντιμετώπιση της κακής αρχικά ποσοτικής του κατάστασης. Στο ΥΥΣ - ταμιευτήρα Β. Μεσογείων και Παιανίας Κορωπίου, τέθηκε σταθερό κατώτατο όριο στάθμης. Στο μοντέλο εξασφαλίζεται η μη «υπερχείλιση» των υπόγειων ταμιευτήρων ως ντετερμινιστικά ορισμένο πάνω όριο.

Τέλος για την λειτουργία του μοντέλου αναφέρεται χαρακτηριστικά πως οι επιμέρους πηγές νερού για την κάθε χρήση είναι:

- ❖ Βιομηχανία: απευθείας δίκτυο, άντληση από ΥΥΣ.
- ❖ Αρδεύσεις: απευθείας δίκτυο, άντληση από ΥΥΣ.
- ❖ Αστική - Περιαστική: απευθείας δίκτυο, μονάδα sewer mining.

#### 6.2.3. Συγκεντρωμένες Παραδοχές μοντέλου – Παραδοχές Αντλιών – Σχεδιασμός

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρατίθενται οι κυριότερες παραδοχές που έγιναν για την δημιουργία του τελικού μοντέλου. Στις περισσότερες παραδοχές έχει γίνει αναφορά στα προηγούμενα κεφάλαια, ενώ θα συγκαταλεχθούν και κάποιες καινούριες που αφορούν τις αντλήσεις και τις διαφορές στις υποδομές. Τα κύρια σημεία και οι παραδοχές παρουσιάζονται ομαδοποιημένα ως εξής:

##### Γενικά:

- Βασικός άξονας και δεδομένο της εργασίας ήταν το *masterplan* - «Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών Των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής»
- Το εν λόγω μοντέλο που αναπτύσσεται δεν έχει σχεδιαστεί όντας πιστή αναπαράσταση των σχετικών μελετών της ΕΥΔΑΠ. Διαφοροποιείται σε πληθώρα σημείων και παραδοχών.
- Σε συνεργασία με την ΕΥΔΑΠ συμφωνήθηκε να παραλειφθούν από αυτό οι περιοχές: βορείως του Μαραθώνα (Βαρνάβα, Γραμματικό, Βόθων-Καλέτζι), τα Δικαστικά Εργατικές Κατοικίες καθώς επίσης και περιοχές βορείως της λεωφόρου Μαραθώνος (ήτοι Β. Παλλήνη, Γέρακας, Ανθούσα) οι οποίες θα αποχετεύονται στην Ψυττάλεια μέσω της λεωφ. Μαραθώνος – Μεσογείων. Τέλος η ΚΕΛ Λαυρίου και Κερατέας δεν συμπεριλαμβάνονται στα σχέδια της επαναχρησιμοποίησης.

##### Εξέλιξη Πληθυσμού:

- Έγιναν δύο προβολές, μία συντηρητική υιοθετώντας την μεθοδολογία συνδυασμού μεθόδων με απλούς Μ.Ο. που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 2 και μία που προσεγγίζει τις εκτιμήσεις της ΕΥΔΑΠ.
- Η εξέλιξη στα ενδιάμεσα χρόνια του σημείου έναρξης και πρόβλεψης λήφθηκε ως γραμμική.

### Παροχή λυμάτων:

- Η χρονοσειρά κατανάλωσης νερού από το ΜΕΝ Κιούρκων, Θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική ως προς την συμπεριφορά του μέσου καταναλωτή στους οικισμούς της Αν. Αττικής για τον προσδιορισμό της παροχής λυμάτων.
- Πρέπει να τονιστεί ότι οι ποσότητες αυτές δεν είναι εξασφαλισμένες και εξαρτώνται από την ολοκλήρωση του έργου, την αναμενόμενη αύξηση του πληθυσμού και τις συνδέσεις στο δίκτυο αποχέτευσης. (απορροής λυμάτων στο δίκτυο).
- Γενικά, οι αγωγοί ακαθάρτων μεταφέρουν τα αστικά λύματα και ορισμένες επιπλέον ποσότητες υπογείου νερού και επιφανειακής απορροής που εισέρχονται σε αυτούς (παρασιτικές εισροές). Στην προκειμένη περίπτωση τα υπό σχεδιασμό δίκτυα θεωρήθηκαν κλειστού τύπου (χωρίς καθόλου παρασιτικές εισροές) και οι τελευταίες παροχές αγνοήθηκαν.

### Ποιότητα λυμάτων:

- Έγινε η παραδοχή πλήρως ανεπτυγμένων μονάδων ΚΕΛ για την εξυπηρέτηση της ανατολικής Αττικής, που όπως έχει προαναφερθεί παράγουν λύματα ικανά για απεριόριστη άρδευση, αστική – περιαστική χρήση, βιομηχανική χρήση και εμπλουτισμό ΥΥΣ.
- Πρέπει να επισημανθεί πως απαιτούνται επιπρόσθετα έργα στο ΚΕΛ Δήμου Μαρκόπουλου και Μαραθώνα ώστε να εξασφαλίζεται η «προχωρημένη επεξεργασία» του Πίνακα 3 του Παραρτήματος Ι της ΚΥΑ 145116/2011.

### Άρδευση:

- Στη δεδομένη μελέτη οι εξυπηρετηθείσες εκτάσεις δεν υπολογίζονται ως σταθερές αργιολι ποσότητες, αλλά αποτελούν μεταβλητή που καθορίζει την τελική απόδοση του συστήματος. Οι αρχικές εκτιμήσεις για τις αρδευθείσες εκτάσεις λήφθηκαν αυτούσιες όπως θα αναφερθούν στα επόμενα κεφάλαια, βάσει της πρότασης ΕΥΔΑΠ Α.Ε.
- Οι καλλιέργειες για τις οποίες υπολογίστηκαν οι αρδευτικές ανάγκες προέκυψαν σύμφωνα με τις καταμετρήσεις των καλλιεργειών (ΣΔΛΑΠ, 2009-2015).
- Ακολουθείται η ίδια, με την προτεινόμενη, στρατηγική ανάπτυξης του αρδευτικού δικτύου σε δύο φάσεις (Α και Β). Στο πέρας της Α φάσης (20 έτη) προβλέπεται επέκταση των αρδευτικών δικτύων (Β φάση έργων), λόγω της αυξημένης παροχτευτικότητας λυμάτων με την ανάπτυξη του πληθυσμού.
- Ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης η οποία εφαρμόζεται, ισχύουν διάφοροι βαθμοί απόδοσης των αρδεύσεων. Ο βαθμός απόδοσης για στάγδην άρδευση (η οποία προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί στην περιοχή) είναι 90%. Οι απώλειες νερού κατά τη μεταφορά του με κλειστούς αγωγούς εκτιμώνται σε 5%. Ο βαθμός απόδοσης της

μεθόδου άρδευσης και οι απώλειες μεταφοράς λαμβάνονται υπόψη από κοινού διαιρώντας τις απαιτήσεις σε νερό με την αντίστοιχη απόδοση/απώλεια.

- Ακολουθήθηκε η εμπειρική μέθοδος Blaney – Criddle και εφαρμόστηκαν βάσει νομοθεσίας τα ανώτατα όρια άρδευσης.
- Γενικά γίνεται η παραδοχή ενός πλήρως ανεπτυγμένου συστήματος επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων όσον αφορά σε επίπεδο υποδομών. Επομένως ο χρόνος και τα στάδια κατασκευής της επέκτασης και ολοκλήρωσης του δικτύου που θα εξαρτηθεί αφ' ενός από την προθυμία των καλλιεργητών να αρδεύσουν τις υπάρχουσες γεωργικές εκτάσεις και αφ' ετέρου από τις διαθέσιμες παροχές επεξεργασμένων λυμάτων, δεν θα ληφθούν υπόψη. Στην πράξη, μέχρι την ολοκλήρωση των έργων η υπόψη γεωργική έκταση θα μπορεί να αρδεύεται συμπληρωματικά αλλά όχι αποκλειστικά με επεξεργασμένες εκροές.

#### Εμπλουτισμός ΥΥΣ:

- Το ισοζύγιο της φυσικής εισροής (βροχόπτωση, επικοινωνία με άλλα ΥΥΣ) και απορροής τους είναι μηδενικό. Συνεπώς τα συστήματα βρίσκονται σε φυσική ισορροπία και μόνη πηγή διατάραξης τους αποτελούν οι ανθρώπινες απολήψεις προς κάλυψη των ανάλογων αναγκών.
- Υπόθεση φρεάτιας υπόγειας υδροφορίας (Unconfined Aquifer) με επίπεδη ελεύθερη επιφάνεια.
- Χαρακτηριστικά επιφάνειας και specific yield σταθέρα καθόλη την έκταση και ύψος τους.
- Χρήση της μεθόδου Water table fluctuation κατά Healy.

#### Αστική – Περιαστική Χρήση:

- Προτείνεται και προβλέπεται Αστική - Περιαστική χρήση σε όλες τις περιοχές. - (άρδευση αστικού-περιαστικού πρασίνου, πλούσιμο δρόμων, πεζοδρομίων, πλατειών, πάρκα, αμαξοστάσια, πυρόσβεση) – είτε αυτές εξυπηρετούνται από απευθείας δίκτυο, λόγω εγγύτητάς στους σε WWT, είτε εξυπηρετούνται αποκεντρωμένα από τοπικές μονάδες sewer mining.
- Οι ανάγκες εκτιμήθηκαν βάσει της εμπειρικής τιμής 50 L/(d ημ.) και της υπερετήσιας μεταβολής του πληθυσμού.
- Για να είναι πιο ρεαλιστική η παραδοχή της χρονοσειράς θεωρήθηκε βαθμιδωτή ,με υστέρηση ως προς την πληθυσμιακή ανάπτυξη 10-ετίας.

#### Βιομηχανική χρήση:

- Από την πρώτη αναθέωση ΣΔΛΑΠ 2015-2021 έχουμε για το ΥΔ06 Αττικής το σύνολο δεδομένων των μεγάλων βιομηχανιών, την έδρα τους, καθώς επίσης και τη συνολική τους κατανάλωση σε καθάρο και υπόγειο νερό. Μη λαμβάνοντας υπόψη το είδος

(παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής στο χώρο) εκτιμάται πως περίπου 20% της βιομηχανικής – βιοτεχνικής δύναμης της Αττικής, άρα και της κατανάλωσης νερού βρίσκεται στην εν λόγω περιοχή.

#### Παραδοχές επί του λογισμικού ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ:

- Στους κλάδους δεν υπάρχει περιορισμός παροχτευτικότητας, ούτε απώλειες πέραν από αυτές που θεωρήθηκαν συγκεντρωτικά στα δίκτυα άρδευσης. Επομένως το μοντέλο αντιμετωπίζεται ως ένα κλειστό σύστημα και είναι demand driven (δηλ. οι λύσεις του προβλήματος έχουν άμεση εξάρτηση από τις τιμές που θα ορισθούν στους κόμβους ανάγκης) δίνοντας αποτελέσματα για τις βέλτιστες ροές ακάθαρτου και επεξεργασμένου ύδατος προς κάλυψη των αναγκών.
- Η συνολική βιομηχανική ζήτηση συγκεντρώθηκε σε έναν και μόνο κόμβο και αφορά την ευρύτερη περιοχή Παιανίας – Κορωπίου (ΒΙΟΠΑ –ΒΙΟΠΕ).
- Η συνολική αρδευτική ζήτηση κατά μήκος του συστήματος συγκεντρώθηκε σε οκτώ (8) κόμβους που αντιστοιχούν στις τέσσερις (4) προτεινόμενες εκτάσεις αρδεύσεων του μοντέλου.
- Η ζήτηση νερού για αστική – περιαστική χρήση των περιοχών ομαδοποιήθηκε σε συστάδες περιοχών (Regions) για την σχηματική απλοποίηση του μοντέλου και τέθηκε σε τελευταία προτεραιότητα ως ήσσονος σημασίας και όντας στην εγγύτητα ήδηυπαρχόντων δικτύων ύδρευσης.
- Στο ΥΥΣ - ταμιευτήρα Μαραθώνα, ορίστηκε η διατήρηση ενός μηνιαία μεταβαλλόμενου στόχου ελάχιστου αποθέματος ασφαλείας, ως προς απάντηση της κακής αρχικά ποσοτικής του κατάστασης (βλ.αρχή Παραρτήματος Ι). Στο ΥΥΣ - ταμιευτήρα Β. Μεσογείων και Παιανίας Κορωπίου, τέθηκε σταθερό κατώτατο όριο στάθμης. Στο μοντέλο εξασφαλίζεται η μη «υπερχείλιση» των υπόγειων ταμιευτήρων ως ντετερμινιστικά ορισμένο πάνω όριο.
- Οι δεξαμενές/φρεάτια μοιρασμού του επεξεργασμένου νερού αναφέρεται πως είναι ημερήσιας ρύθμισης και αναπαρίστανται στο μηνιαίο μοντέλο ως απλοί κόμβοι.

#### Αντλήσεις:

Πέραν των προαναφερθέντων παραδοχών θα αναφερθεί επιγραμματικά η αντιμετώπιση των αντλιών, στο πρόγραμμα του ΥΔΡΟΝΟΜΕΑ, ως βασικό συστατικό μέρος του αναπτυσσόμενου μοντέλου. Γενικότερα υπενθυμίζεται πως το μοντέλο επιδιώκει την επίτευξη της κάλυψης των αναγκών από επεξεργασμένο νερό καθώς και της ενεργειακής κατανάλωσης για την επίτευξη των στόχων του, σε βάθος χρόνου - 50 ετών.

Τα δεδομένα – στοιχεία των αντλήσεων ήταν ελλιπή. Οι κύριες πληροφορίες αφορούσαν:

- i. Τον αριθμό των αντλιών συμπεριλαμβανομένων των εφεδρικών (1+1, 2+1, 3+1, 5+1 κ.ο.κ.)



- ii. Την ονομαστική παροχαραυτικότηα
- iii. Το μανομετρικό ύψος άντλησης.

Σε πολλές περιπτώσεις υπήρχε έλλειψη τόσο στον υπολογισμό των απωλειών και κατ' επέκταση στο μανομετρικό ύψος, όσο και στην απόδοση των αντλητικών συγκροτημάτων που δεν αναφερόταν παρά λιγοστές φορές. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και δεδομένης της ανάγκης μιας συλλογικής (από κοινού) αντιμετώπισης τους, έγιναν οι παρακάτω παραδοχές, οι οποίες επηρεάζουν και την τελική ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος:

- Θεώρηση πως το δίκτυο έχει σχεδιασθεί ορθολογικά. Επομένως οι ονομαστικές παροχές των αντλιών του δικτύου αποτελούν ένδειξη του εξυπηρετούμενου πληθυσμού των οικισμών.
- Παραδοχή πως οι αντλίες είναι λειτουργίας δύο καταστάσεων (on/off) και έχουν προσωρινά φρεάτια αποθήκευσης των λυμάτων. Λειτουργούν σε συγκεκριμένη παροχή και με απόδοση  $\eta=0.8$  συνεπώς με παράμετρο  $\psi=0.35$ . Αφού:

$$E = \frac{\gamma V H_{\mu}}{3600n} = \frac{\gamma V H(1 + a)}{3600n} \quad (10)$$

Όπου:

*E, η ενέργεια κατνάλωσης του αντλητικού συστήματος*  
*γ, το ειδικό βάρος του νερού*  
*V, ο όγκος του αντλούμενου νερού*  
*H<sub>μ</sub>, το μανομετρικό ύψος*  
*a, ένα ποσοστό απωλειών*  
*n, η απόδοση της αντλίας*

Για την τιμή  $\psi$  ισχύει:

$$\psi = \frac{\gamma(1 + a)}{3600n} \leftrightarrow E = \psi \cdot V \cdot H \quad (11)$$

Και

$$\psi_{min} = \frac{\gamma}{3600n} = 0.2725 \quad (12)$$

- Για όσες αντλίες δεν υπήρχε αναλυτική πληροφορία μανομετρικού ύψους, λήφθηκε υσομετρική διαφορά  $\Delta H$  από τους ορθοφωτοχάρτες Google Earth και θεωρήθηκαν γραμμικές απώλειες ίσες με 1% για δεδομένο μήκος κατάθλιψης.



- Για τις αντλήσεις τεχνητού εμπλουτισμού ΥΥΣ Παιανίας - Κορωπίου, και αυτές κατάντη των μονάδων sewer mining δημιουργήθηκαν προφίλ εδάφους της εξυπηρετούμενης κάθε φορά περιοχής και έγιναν απλοποιητικές παραδοχές ως προς το ύψος άντλησης. (π.χ. μέσο υψόμετρο).
- Όσον αφορά στις αντλήσεις λόγω γεώτρησης, λήφθηκε σταθερό μανομετρικό ύψος άντλησης ίσο με 40 m.

Αναφορικά με το ενεργειακό κόστος των WWT και των μονάδων Sewer mining, θεωρείται κοινό και παραβλέπεται από το μοντέλο, ως ένα σταθερό κόστος μετατροπής του λύματος σε επεξεργασμένο επαναχρησιμοποιήσιμο νερό.

Τέλος για την ανάπτυξη του τελικού δικτύου όπως αυτό παρουσιάστηκε στην Εικόνα 6-2, υπήρξε επιπρόσθετος σχεδιασμός δικτύου και λογικών συνδέσεων. Αυτές οι λογικές παραδοχές σχεδιασμού είναι οι εξής:

- i. Μερικές δεξαμενές άρδευσης χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα και για αποθήκευση νερού για αστική και περιαστική χρήση (φρ. άρδευσης/αστικής Μαρκόπουλου, φρ. άρδευσης Σπάτων/Αστικής Αρτέμιδος).
- ii. Προτείνονται καινούριες κατασκευές (φρ. αστικής Ραφήνας, φρ. Κορωπίου, φρ. αστικής Καλυβίων, φρ. Πόρτο Ράφτη).
- iii. Προτείνονται περιοχές εξυπηρέτησης αποκλειστικά από μονάδες Sewer mining.
- iv. Κάποια φρεάτια προσωρινής αποθήκευσης επεξεργασμένου ύδατος παρέμειναν ως έχουν βάσει μελετών ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (φρ. άρδευσης Καλυβίων, φρ. Άρδευσης Παιανίας – Κορωπίου).
- v. Πρόταση διασύνδεσης/ ένωσης των επιμέρους αποχετευτικών δικτύων που αναλογούν στα επί μέρους ΚΕΛ (Stand Alone vs Connected βλ. επόμενη Ενότητα). Έτσι σε περίπτωση περίσσειας λυμάτων σε μια περιοχή, αυτά μπορούν να επεξεργαστούν και να διατεθούν από μία διαφορετική από την αρχικά προβλεπόμενη ΚΕΛ, (αν υπάρχει η ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση) σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή.

### 6.3. Σενάρια

Η τελική ανάλυση βασίζεται σε μία πληθώρα σεναρίων προσομοίωσης του ανθρωπογενούς υδροσυστήματος, με χρήση του λογισμικού Υδρονομέας. Τα σενάρια αυτά αναφέρονται σε μία μελλοντική πλήρως ανεπτυγμένη διάταξη του συστήματος, στο οποίο τίθενται οι ισχύοντες περιορισμοί και χρήσεις νερού, καθώς λαμβάνονται υπόψη και υποθετικές συνθήκες που τις επηρεάζουν.

Τα σενάρια αφορούν τόσο την εφαρμογή διαφορετικών διατάξεων και συνδεσιμότητας του υδροσυστήματος (ήτοι την επιθυμία λειτουργίας των τοπικών μονάδων sewer mining προς εξυπηρέτηση απομακρυσμένων από τα ΚΕΛ περιοχών, καθώς επίσης και τη δυνατότητα σύνδεσης των μεταξύ τους ανεξάρτητων δικτύων), όσο και την διαφοροποίηση σε ότι αφορά τα δεδομένα προσφοράς και ζήτησης των εν λόγω επεξεργασμένων υδατικών πόρων.

Αναφορικά με τις διάφορες διατάξεις που εξετάστηκαν, γίνεται λόγος για τέσσερα (4) σενάρια:

- **Stand Alone System (SA)**, όπου κάθε αποχετευτικό δίκτυο εξυπηρετεί αποκλειστικά τις περιοχές του δικού του συστήματος
- **Connected System (C)**, όπου τίθενται εν λειτουργία κεντρικοί αγωγοί σύνδεσης των αποχετευτικών δικτύων. Έτσι για παράδειγμα τα λύματα μίας περιοχής μπορούν μετά την επεξεργασία να αποτελέσουν υδατικό πόρο για τις χρήσεις μίας άλλης.
- **Stand Alone System + Sewer Mining (SA+S)**, όμοιο με αυτό της πρώτης διάταξης, με τη διαφορά πως τίθενται σε λειτουργία οι τοπικές μονάδες επεξεργασίας λυμάτων καθώς επίσης συνυπολογίζονται και οι ανάλογες ανάγκες σε νερό των εξυπηρετούμενων από αυτές τις μονάδες περιοχών.
- **Connected System + Sewer Mining (C+S)**, ο συνδυασμός της δεύτερης και τρίτης τροποποίησης, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, στο αρχικό σύστημα.

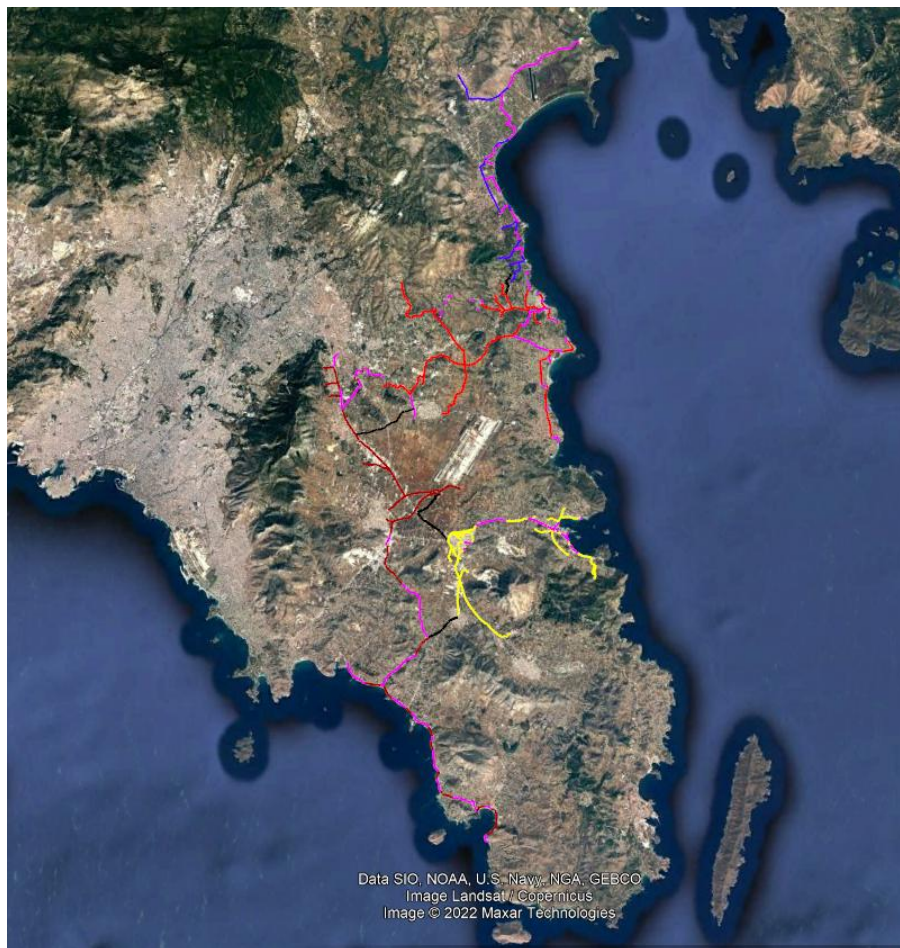
Είναι προφανές πως η παραπάνω θεώρηση δημιούργησε δύο ομάδες (Group) σεναρίων. Μία ομάδα που δεν συμπεριλαμβάνει τη ζήτηση σε ανακτημένο νερό των περιοχών που εξυπηρετούνται από Sewer mining και σε μία που το περιλαμβάνει. Τα δύο “Scenario Group” διακρίνονται στο Σχήμα 6-1, αθροιστικά με τις υπόλοιπες χρήσεις (βιομηχανίας και άρδευσης).

Οι μελετώμενες ενώσεις δικτύων (connections) διακρίνονται με μαύρες γραμμές στο χαρτογραφικό υλικό Google Earth στην παρακάτω Εικόνα 6-8 και αφορούν σε τέσσερις αμφίδρομες ενώσεις:

- Νέος Βουτζάς – Ραφήνα και αντίστροφα.
- Παιανίας – Σπάτων και αντίστροφα.
- Κορωπίου – Μαρκόπουλου και αντίστροφα.
- Σαρωνικού – Καλυβίων Θορικού.

Σε ότι αφορά τα σενάρια των πιέσεων – ζητήσεων επεξεργασμένων υδατικών πόρων, τονίζεται πως η ανάγκη σε βιομηχανία και αστική – περιαστική χρήση παρέμειναν ως υπολογίσθηκαν αρχικώς. Για την άρδευση λαμβάνεται υπόψη όπως έχει προαναφερθεί μία σεναριακή αντιμετώπισή της. Συνολικά μελετώνται **έξι (6) σενάρια**. Ως βασικό σενάριο λαμβάνεται αυτό των αρχικά προτεινόμενων εκτάσεων άρδευσης από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε., ενώ ταυτόχρονα εξετάζεται ένα σύνολο σεναρίων ζήτησης για άρδευση (60 – 80 – 120 – 140 – 200 % του βασικού σεναρίου). Τα διάφορα σενάρια αποτελούν έκφραση, τόσο της αρδεύσιμης έκτασης, όσο και της αλλαγής πολιτικής στα είδη των φυτών που καλλιεργούνται σήμερα (αναδιάρθρωση φυτικής καλλιέργειας). Παραδείγματος χάρη το σενάριο 200% της αρχικής ζήτησης, μπορεί να

εκφραστεί είτε άμεσα μέσω ενός διπλασιασμού των εκτάσεων εάν αυτό είναι δυνατό, είτε μέσω μίας στροφής σε πιο υδροβόρες καλλιέργειες, ή τέλος μέσω μίας εφαρμογής και των δύο.

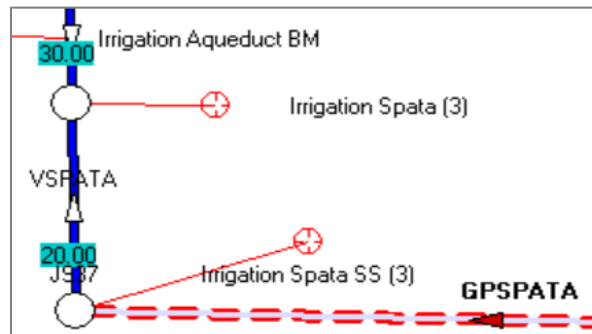


Εικόνα 6-8: Κεντρικοί αποχετευτικοί αγωγοί, καταθλιπτικοί αγωγοί και πιθανές διασυνδέσεις

Ένας από τους αρκετά σημαντικούς παράγοντες για να επιτύχει οποιοδήποτε πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης νερού, είναι η αποδοχή του νερού της τοπικής κοινωνίας, η οποία θα το επαναχρησιμοποιεί. Για την αγροτική χρήση λαμβάνεται υπόψη πως τίθεται ζήτημα κοινωνικής αποδοχής ως προς την άρδευση με επεξεργασμένο νερό. Ένα σύνολο παραμέτρων επηρεάζουν την αποδοχή του κοινού στην επαναχρησιμοποίηση νερού και τον τρόπο με τον οποίο αποδέχεται το κοινό την επαναχρησιμοποίηση του. Οι παράγοντες ποικίλουν από τον τρόπο επαναχρησιμοποίησης (πόσιμο ή μη), την τιμολογιακή του αντιμετώπιση, το επίπεδο μόρφωσης και ενημέρωσης του κοινού, ο φόβος της ασθένειας από παθογόνους μικροοργανισμούς έως και η αίσθηση κινδύνου και αηδίας. Ως εκ τούτου το δίκτυο σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει ένα εύρος σεναρίων ως προς την επαναχρησιμοποίηση του για άρδευση. Συνολικά δημιουργούνται **έξι (6) σενάρια** κοινωνικής αποδοχής από το ιδανικό 100% της αποδοχής του, κατά 10 % έως και ένα 50-50% που θεωρείται πλέον αποδεκτό, ώστε να αξίζει η αρχική επένδυση. Σε κάθε περίπτωση το ζήτημα της κοινωνικής αποδοχής είναι πολυπαραγοντικό και δεν επιδιώκεται σε

αυτό το επίπεδο να γίνει μεγαλύτερη εμβάθυνση, δεχόμεστε επομένως την προαναφερθείσα απλοποίηση

Το παραπάνω εξηγεί την μοντελοποίηση των τεσσάρων (4) εκτάσεων αρδεύσεων σε οκτώ (8) κόμβους. Η τυπική διάταξη που παρουσιάζεται (Εικόνα 6-9) επιτρέπει στην ομάδα αγροτών που αποδέχονται την χρήση ανακτημένου νερού να λαμβάνουν υδατικούς πόρους, τόσο απευθείας από το δίκτυο επαναχρησιμοποίησης όσο και από τα ΥΥΣ σε ειδική περίπτωση, σε αντιδιαστολή με την μερίδα εκείνων που αποκλειστικά αντλούν από τους υπεδάφιους υδατικούς πόρους.



Εικόνα 6-9: Τυπική διάταξη αρδεύσεων στο μοντέλο του προγράμματος ΥΔΡΟΝΟΜΕΑΣ

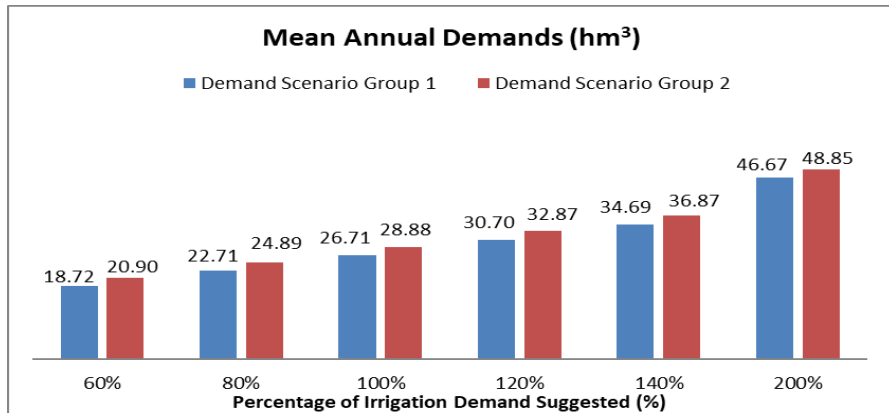
Συνολικά επομένως κατασκευάστηκαν  $6 \times 6 = 36$  σενάρια για την ζήτηση των αρδεύσεων.

Τέλος, και πολύ σημαντικό, όπως θα παρουσιασθεί στα επόμενα κεφάλαια, εξετάζονται δύο (2) σενάρια για την είσοδο – των παροχών λυμάτων στο δίκτυο. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου υδροσυστήματος τα λύματα αποτελούν την κύρια και μόνη παροχή υδατικού πόρου, η εκτίμηση της οποίας εξαρτάται άμεσα από τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό και την υπερετήσια μεταβολή του σε βάθος χρόνου πενήντα (50) ετών, η έκβαση της οποίας είναι πλέον αβέβαιη. Σε κάθε περίπτωση υιοθετείται ένα συντηρητικό σενάριο σύμφωνα με την εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού όπως αυτή περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.2, και ένα σενάριο που προσεγγίζει ικανοποιητικά τις εκτιμήσεις της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Συγκαταλέγοντας τα παραπάνω, συνοπτικά εξετάστηκαν τα παρακάτω σενάρια-πίεσεις:

- Τέσσερα (4) διαφορετικά σενάρια συνδεσιμότητας (Stand Alone System, Connected, Stand Alone + Sewer minings, Connected + Sewer minings).
- Έξι (6) διαφορετικά σενάρια πιέσεων (60, 80, 100, 120, 140, 200 % προτεινόμενης άρδευσης ΕΥΔΑΠ).
- Έξι (6) διαφορετικά σενάρια κοινωνικής αποδοχής (100-0 έως 50-50).
- Δύο (2) διαφορετικά σενάρια εισόδου λυμάτων (conservative projection vs EYDAP's projection).

Συνολικά έγιναν 288 προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αυτών παρατίθενται στο επόμενο Κεφάλαιο. Στο Σχήμα 6-1 φαίνονται οι συνολικές μέσες ετήσιες ανάγκες νερού σε hm<sup>3</sup> για την προαναφερθείσα διάρθρωση σεναρίων.



Σχήμα 6-1: Μέσες ετήσιες ανάγκες επεξεργασμένων λυμάτων υπό σεναριακό καθεστώς διαφορετικών πιέσεων και λειτουργίας ή μη μονάδων Sewer mining



Εικόνα 6-10: Σενάρια Προσομοίωσης

## **7. Αποτελέσματα**

### **7.1. Γενικά**

Στη παρούσα ενότητα, θα γίνει προσπάθεια να συγκεντρωθούν τα κυριότερα από τα αποτελέσματα μίας εκτενούς μελέτης και ενός μεγάλου προσομοιωμένου συστήματος το οποίο έχει αναλυθεί επαρκώς και με σαφήνεια στα προηγούμενα Κεφάλαια.

Στην επόμενη παράγραφο θα αναφερθούν εκείνα τα αποτελέσματα που θεωρήθηκαν πως μπορούν να αποτυπώσουν και να αποδώσουν, με ικανοποιητικό τρόπο, την επίδοση και απόδοση του υδροσυστήματος επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης λυμάτων της Αν. Αττικής, προς επίτευξη του αρχικού σκοπού της μελέτης.

Τα κύρια αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν (i) την κάλυψη των αναγκών για ανακτημένο νερό, (ii) την ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος και τέλος (iii) τον επιμερισμό των ενεργειακών καταναλώσεων στις δεδομένες χρήσεις. Η κάλυψη (coverage) των αναγκών υπολογίζεται σε καθαρό ποσοστό (%) βάσει του υπολογιζόμενου ελλείματος κάθε μήνα και έχει ως:

$$Coverage = 1 - \frac{Deficit}{Demand} \quad (13)$$

Όσον αφορά τα ενεργειακά αποτελέσματα, παρουσιάζονται σε μονάδα GWh. Όλα τα αποτελέσματα αναφέρονται σε μέσες ετήσιες τιμές 50-ετίας και υπολογίζονται βάσει του σεναριακού καθεστώτος που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα. Τα αποτελέσματα, τόσο για τις δύο διαφορετικές εκτιμήσεις εισόδου (Conservative vs EYDAP) όσο και για τις δύο ομάδες αναγκών (Demand Group 1,2) βρίσκονται στην επόμενη υποενότητα.

Τα ερωτήματα στα οποία μπορεί να δώσει απάντηση η παρούσα εργασία, μεταξύ άλλων είναι τα κάτωθι:

- **Ποια είναι η μέγιστη αξιοπιστία – κάλυψη, που μπορεί να επιτευχθεί για δεδομένες ανάγκες επεξεργασμένων λυμάτων στην Αν. Αττική, και για ποια κατανάλωση ενέργειας (για αντλήσεις);**
- **Ποια είναι η μέγιστη ζήτηση που μπορεί να ικανοποιήσει το υδροδοτικό σύστημα, για δεδομένη αξιοπιστία, και για ποια κατανάλωση ενέργειας;**

- Ποια από τα νέα έργα και επεμβάσεις – συνδέσεων και μονάδων Sewer mining, που έχουν υποτεθεί βελτιώνουν περισσότερο την επίδοση του υδροσυστήματος; Πώς αυτά επιδρούν μεμονωμένα και συνδυαστικά;
- Δεδομένης μίας επιθυμητής ενεργειακής κατανάλωσης, τι ανάγκες - ζητήσεις μπορούν να καλυφθούν και ποιο είναι το επίπεδο αξιοπιστίας που της αναλογεί;
- Πώς η κοινωνική αποδοχή του ανακτημένου ύδατος επηρεάζει τόσο σε όρους ενέργειας όσο και σε όρους αξιοπιστίας – κάλυψης;
- Πώς επιμερίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας για τις διάφορες ανάγκες, τόσο ανάντη όσο και κατόντη της επεξεργασίας;
- Ποια δίκτυα και ΚΕΛ δέχονται τα πλέον μεγαλύτερα φορτία;

Πίνακας 7-1: Σύνοψη éρωτημάτων που απαντά η παρούσα εργασία

A/A	Τα ερωτήματα που απαντά η παρούσα εργασία, μεταξύ άλλων είναι τα κάτωθι:
1	Ποια είναι η μέγιστη αξιοπιστία – κάλυψη, που μπορεί να επιτευχθεί για δεδομένες ανάγκες επεξεργασμένων λυμάτων στην Αν. Αττική, και για ποια κατανάλωση ενέργειας (για αντλήσεις);
2	Ποια είναι η μέγιστη ζήτηση που μπορεί να ικανοποιήσει το υδροδοτικό σύστημα, για δεδομένη αξιοπιστία, και για ποια κατανάλωση ενέργειας;
3	Ποια από τα νέα έργα και επεμβάσεις – συνδέσεων και μονάδων Sewer mining, που έχουν υποτεθεί βελτιώνουν περισσότερο την επίδοση του υδροσυστήματος; Πώς αυτά επιδρούν μεμονωμένα και συνδυαστικά;
4	Δεδομένης μίας επιθυμητής ενεργειακής κατανάλωσης, τι ανάγκες - ζητήσεις μπορούν να καλυφθούν και ποιο είναι το επίπεδο αξιοπιστίας που της αναλογεί;
5	Πώς η κοινωνική αποδοχή του ανακτημένου ύδατος επηρεάζει τόσο σε όρους ενέργειας όσο και σε όρους αξιοπιστίας – κάλυψης;
6	Πώς επιμερίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας για τις διάφορες ανάγκες, τόσο ανάντη όσο και κατόντη της επεξεργασίας;
7	Ποια δίκτυα και ΚΕΛ δέχονται τα πλέον μεγαλύτερα φορτία;

Οι αναλύσεις χωρίζονται σε δύο ομάδες σεναρίων. Η **ομάδα σεναρίων Α** αναφέρεται στην προσομοίωση του συστήματος, στο οποίο τίθεται ως είσοδος λυμάτων αυτή που απαντά στην συντηρητική εξέλιξη του πληθυσμού. Η **ομάδα σεναρίων Β** αφορά στο υφιστάμενο σύστημα με είσοδο πόρων – λυμάτων που προσεγγίζει την υπόθεση της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Σε κάθε μία από της ομάδες γίνονται αναλύσεις για δύο συστάδες αναγκών (Demand Groups), για τα σενάρια κοινωνικής αποδοχής, και τις διάφορες διατάξεις όπως αυτές έχουν αναπτυχθεί.

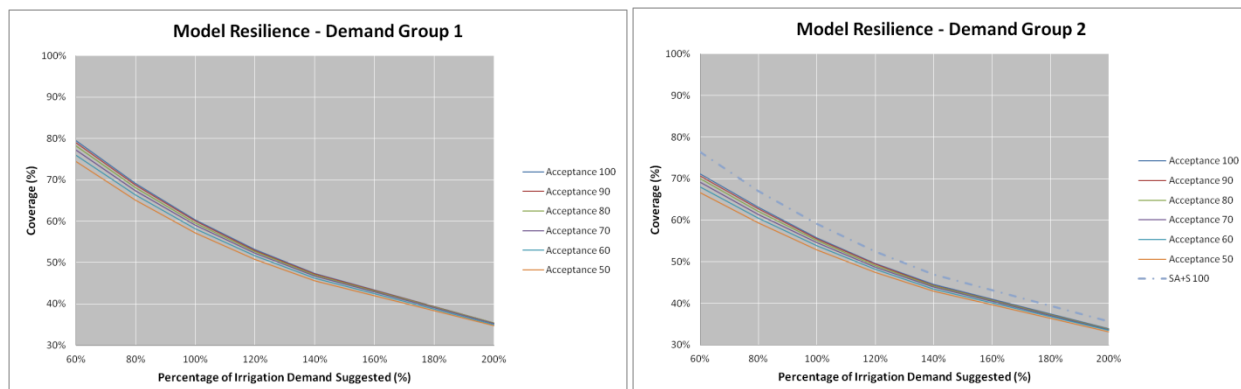
## 7.2. Σύνοψη αποτελεσμάτων

### 7.2.1. Ομάδα Σεναρίων Α – Συντηρητική Προβολή (Conservative Projection)

Τα αποτελέσματα των “Demand Group (1,2)” παραθέτονται μαζί για λόγους σύγκρισης, όπου αυτό κρίνεται. Στην πρώτη ομάδα σεναρίων, που αφορά την συντηρητική πρόβλεψη, η



μεθοδολογία της οποίας αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 2, παρατίθεται η επίδοση του υφιστάμενου συστήματος για τα παρακάτω σενάρια:



Σχήμα 7-1: Ανθεκτικότητα (Resilience) συνολικού μοντέλου – Α

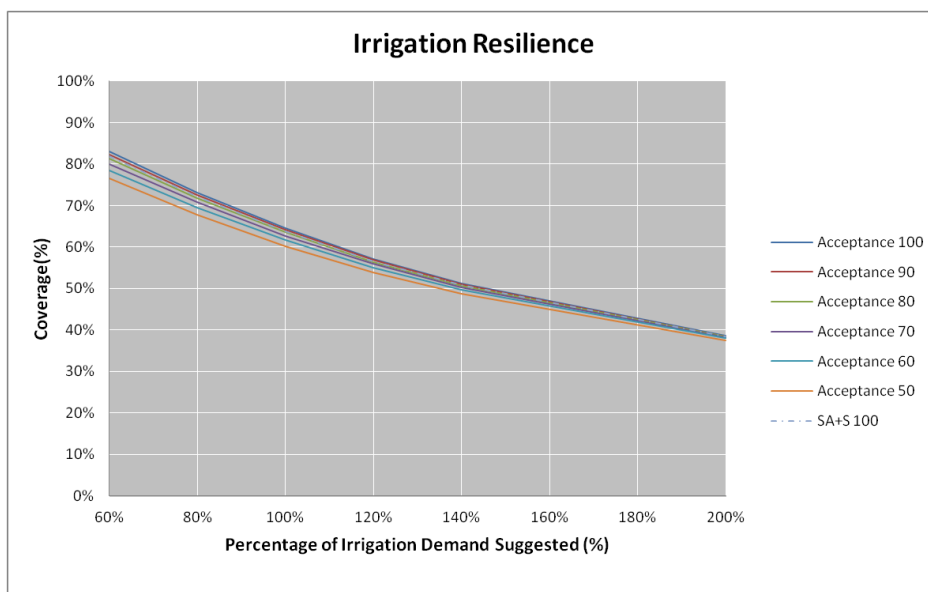
Στο Σχήμα 7-1, φαίνονται οι επιδόσεις του συνολικού συστήματος SA (άξονας y) για τα διάφορα ποσοστά πιέσεων της αρχικά προτεινόμενης, από την ΕΥΔΑΠ Α.Ε., άρδευσης (άξονας x) και για τις διάφορες κοινωνικές αποδοχές ως προς την επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού από τους αγρότες (διαφορετικά χρώματα καμπυλών – υπόμνημα, όπου π.χ. acceptance 70 αναφέρεται σε ένα ποσοστό αποδοχής 70%).

Για το demand group 1 (αριστερό διάγραμμα), οι τιμές της κάλυψης σε ανάγκες ξεκινούν από ένα 76 – 80% (συναρτήσε της κοινωνικής αποδοχής) και καταλήγουν σε ένα 36% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση, που τίθεται ως η διπλάσια της αρχικά προτεινόμενης άρδευσης. Η τιμή 36% φαίνεται να είναι ανεξάρτητη της κοινωνικής αποδοχής, που υποδηλώνει την αστοχία του συστήματος και εκφυλισμό των λύσεων σε μία.

Για το demand group 2 (δεξί διάγραμμα), οι τιμές της κάλυψης σε ανάγκες ξεκινούν από ένα 66 – 71% (συναρτήσε της κοινωνικής αποδοχής) και καταλήγουν σε ένα 34% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση, που τίθεται ως η διπλάσια της αρχικά προτεινόμενης άρδευσης. Η τιμή 34% ομοίως, φαίνεται να είναι ανεξάρτητη της κοινωνικής αποδοχής. Με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η επίδοση του ίδιου συστήματος SA, αν γίνει χρήση των τοπικών μονάδων Sewer mining (δηλαδή SA+S) για κοινωνική αποδοχή 100%, προς κάλυψη των πλεοναζουσών αναγκών αστικής – περιαστικής χρήσης.

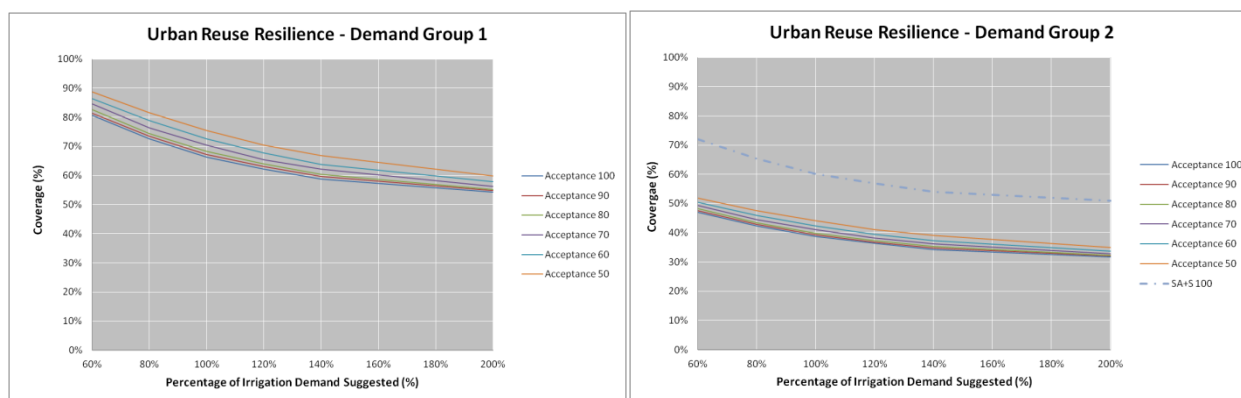
Έτσι στις μικρές πιέσεις, ήτοι 60% της προτεινόμενης άρδευσης, μία διαφοροποίηση 50% στη κοινωνική αποδοχή μπορεί να προκαλέσει έως και 4-5% μεταβολή στην τελική μέση ετήσια κάλυψη του συστήματος.





Σχήμα 7-2: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αρδευτικής κάλυψης – Α

Στο Σχήμα 7-2, παρουσιάζονται αποκλειστικά οι επιδόσεις όσον αφορά την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, για το σύστημα SA. Οι τιμές της κάλυψης, ξεκινούν από ένα 78 – 83% (συναρτήσε της κοινωνικής αποδοχής) και καταλήγουν σε ένα 39% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση, που τίθεται ως η διπλάσια της αρχικά προτεινόμενης άρδευσης. Η ενεργοποίηση των μονάδων Sewer mining δεν φαίνεται να επηρεάζει τις αποδόσεις άρδευσης σε αξιοσημείωτο βαθμό, μιας και δεν σχετίζονται με άμεσο τρόπο, μεταξύ άλλων και λόγω προτεραιότητας της άρδευσης ως στόχου έναντι της αστικής χρήσης.

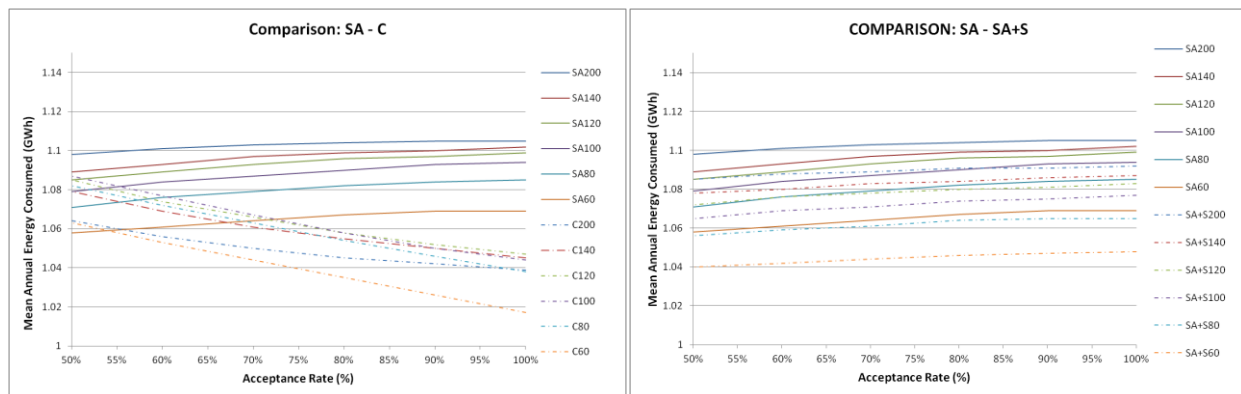


Σχήμα 7-3: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αστικής περιαστικής κάλυψης – Α

Στο Σχήμα 7-3, παρουσιάζονται αποκλειστικά οι επιδόσεις όσον αφορά την κάλυψη των αναγκών σε αστική και περιαστική χρήση, για το σύστημα SA. Οι τιμές της κάλυψης, ξεκινούν από ένα 80 – 88% και καταλήγουν σε ένα 54 – 60% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση (για το αριστερό διάγραμμα) και 47 – 52% έως 32 – 35% (για το δεξί διάγραμμα). Η μεγάλη διαφορά στην κάλυψη με την ενεργοποίηση των Sewer mining φαίνεται με τη διακεκομμένη γραμμή. Να

τονιστεί πως αυτή η καλύτερη απόδοση είναι biased – και άμεσα εξαρτημένη από τις παραδοχές και από το μοντέλο μιας και κάποιες ανάγκες οικισμών μπορούν να ικανοποιηθούν μόνο μέσω αυτών των μονάδων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάστροφη επιρροή της κοινωνικής αποδοχής στην άρδευση.

Σχετικά με την ενέργεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα στην παρακάτω εικόνα:

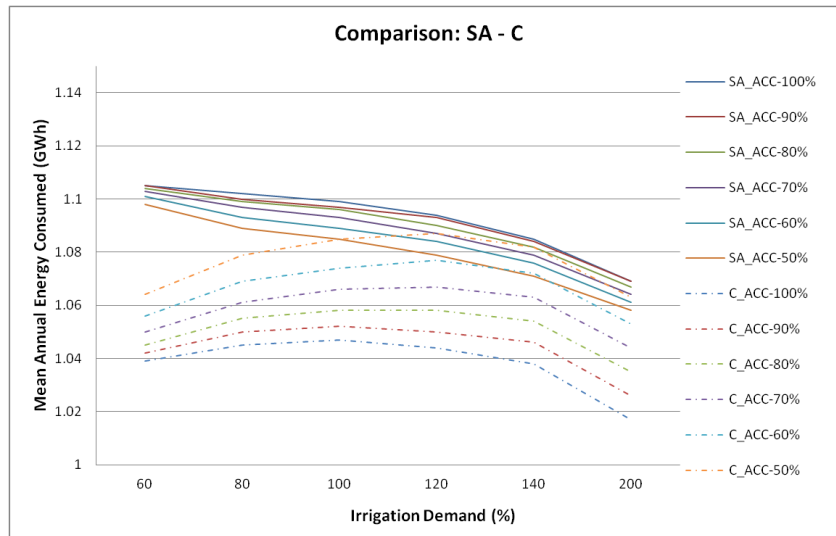


Σχήμα 7-4: Μέσες ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας και Σύγκριση Διατάξεων – Α

Στα δύο διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή της ίδιας μεταβλητής μέσης ετήσιας ενέργειας (κατακόρυφος άξονας y) σε σχέση με την πίεση στις αρδευτικές ανάγκες και την κοινωνική αποδοχή του επεξεργασμένου ύδατος. Ταυτόχρονα γίνεται σύγκριση των συστημάτων SA, SA+S και C (θεωρώντας ανοιχτές τις μεταξύ των δικτύων συνδέσεις).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μία απόκλιση στην συμπεριφορά τους στο σύστημα C. Οι συντηρητικά εκτιμώμενες παροχές λυμάτων σε συνδυασμό με την δυνατότητα ανοίγοντας της συνδέσεις, να εξυπηρετεί το ένα δίκτυο το άλλο δημιουργεί αυτή τη δύσκολα ερμηνεύσιμη συμπεριφορά. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να εμνηυθεί καλύτερα μέσω του σχήματος 7-5. Για μικρές παροχές, τα λύματα επιλέγουν «ακριβές» - παράδοξες διαδρομές προς ικανοποίηση των αναγκών με μεγαλύτερη προτεραιότητα που χωρίς τις συνδέσεις θα αστοχούσαν (αύξουσα πορεία διακεκομμένης). Μέχρι ενός σημείου πίεσης (120%) οι συνδέσεις μπορούν και συγκρατούν – βελτιώνουν την αστοχία στην επίδοση με τίμημα το αυξημένο ενεργειακό κόστος. Μετά από αυτό το σημείο (φθίνων κλάδος) το C σύστημα αστοχεί όπως ένα SA σύστημα λόγω έλλειψης διαθέσιμων υδατικών πόρων.

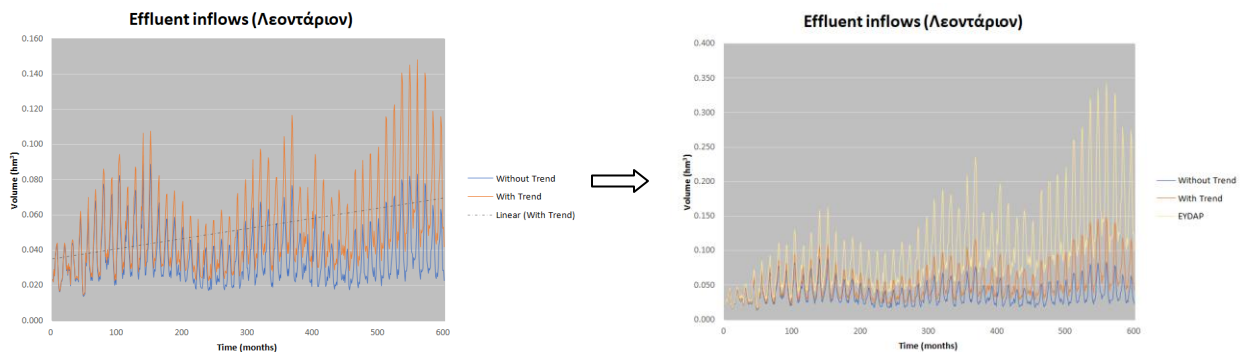
Γενικότερα, η ιδιάζουσα συμπεριφορά εξηγείται από το συνδυασμό μικρών διαθέσιμων πόρων, μεγάλων αναγκών, δυνατότητας εξυπηρέτησης του ενός δικτύου από το άλλο και τέλος ανάγκης για ελάχιστο ενεργειακό κόστος.



Σχήμα 7-5: Ενεργειακή συμπεριφορά Connected συστήματος σε περίπτωση συντηρητικής παραδοχής πόρων

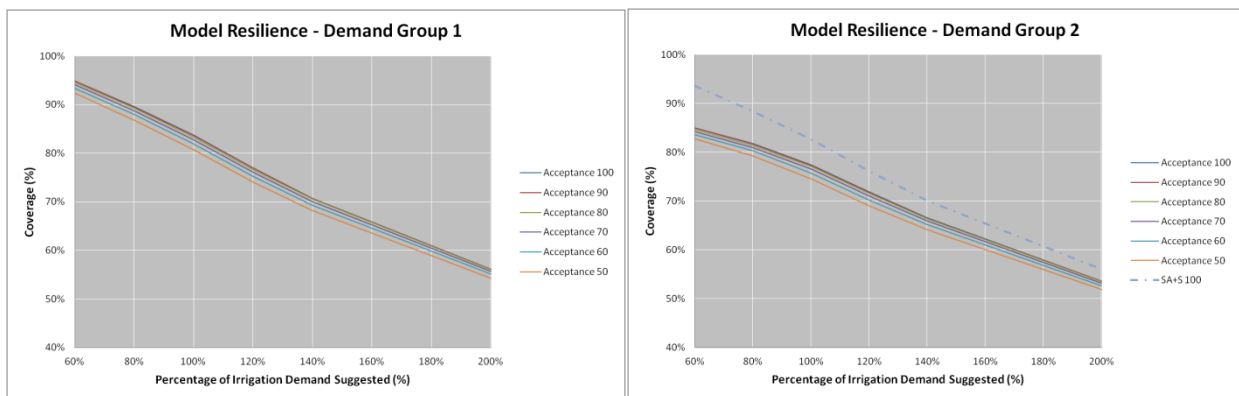
7.2.2. Ομάδα Σεναρίων Β – Προβολή παροχών εισόδου ΕΥΔΑΠ Α.Ε. (EYDAP’S projection)

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα, κρίθηκε απαραίτητο να επαναληφθούν οι υπολογισμοί βάσει μίας λιγότερο συντηρητικής οπτικής και σύμφωνης με αυτή της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Έτσι για όλους τους οικισμούς θεωρήθηκαν νέες παροχές λυμάτων σε βάθος χρόνου 50 ετών και επαναλήφθηκαν οι προσομοιώσεις για όλα τα σενάρια και τις ομάδες αρδευτικών πιέσεων. Παράδειγμα της ποσοτικής διαφοράς του πόρου των προσομοιώσεων παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-1, για έναν από τους υπό εξυπηρέτηση οικισμούς.



Εικόνα 7-1: Συντηρητική και πρόβλεψη ΕΥΔΑΠ, παροχών λυμάτων στον οικισμό Λεοντάριον

Βάσει των προσομοιώσεων η επίδοση του συστήματος (SA) για την δεύτερη ομάδα σεναρίων, που αφορά την πρόβλεψη ΕΥΔΑΠ, έχει ως εξής:

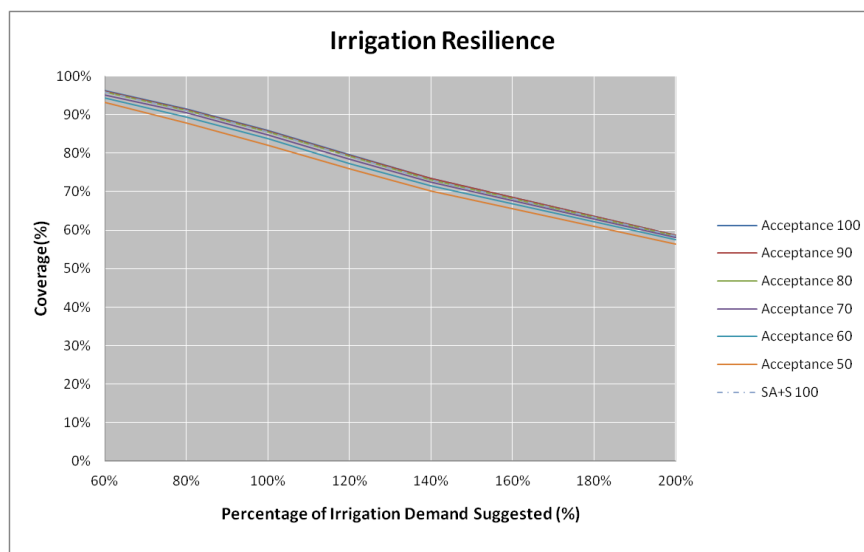


Σχήμα 7-6: Ανθεκτικότητα (Resilience) συνολικού μοντέλου – Β

Στο Σχήμα 7-6 παρουσιάζεται, πως για το demand group 1 (αριστερό διάγραμμα), οι τιμές της κάλυψης σε ανάγκες ξεκινούν από ένα 92 – 95% (συναρτήσε της κοινωνικής αποδοχής) και καταλήγουν σε ένα 55 – 57% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση, που τίθεται ως η διπλάσια της αρχικά προτεινόμενης άρδευσης.

Για το demand group 2 (δεξί διάγραμμα), οι τιμές της κάλυψης σε ανάγκες ξεκινούν από ένα 83 – 85% (συναρτήσε της κοινωνικής αποδοχής) και καταλήγουν σε ένα 52 – 54% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση, που τίθεται ως η διπλάσια της αρχικά προτεινόμενης άρδευσης. Με διακεκομμένη γραμμή φαίνεται ξανά η επίδοση του ίδιου συστήματος SA, αν γίνει χρήση των τοπικών μονάδων Sewer mining (δηλαδή SA+S) για κοινωνική αποδοχή 100%, προς κάλυψη των πλεοναζουσών αναγκών αστικής – περιαστικής χρήσης.

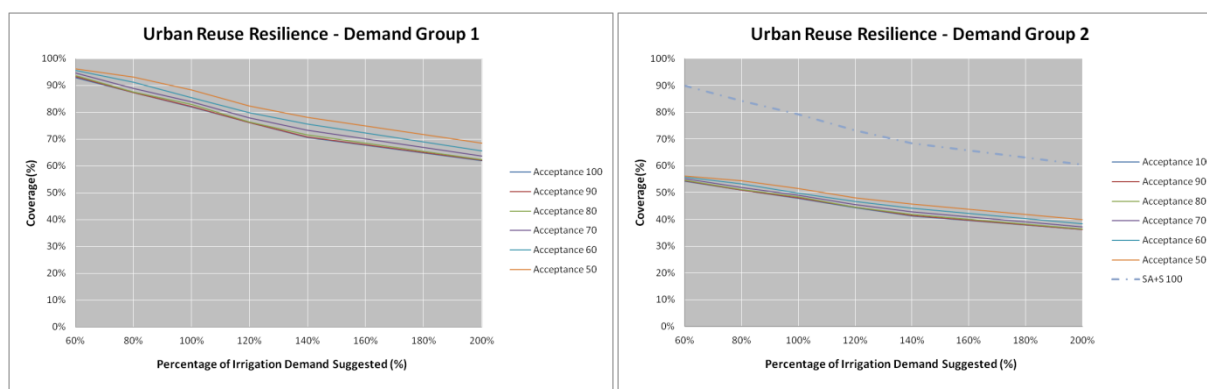
Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως στην περίπτωση επαρκών λυμάτων η επιρροή της κοινωνικής αποδοχής φαίνεται να έχει σχεδόν σταθερή επίδραση, καθ' όλα τα σενάρια πιέσεων άρδευσης περίπου με 2 – 3% διαφορά στην κάλυψη. Οι καμπύλες εν γένει φαίνεται να έχουν μία ελαφρώς σιγμοειδή συμπεριφορά.



Σχήμα 7-7: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αρδευτικής κάλυψης – Β

Όμοια με την υποενότητα 7.2.1., στο σχήμα 7-7, παρουσιάζονται αποκλειστικά οι επιδόσεις όσον αφορά την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, για το σύστημα SA. Οι τιμές της κάλυψης, ξεκινούν από ένα 92 – 95% (συναρτήσεως της κοινωνικής αποδοχής) και καταλήγουν σε ένα 56 – 59% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση, που τίθεται ως η διπλάσια της αρχικά προτεινόμενης άρδευσης. Η ενεργοποίηση των μονάδων Sewer mining δεν φαίνεται να επηρεάζει τις αποδόσεις άρδευσης σε αξιοσημείωτο βαθμό, μιας και δεν σχετίζονται με άμεσο τρόπο και λόγω προτεραιότητας της άρδευσης ως στόχου έναντι της αστικής χρήσης.

Ένα μέσο ετήσιο ποσοστό κάλυψης για την άρδευση 75 – 80% θα ήταν ικανοποιητικό για τη συγκεκριμένη χρήση. Έτσι συμπεραίνουμε πως ένα επίπεδο μεταξύ 100 – 120% της προτεινόμενης ανάγκης άρδευσης από την ΕΥΔΑΠ, θα ήταν ικανοποιητικό.

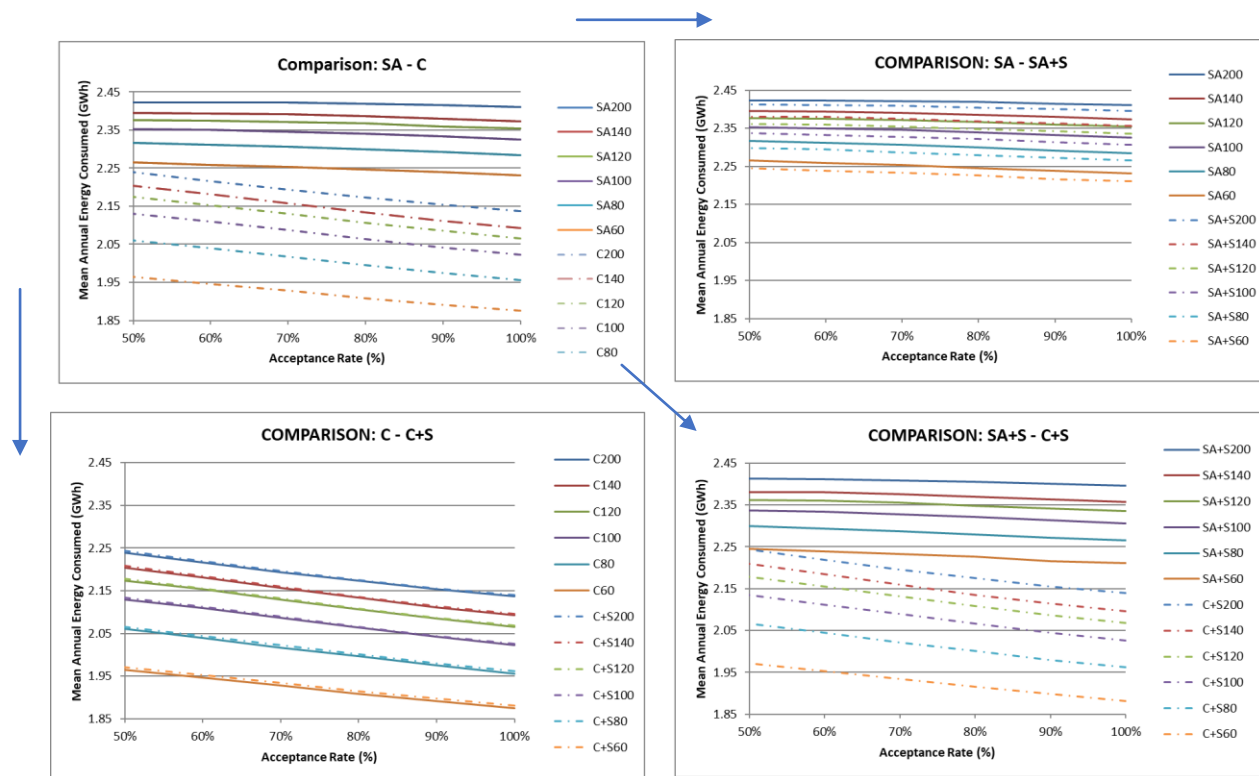


Σχήμα 7-8: Ανθεκτικότητα (Resilience) Αστικής περιαιστικής κάλυψης – Β

Τέλος στο σχήμα 7-8, παρουσιάζονται αποκλειστικά οι επιδόσεις όσον αφορά την κάλυψη των αναγκών σε αστική και περιαιστική χρήση, για το σύστημα SA. Οι τιμές της κάλυψης, ξεκινούν από ένα 92 – 95% και καταλήγουν σε ένα 61 – 69% κάλυψης για τη μέγιστη πίεση (για το

αριστερό διάγραμμα) και 54 – 55% έως 37 – 40% (για το δεξί διάγραμμα), για τις μικρές και μεγάλες πιέσεις ανάλογα.

Σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζονται τα διαγράμματα στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 7-9: Μέσες ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας και Σύγκριση Διατάξεων – Β

Στο Σχήμα 7-9 φαίνεται η ενεργειακή συμπεριφορά και κατανάλωση και των τεσσάρων συστημάτων (SA, C, SA+S, C+S) και οι μεταξύ τους συγκρίσεις. Το Connected σύστημα (C) φαίνεται να έχει σημαντικά ενεργειακά πλεονεκτήματα έναντι του αντίστοιχου Stand Alone συστήματος όσον αφορά την μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση.

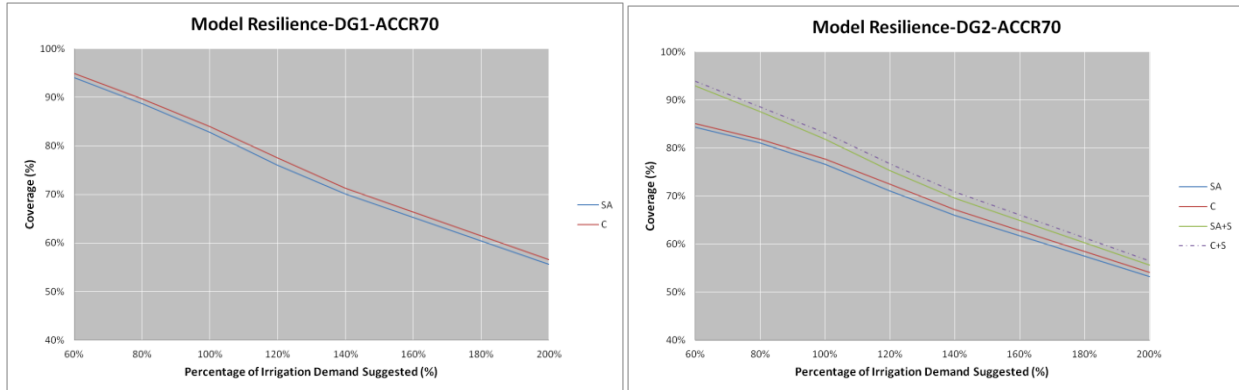
Το άνοιγμα των μονάδων Sewer mining στο SA σύστημα μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση για την επιτεύξη των ίδιων ή και περισσότερων στόχων, μοιράζοντας το έλλειμα σε αστική και περιαστική χρήση μεταξύ «ακριβών» και «φθηνών» περιοχών εξυπηρέτησης. Έτσι μία περιοχή που μπορεί να είχε μεγαλύτερη κάλυψη με κλειστές τις μονάδες, με το άνοιγμα των μονάδων μπορεί από τη μία να έχει μικρότερη μεμονομένη κάλυψη, αλλά στο σύνολο των αναγκών οι πόροι έχουν μοιραστεί με τον ενεργειακά οικονομικότερο τρόπο προς εξυπηρέτηση όλων.

Σε αντιδιαστολή, το άνοιγμα των μονάδων Sewer mining στο C σύστημα αυξάνει ελαφρά την ενεργειακή κατανάλωση για την επιτεύξη περισσότερων στόχων μέσω της δημιουργίας εναλλακτικών διαδρομών λυμάτων, εξυπηρέτησης ενός δικτύου από το άλλο, και τελικώς

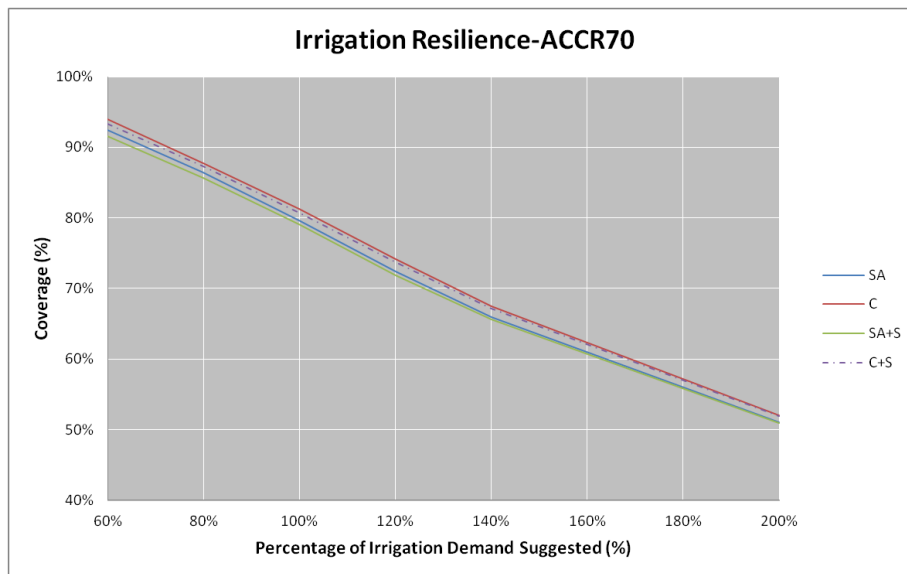
μικρότερης απόρριψης πόρων επεξεργασμένου λύματος από τους υποθαλάσσιους αγωγούς διάθεσης.

### 7.2.3. Σύγκριση διατάξεων

Στη συγκεκριμένη υποενότητα γίνεται μία σύγκριση των τεσσάρων υπό μελέτη διατάξεων. Χάριν απλούστευσης και παράθεσης απλών διαγραμμάτων, οι διατάξεις θα συγκριθούν βάσει ενός σεναρίου κοινωνικής αποδοχής 70 – 30% που θα θεωρηθεί ως το πλέον πιθανό σενάριο, αν υπάρξει σωστή ενημέρωση των πολιτών.

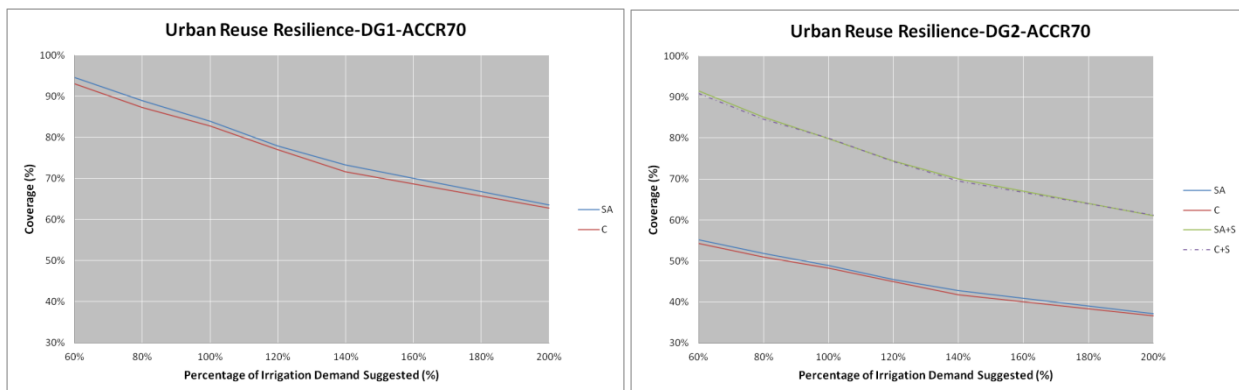


Σχήμα 7-10: Σύγκριση διατάξεων σε κάλυψη συνολικών αναγκών (Σενάριο Κοινωνικής αποδοχής 70-30%)



Σχήμα 7-11: Σύγκριση διατάξεων σε κάλυψη αρδευτικών αναγκών (Σενάριο Κοινωνικής αποδοχής 70-30%)



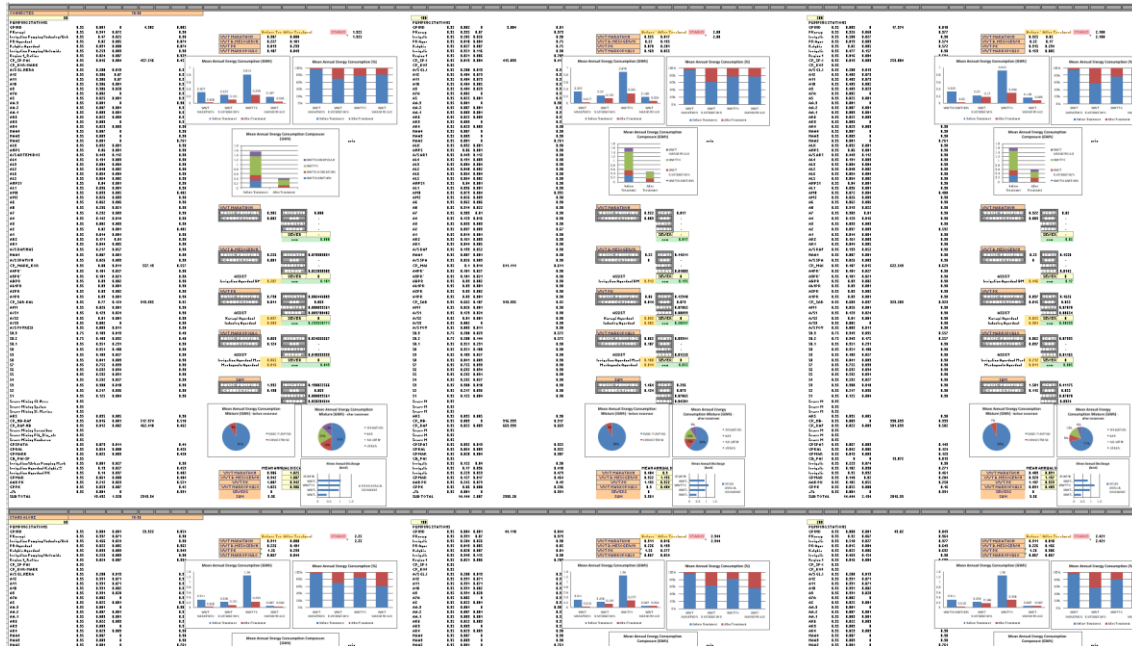


Σχήμα 7-12: Σύγκριση διατάξεων σε κάλυψη αστικών – περιαστικών αναγκών (Σενάριο Κοινωνικής αποδοχής 70-30%)

Στα Σχήματα 7-10 με 7-12 φαίνονται οι τελικές συγκρίσεις των διαγραμμάτων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντίστροφη επιρροή των συνδέσεων στην κάλυψη αναγκών άρδευσης και αστικής – περιαστικής χρήσης. Η καλύτερη επίδοση των συστημάτων με ανοιχτές τις μονάδες Sewer mining παρουσιάζουν πολύ καλύτερη συμπεριφορά. Υπενθυμίζεται πως αυτό το αποτέλεσμα είναι άμεσα εξαρτημένο των ληφθέντων παραδοχών (biased). Αυτό συμβαίνει διότι ορισμένες περιοχές εξυπηρετούνται αποκλειστικά από τέτοιες μονάδες, το κλείσιμο των οποίων σηματοδοτεί την άμεση αποτυχία των συγκεκριμένων στόχων. Το άλμα στις καμπύλες δείχνει την δυνητικά μεγαλύτερη εξυπηρέτηση αν τεθούν τέτοιες μονάδες υπό λειτουργία, και αν θεωρηθεί πως κάθε οικισμός έχει ανάγκη από αστική και περιαστική χρήση επεξεργασμένων λυμάτων.

#### 7.2.4. Λογιστικά Φύλλα (spreadsheet)

Τέλος για το ίδιο σενάριο κοινωνικής αποδοχής, δημιουργήθηκαν ειδικά διαμορφωμένα λογιστικά φύλλα (spreadsheet Εικόνα7-2).

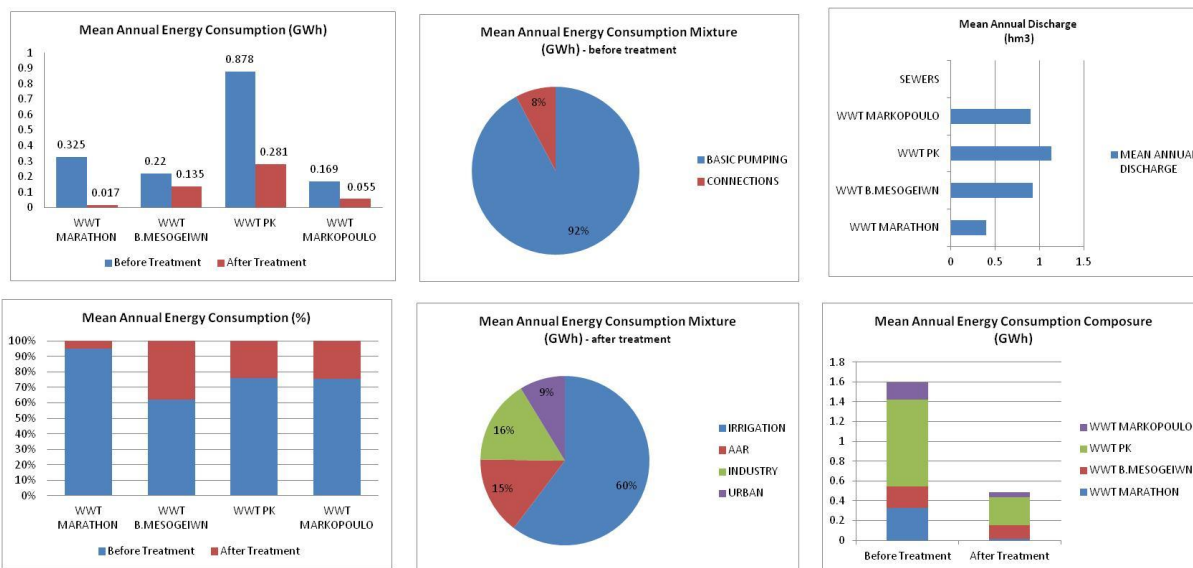


Εικόνα 7-2: Πρότυπο επισκόπησης αποτελεσμάτων, λογιστικών φύλλων (spreadsheet)

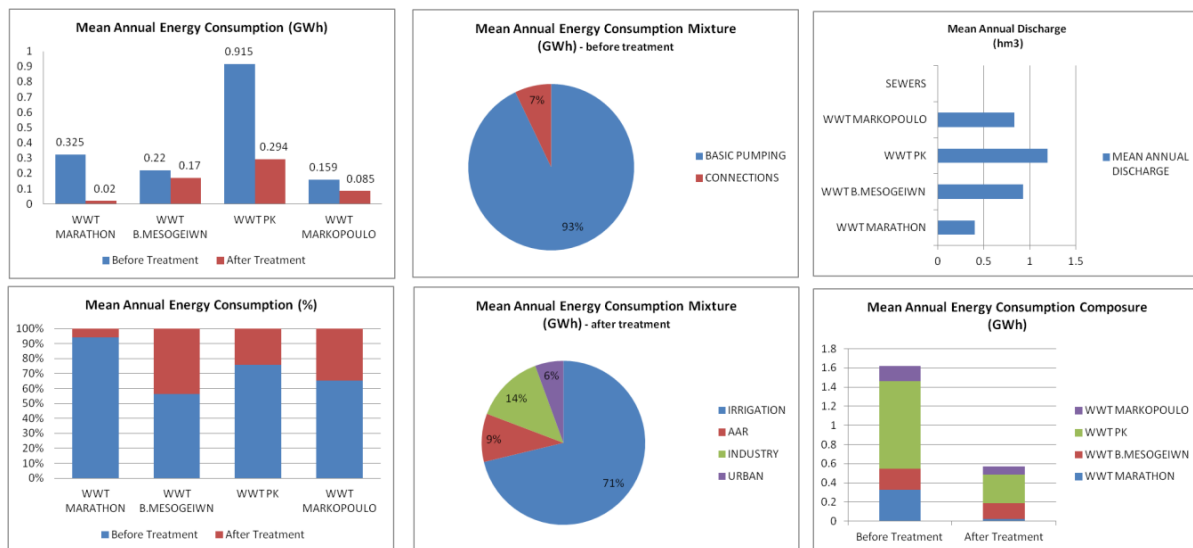
Με τα συγκεκριμένα λογιστικά φύλλα ο διαχειριστής, ήτοι ΕΥΔΑΠ Α.Ε., μπορεί να λάβει ένα πλήθος πληροφοριών για το πώς οι αποφάσεις του επηρεάζουν την τελική κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στα επιμέρους συστατικά του συστήματος.

Σε αυτή την υποενότητα θα γίνει παράθεση μερικών μόνο διαγραμμάτων για τον έλεγχο επιρροής της ενεργειακής κατανομής, αλλάζοντας κάθε φορά μόνο μία παράμετρο. Έτσι παρουσιάζονται τα εξής:

## I. Επιρροή αύξησης αναγκών άρδευσης



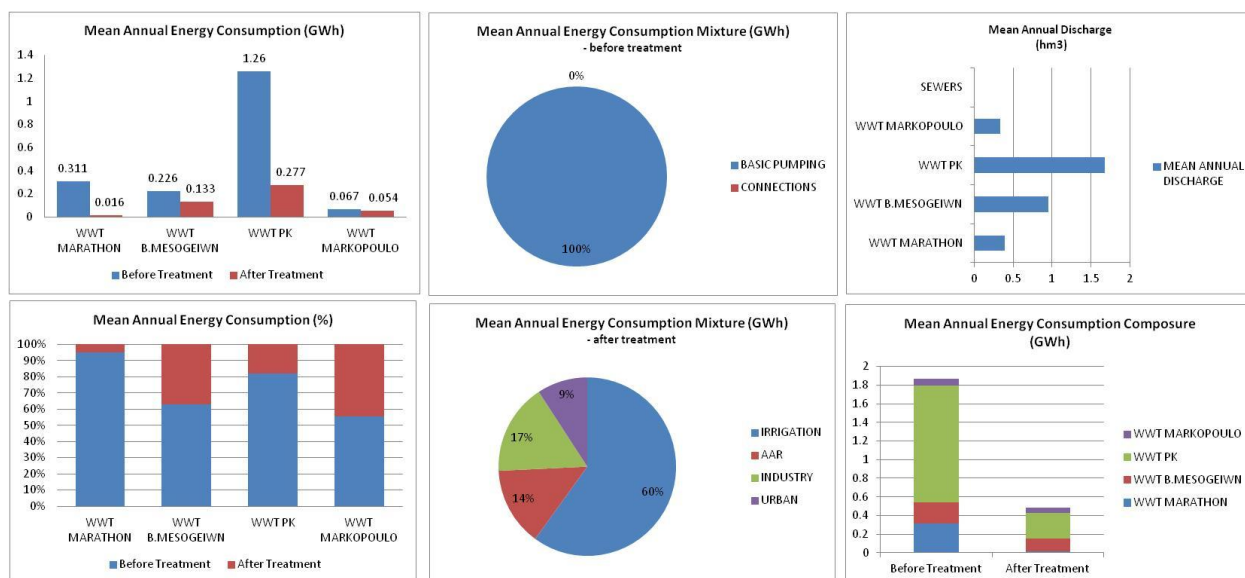
Σχήμα 7-13: Επισκόπηση αποτελεσμάτων, σενάριο Connected\_ACCR70-30\_100%



Σχήμα 7-14: Επισκόπηση αποτελεσμάτων, σενάριο Connected\_ACCR70-30\_200%

**Παρατηρήσεις:** Η ομοιόμορφη αύξηση της έντασης των αρδευτικών ζητήσεων υποδεικνύει μία τάση χρήσης των συνδέσεων Μαρκόπουλου προς Κορωπί και Σπατών προς Παιανία, λόγω των μεγάλων αρδευτικών εκτάσεων που εξυπηρετούνται από το ΚΕΛ ΠΚ. Το συνολικό ενεργειακό κόστος χρήσης των συνδέσεων φαίνεται να είναι σταθερό 7 – 8% του συνόλου. Παρουσιάζονται τα ανάλογα ενεργειακά μείγματα του κάθε δικτύου ανάντη και κατόντη της επεξεργασίας. Φαίνεται πως η ενεργειακή κατανάλωση κατόντη κυμαίνεται στο 1/3 της κατανάλωσης άντλησης ακαθάρτων. Ομοίως γίνεται αντιληπτή στο μείγμα ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε χρήση η αύξηση των επίγειων αντλήσεων για άρδευση έναντι των γεωτρήσεων. Η βιομηχανία λόγω προτεραιότητας διατηρεί σταθερό σχεδόν ποσοστό στο ενεργειακό μίγμα, ενώ αυτή η αύξηση στην άρδευση γίνεται σε βάρος της αστικής και περιιαστικής χρήσης που τίθεται σε τελευταία προτεραιότητα.

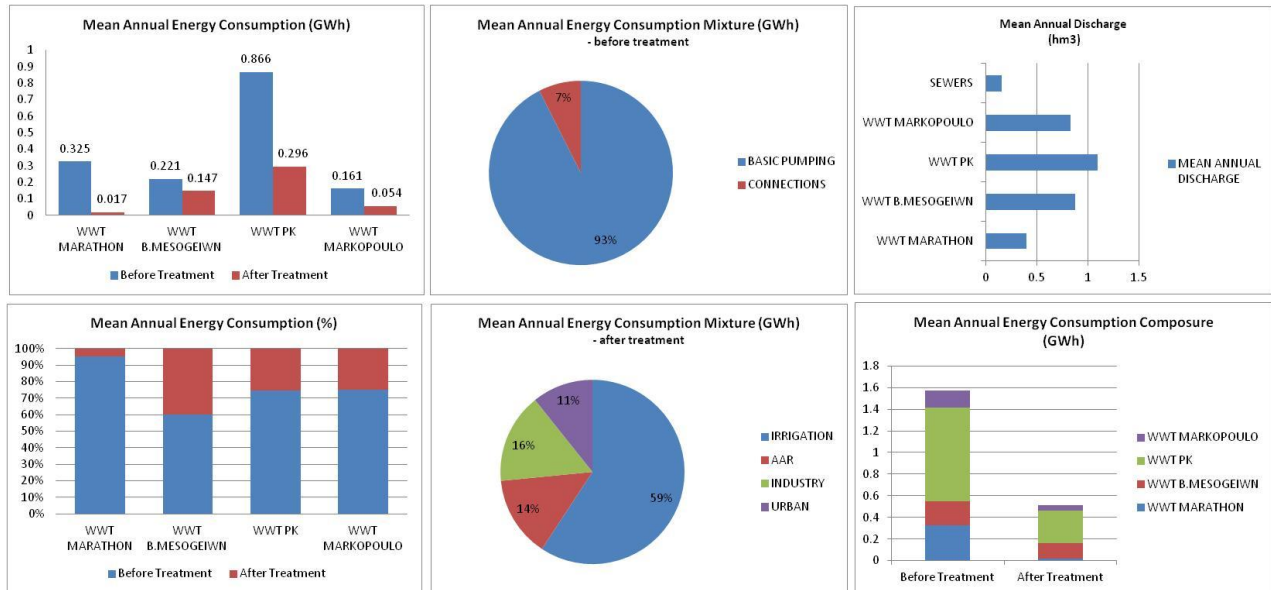
## II. Επιρροή συνδεσιμότητας:



Σχήμα 7-15: Επισκόπηση αποτελεσμάτων, σενάριο Stand Alone\_ACCR70-30\_100%

**Παρατηρήσεις:** Το άνοιγμα των κλάδων σύνδεσης προκαλεί όπως παρατηρείται μία εξισορρόπηση των διερχόμενων από τα ΚΕΛ λυμάτων. Τα λύματα στις περιοχές του δικτύου Παιανίας - Κορωπίου φαίνονται πλεονάζοντα και τα γειτονικά δίκτυα έχουν ελλείψεις σε βασικές χρήσεις άρδευσης. Πάλι το άνοιγμα των συνδέσεων γίνεται σε βάρος της κάλυψης αστικής περιιαστικής χρήσης μιας και οι εναλλακτικές διαδρομές δημιουργούν περισσότερες ευκαιρίες για κάλυψη των αρδεύσεων. Η αποφόρτιση των δικτύων ή καλύτερα η αναδιανομή του φόρτου φαίνεται τόσο στα ενεργειακά μείγματα ανάντη και κατόντη των ΚΕΛ όσο και στο διάγραμμα απορροών. Το συνολικό μίγμα για τις χρήσεις δεν φαίνεται να επηρεάζεται. Η κύρια αλλαγή είναι πως σε περιπτώσεις περίσσειας εμφανίζονται οικονομικότερες διαδρομές, προς κάλυψη των ίδιων συνολικά αναγκών. Εξού και η μικρή αύξηση απόδοσης – κάλυψης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα.

### III. Επιρροή μονάδων Sewer mining



Σχήμα 7-16: Επισκόπηση αποτελεσμάτων, σενάριο Connected + Sewer Mining\_ACCR70-30\_100%

**Παρατηρήσεις:** Οι μονάδες Sewer mining αποφορτίζουν ελαφρά τα κυρίως δίκτυα. Η αύξηση των ενεργειακών καταναλώσεων για την αστική χρήση, υπενθυμίζεται πως είναι βεβαιασμένη (assumption artifact) μιας και συγκεκριμένες περιοχές έχουν αποκλειστικότητα σε εξυπηρέτηση από τέτοιες μονάδες.

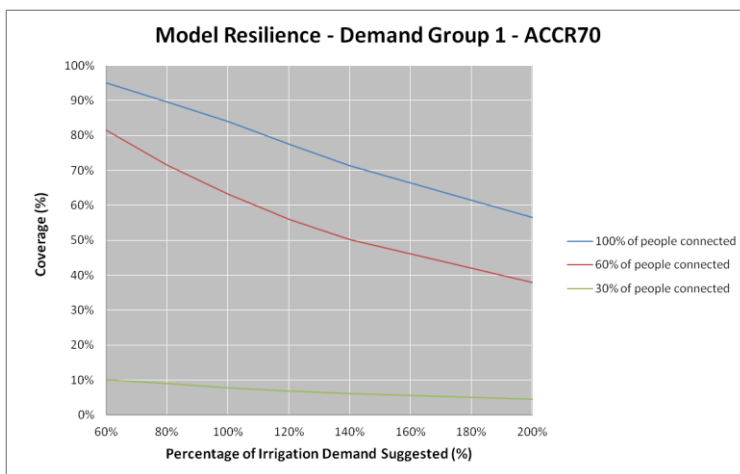
#### 7.2.5. Ιδιωτικά δίκτυα και αποδοχή συνδεσιμότητας ιδιωτών

Το έργο χρηματοδοτείται σε ποσοστό 90,29% από το Ταμείο Συνοχής (ΕΣΠΑ 2014 - 2020), με απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Υποδομές Μεταφορών, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη», που τελεί υπό τη διαχείριση της Περιφέρειας Αττικής, στο πλαίσιο σχετικής εκχώρησης και πέραν του δικτύου αποχέτευσης, περιλαμβάνει και την κατασκευή των ιδιωτικών συνδέσεων των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων με το δίκτυο, χωρίς καμία επιβάρυνση για τους πολίτες.

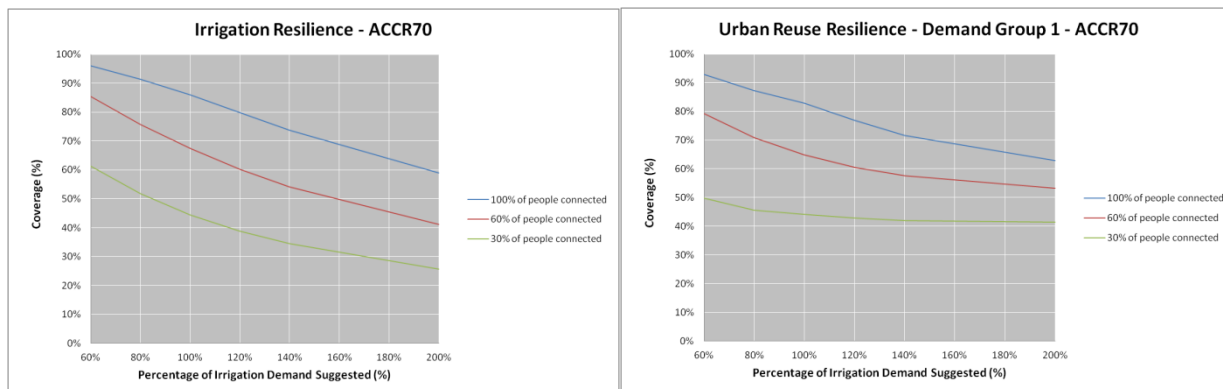
Παρ' όλα αυτά, πέραν των αναφερόμενων σεναρίων στην Ενότητα 6.3., εξετάστηκε στοιχειωδώς η αποδοχή των κατοίκων να μετέχουν στη διαδικασία σύνδεσης στο κεντρικό αποχετευτικό δίκτυο που κατασκευάζεται. Η σύνδεση τους προϋποθέτει ιδιωτικά δίκτυα ακαθάρτων που αν και δεν θα επιβαρύνουν κατά πάσα πιθανότητα τους πολίτες, η ολοκλήρωση της κατασκευής τους μπορεί να κριθεί από πληθώρα παραγόντων.

Στο πλαίσιο αυτό έγιναν δώδεκα (12) επιπρόσθετες επικουρικές προσομοιώσεις, που αφορούν την ανθεκτικότητα του συστήματος και την κατανάλωση του σε ενέργεια σε περίπτωση σύνδεσης 30 και 60% των προβλεπόμενων νοικοκυριών. Να τονιστεί πως όλα τα αποτελέσματα στις προηγούμενες υποενότητες αφορούν αποκλειστικά και μόνο το σενάριο πλήρους κάλυψης

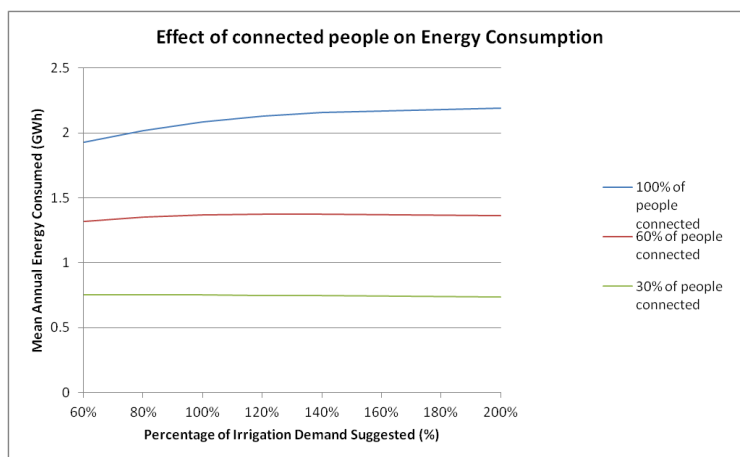
ιδιωτικών συνδέσεων. Τα επιπλέον σενάρια έγιναν για ένα Connected σύστημα, υπό τις ανάγκες που ορίζει το Demand Group 1 – δίχως τη λειτουργία των μονάδων sewer mining και με κοινωνική αποδοχή στην επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων 70 – 30% όσον αφορά την ανάγκη για άρδευση. Τα ποσοστά ανάγκης για νερό ποτίσματος χρησιμοποιήθηκαν ως έχουν. (60-80-100-120-140-200%). Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης παρατίθενται παρακάτω:



Σχήμα 7-17: Επίδραση σύνδεσης νοικοκυριών στην ανθεκτικότητα του συστήματος



Σχήμα 7-18: Επίδραση σύνδεσης νοικοκυριών στην ανθεκτικότητα άρδευσης και αστικής χρήσης



Σχήμα 7-19: Επίδραση σύνδεσης νοικοκυριών στην ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος

Παρατηρούμε ότι η επιρροή της σύνδεσης των κατοίκων στο σύστημα έχει κύριο λόγο στην απόδοσή του. Τα πολύ μικρά ποσοστά ( $\approx 6-10\%$ ) συνολικής κάλυψης του μοντέλου στο Σχήμα 7-17 οφείλονται στην αποτυχία κάλυψης στόχου ελάχιστης στάθμης υπόγειου ΥΟ. Οι ενεργειακές διαφοροποιήσεις είναι αναμενόμενες βάσει των αντλούμενων ποσοτήτων ανεπεξέργαστων και επεξεργασμένων λυμάτων.



## **8. Συμπεράσματα – Σχόλια**

### **8.1. Τελικά συμπεράσματα**

Στο Κεφάλαιο 7, παράλληλα με την παράθεση των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκε και ο αναλυτικός επιμέρους σχολιασμός τους. Πέραν αυτών, από τις αναλύσεις όλων των σεναρίων μπορούν να προκύψουν κάποια γενικά συμπεράσματα για το αναπτυσσόμενο σύστημα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Αν. Αττική.

#### **Ανθεκτικότητα:**

- ❖ Βασική επιρροή αποτελεί η αρχική υπόθεση για την εξέλιξη του πληθυσμού και συνεπώς της παροχής επεξεργασμένων λυμάτων (είσοδος – πόρος στο μοντέλο).
- ❖ Η καμπυλότητα (άνω-κάτω) του διαγράμματος κάλυψης αναγκών ορίζει τον τρόπο αστοχίας του συστήματος. Είναι απόρροια της μεταβολής της εισόδου του μοντέλου (πόρος λύματα) και της μεταβολής των αναγκών συναρτήσει του χρόνου.
- ❖ Στη συντηρητική περίπτωση παρατηρούμε αύξηση της κάλυψης των αναγκών έως και 4-5% για μικρές πιέσεις, ανάλογα με την κοινωνική αποδοχή, ενώ σε μεγαλύτερες πιέσεις το σύστημα αστοχεί εύκολα και η λύση εκφυλίζεται σε μία.
- ❖ Στην κανονική περίπτωση η επιρροή της κοινωνικής αποδοχής στην κάλυψη των αναγκών, περιορίζεται σε 2-3% ανεξαρτήτου πίεσης.
- ❖ Το connected σύστημα παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη συμπεριφορά (1-2%).
- ❖ Τα συστήματα με sewer minings (biased), συμπεριφέρονται καλύτερα στο Demand Group Scenario 2.

#### **Ενέργεια:**

- ❖ Βασική επιρροή η αρχική υπόθεση για την εξέλιξη του πληθυσμού και συνεπώς της παροχής επεξεργασμένων λυμάτων (είσοδος – πόρος στο μοντέλο).
- ❖ Το ενεργειακό κόστος ανάντη της επεξεργασίας μπορεί να βελτιωθεί με την κατάλληλη συνδεσμολογία.

- ❖ Το ενεργειακό κόστος κατάντη της επεξεργασίας είναι demand driven. Στο connected σύστημα μέρος της επιρροής μετακυλιέται στην «ανάντη» ενεργειακή κατανάλωση.
- ❖ Τα sewer mining αποφορτίζουν το βασικό δίκτυο και τις ΚΕΛ. Συνεπώς μπορεί να διαφοροποιηθεί η τελική διαστασιολόγηση αντλιοστασίων, ΚΕΛ και ΚΑΑ.
- ❖ Το connected σύστημα έχει εμφανή ενεργειακά πλεονεκτήματα.
- ❖ Η κοινωνική αποδοχή στη χρήση του επεξεργασμένου νερού επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό το κόστος λειτουργίας (από ότι την απόδοση του συστήματος).
- ❖ Οι συνδέσεις Κορωπί προς Μαρκόπουλο και Παιανία προς Σπάτα παρουσιάζουν αδράνεια και μπορούν να αφαιρεθούν από το μοντέλο χωρίς αλλαγή των αποτελεσμάτων.

## 8.2. Σχόλια – Πιθανές μελλοντικές αλλαγές

Το συγκεκριμένο μοντέλο δίνει μία ολιστική οπτική του αναπτυσσόμενου συστήματος για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην Αν. Αττική, τόσο στον ενεργειακό τομέα όσο και στο τομέα απόδοσής του. Το μοντέλο υπόκειται σε αβεβαιότητες που αφορούν τις παραδοχές που έγιναν κατά τη σχεδιάσή του, τόσο σε επίπεδο θεωρητικού υποβάθρου όσο και στον καθαρά πρακτικών παραδοχών. Σε όλα τα παραπάνω Κεφάλαια έγινε αναφορά και επεξήγηση τόσο του ίδιου του συστήματος όσο και της διαδικασίας ανάπτυξής του. Όλες οι παραδοχές και ο σχεδιασμός είναι ανοικτές προς κρίση από άλλους μελετητές.

Βάσει του μοντέλου ο διαχειριστής, ΕΥΔΑΠ Α.Ε., με βάση την κρίση του και τη δυνατότητα, που προσφέρει ο προϋπολογισμός, μπορεί να λάβει κατάλληλες αποφάσεις για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος, και για το που επιθυμεί να διαθέσει τους οικονομικούς του πόρους. Το μοντέλο υπενθυμίζεται πως δίνει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη κάλυψη αναγκών με χρήση επεξεργασμένων λυμάτων, για τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, υπό το καθεστώς τήρησης ενός ελάχιστου ορίου για τη στάθμη των υπόγειων υδάτων (ορθολογική υδρομάστευση ΥΥΣ και διατήρηση του ΥΟ) καθώς και διαχείρισης πλεονασματικών καταστάσεών του.

Είναι δεδομένο πως επειδή η αειφορία (sustainability) είναι συνάρτηση διαφόρων οικονομικών, περιβαλλοντικών, οικολογικών, κοινωνικών και φυσικών στόχων, η διαχείριση των υδάτινων πόρων πρέπει αναπόφευκτα να περιλαμβάνει πολλαπλούς στόχους σε μια διεπιστημονική και πολυσυμμετοχική διαδικασία λήψης αποφάσεων. Κανένας κλάδος, και σίγουρα κανένα επάγγελμα ή ομάδα συμφερόντων, δεν έχει τη σοφία να αναλάβει αποφάσεις εξ ολοκλήρου (Loucks, 2000). Μία οργανωμένη προσπάθεια στην οποία θα συμμετέχουν, τόσο οι ανάλογοι επιστήμονες (πολλαπλές ειδικότητες), όσο και οι ενδιαφερόμενοι (stakeholders) θα δώσει ένα μοντέλο – αποτέλεσμα πιο κοντινό στην τελική εφαρμογή.

Όσον αφορά κάποια μελλοντικά πιθανά βήματα που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τα αποτελέσματα του μοντέλου: Το μοντέλο αρχικώς θα μπορούσε να απλοποιηθεί αρκετά όσον

αφορά στις παροχές λυμάτων στο δίκτυο, αν υπάρξουν μετρήσεις παροχών σε Κεντρικούς Αποχετευτικούς Αγωγούς (ΚΑΑ). Σημαντική βελτίωση στα ενεργειακά αποτελέσματα θα μπορούσε να γίνει με την παροχή μεγαλύτερης πληροφορίας για την διαχείριση των αντλητικών συγκροτημάτων και της απόδοσής τους (καμπύλες αντλιών). Η αντιμετώπιση των ΥΥΣ μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Η απλοποιητική παραδοχή της υπόγεια υδροφορίας στο συγκεκριμένο μοντέλο θα μπορούσε να αντικατασταθεί με λεπτομερή ανάπτυξη μοντέλων για την υπόγεια κίνηση του νερού (εκροές και κατεισδύσεις). Επιπλέον θα μπορούσαν να υπολογιστούν οι απώλειες του δικτύου για τις ρεαλιστικότερες παροχές. Τέλος μπορεί να μελετηθεί ένα εύρος σεναρίων που αφορά τόσο τις ανάγκες για ζήτηση όσο και wildcard phenomena (κλείσιμο δομών λόγω βλάβης ή κάποιας απόφασης) και την βραχυπρόθεσμη απόκριση του δικτύου σε αυτά.

Ένας ικανοποιητικός επίλογος στη δεδομένη διπλωματική εργασία θα ήταν η έκθεση “Water reuse planning models: Extensions and applications” (Ocanas & Mays, 1981) ή οι «Βασικοί παράγοντες επιτυχίας» ενός τέτοιου ανθρωπογενούς υδροσυστήματος ως αναφέρονται στην έκθεση (Wade Miller, 2006). Θα αρκεστούμε στην παραδειγματική αντιμετώπιση του ζητήματος επαναχρησιμοποίησης νερού από το Ισραήλ (Marin et al., 2017).

Οι περιορισμοί της λειψυδρίας, σε συνδυασμό με τον ταχέως αναπτυσσόμενο πληθυσμό και την απόφαση να σταματήσει η υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων, κατέστησε υποχρεωτικό για το Ισραήλ να συμμετάσχει σε ένα τεράστιο πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων. Το Shafdan WWTP επιτυγχάνει τριτοβάθμια επεξεργασία μέσω μιας καινοτόμου μεθόδου αναπλήρωσης υδροφορέων που ονομάζεται επεξεργασία υδροφορέων εδάφους. Έχουν τεθεί σε εφαρμογή ευνοϊκές πολιτικές τιμολόγησης για να δώσουν στους αγρότες ένα ισχυρό κίνητρο να χρησιμοποιούν επεξεργασμένα ανακτημένα λύματα για άρδευση αντί για γλυκό νερό. Μία από τις πιο αξιοσημείωτες καινοτομίες της διαχείρισης των υδάτων του Ισραήλ είναι ότι οι υδροφόροι ορίζοντες έχουν σταδιακά μετατραπεί από υπερεκμεταλλεζόμενους πόρους σε μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης. Ως εκ τούτου, οι υδροφόροι ορίζοντες χρησιμεύουν ως ταλαντευόμενοι προμηθευτές ενώ επίσης ελαχιστοποιούν τις απώλειες εξάτμισης. Έγινε προώθηση της επιλεκτικότητας των καλλιεργειών και της εισαγωγής εικονικού νερού (δηλ. πόσα τρόφιμα πρέπει να παράγονται εγχώρια και πόσα πρέπει να εισάγονται), ενώ ταυτόχρονα έγινε προώθηση Διαχείρισης Ζήτησης και Ευαισθητοποίησης του κοινού. Η προσπάθεια για τη διαχείριση της ζήτησης επεκτάθηκε το 2008 όταν η κυβέρνηση ξεκίνησε μια μεγάλη εκστρατεία εξοικονόμησης νερού, η οποία αποδείχθηκε αρκετά επιτυχημένη. Το κύριο σύνθημα της εκστρατείας ήταν: «η βάση για την αλλαγή είναι η δημόσια αποδοχή».

Προσδιορίζεται πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος της πολιτείας, των αρχών καθώς και της εκπαίδευσης στην εγκόλπωση πρακτικών επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού. Σε γενικές γραμμές το κοινό αποδέχεται την επαναχρησιμοποίηση έχοντας τη σωστή αντίληψη για την προστασία του περιβάλλοντος. Ένα εξειδικευμένο ρυθμιστικό πλαίσιο θα ήταν καθοριστικό καθώς στο μέλλον προβλέπονται πολλά έργα επαναχρησιμοποίησης νερού. Η πολιτεία οφείλει να συμβάλλει στην προετοιμασία των κατοίκων ώστε να δεχτούν την πρακτική επαναχρησιμοποίησης σαν κάτι φυσικό, όχι σαν κάτι πιεστικό, αγχωτικό και αποτρεπτικό.

## **9. Βιβλιογραφία**

### **9.1. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

- Anon. (1998). Sustainability criteria for water resource systems. In *American Society of Civil Engineers - Task Committee Reports*. [https://doi.org/10.1016/s0301-4207\(00\)00047-7](https://doi.org/10.1016/s0301-4207(00)00047-7)
- ASCE Task Committee on Sustainability Criteria. 1998. "Sustainability Criteria for Water Resource Systems." ASCE, Reston, Virginia, USA. 253 pages.
- Bear, J. (2012). *Hydraulics of groundwater*. Courier Corporation.
- Billings, R. B., & Jones, C. V. (2011). Forecasting urban water demand. American Water Works Association.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, MacGraw-Hill. Inc., New York.
- Dillon, P.J., (2002): «Management of aquifer recharge for sustainability», Proc. Of 4th Inter. Symp. on artificial recharge of groundwater, Adelaide 22- 26/9/02, 567 p., εκδόσεις Balkema.
- Ferris, J. G., Knowles, D. B., Brown, R. H., & Stallman, R. W. (1962). *Theory of aquifer tests* (pp. 69-174). Denver, CO, USA: US Government Printing Office.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A., and JA, C. (1979). "Groundwater. " New Jersey: Prentice Hall, xiv, 604 p.
- Guo, J. M. (2000). Recharge and reuse of groundwater. *Resources Economization and Comprehensive Utilization*, 6(2), 38-39.
- Healy, R. W. (2010). *Estimating groundwater recharge*. Cambridge university press.
- Heath, R. C. (2004). *Basic ground-water hydrology* (Vol. 2220). US Geological Survey.
- Johnson, A. I. (1967). *Specific yield: compilation of specific yields for various materials* (No. 1662). US Government Printing Office.
- Karavokiros, G., D. Nikolopoulos, S. Manouri, A. Efstratiadis, C. Makropoulos, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, Hydronomeas 2020: Open-source decision support system for water resources management, European Geosciences Union General Assembly 2020, Geophysical Research Abstracts, Vol. 22, Vienna, May 2020.

- Kossieris, P., Tsoukalas, I., Makropoulos, C., & Savic, D. (2019). Simulating Marginal and Dependence Behaviour of Water Demand Processes at Any Fine Time Scale. *Water*, 11(5), 885. <https://doi.org/10.3390/w11050885>
- Koutsoyiannis, D. (2003). Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics. *Hydrological Sciences Journal*, 48(1), 3–24. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.1.3.43481>
- Lohman, S. W. (1972). *Ground-water hydraulics* (Vol. 708). US Government Printing Office.
- Loucks, D. P. (2000). Sustainable water resources management. *Water International*, 25(1). <https://doi.org/10.1080/02508060008686793>
- Makropoulos, C., Rozos, E., Tsoukalas, I., Plevri, A., Karakatsanis, G., Karagiannidis, L., Makri, E., Lioumis, C., Noutsopoulos, C., Mamais, D., Rippis, C., & Lytras, E. (2018). Sewer-mining: A water reuse option supporting circular economy, public service provision and entrepreneurship. *Journal of Environmental Management*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.026>
- Marin, P., Tal, S., Yeres, J., & Ringskog, K. (2017). Water Management in Israel: Key Innovations and Lessons Learned for Water Scarce Countries. *World Bank Group's Water Global Practice*, August.
- Ocanas, G., & Mays, L. W. (1981). Water reuse planning models: Extensions and applications. *Water Resources Research*, 17(5). <https://doi.org/10.1029/WR017i005p01311>
- Salgot, M., & Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>
- Smith, S. K., Tayman, J., & Swanson, D. A. (2006). State and local population projections: Methodology and analysis.
- Sumioka, S., and Bauer, H. H. (2003). "Estimating ground-water recharge from precipitation on Whidbey and Camano Islands, Island County, Washington, water years 1998 and 1999." US Department of the Interior, US Geological Survey
- Tsoukalas, I., Efstratiadis, A., & Makropoulos, C. (2017). Stochastic simulation of periodic processes with arbitrary marginal distributions. In 15th International Conference on Environmental Science and Technology. CEST 2017. Rhodes, Greece.
- Tsoukalas, I., Efstratiadis, A., & Makropoulos, C. (2018a). Stochastic Periodic Autoregressive to Anything (SPARTA): Modeling and Simulation of Cyclostationary Processes With Arbitrary Marginal Distributions. *Water Resources Research*, 54(1), 161–185. <https://doi.org/10.1002/2017WR021394>
- Tsoukalas, I., Makropoulos, C., & Koutsoyiannis, D. (2018b). Simulation of Stochastic Processes Exhibiting Any-Range Dependence and Arbitrary Marginal Distributions. *Water Resources Research*, 54(11), 9484–9513. <https://doi.org/10.1029/2017WR022462>
- Tsoukalas, I., Efstratiadis, A., & Makropoulos, C. (2019). Building a puzzle to solve a riddle: A multi-scale disaggregation approach for multivariate stochastic processes with any marginal distribution

and correlation structure. *Journal of Hydrology*, 575, 354–380.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.017>

Tsoukalas, I., Kossieris, P., & Makropoulos, C. (2020). Simulation of Non-Gaussian Correlated Random Variables, Stochastic Processes and Random Fields: Introducing the anySim R-Package for Environmental Applications and Beyond. *Water*, 12(6), 1645. <https://doi.org/10.3390/w12061645>

UNESCO Working Group M.IV. 1999. Sustainability Criteria for Water Resource Systems. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

United States Geological Survey (USGS ) (2013). "Groundwater. " <http://pubs.usgs.gov/gip/gw/> ,  
Accessed on: February 25, 2016.

Voudouris K. (2011): «Artificial Recharge via Boreholes Using Treated Wastewater: Possibilities and Prospects», *Water* 3(4), pp. 965-975

Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>

Wade Miller, G. (2006). Integrated concepts in water reuse: Managing global water needs. *Desalination*, 187(1–3). <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.068>

Waller, R. M. (1988). Ground Water and the Rural Homeowner. *U.S Department of the Interior/Geological Survey*.

World Commission on Environment and Development. (2017). Brundtland Report - Our common future. *Our Common Future*.

WWAP. (2017). Wastewater: The untapped resource. In *The United Nations World Water Development Report. Wastewater: The Untapped Resource*.

## 9.2. Ελληνική Βιβλιογραφία

Ευστρατιάδης, Α., Ν. Μαμάσης, και Χ. Μακρόπουλος, , Οκτώβριος 2019. Συνοπτική τεχνική έκθεση περί της εκτίμησης της δυναμικότητας του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας, Εκσυγχρονισμός της διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας – Αναθεώρηση, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 30 σελίδες.

Κουτσογιάννης, Δ. (2011). Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης.

Σούλιος, Γ. (2004). Γενική υδρογεωλογία, Τρίτος τόμος, ΣΤ. Αποθέματα και διαχείριση του υπογείου νερού. Εκδοτικός οίκος αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 199-249.

«Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών Των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής – Κ.Ε.Λ. ΔΗΜΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ» που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.

«Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών Των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής – Κ.Ε.Λ. ΔΗΜΩΝ ΡΑΦΗΝΑΣ-ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ ΚΑΙ ΣΠΑΤΩΝ-ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ» που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.

«Γενικό Σχέδιο Επαναχρησιμοποίησης των Επεξεργασμένων Εκροών Των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Ανατολικής Αττικής – Κ.Ε.Λ. ΔΗΜΟΥ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ» που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡ.20580/2020 ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΟΥ Δ.Σ ΤΗΣ ΕΥΔΑΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΔΗΜΩΝ ΚΡΩΠΙΑΣ κ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ ΣΤΟ ΚΕΛ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΡΟΗΣ ΠΡΟΣ ΑΠΕΡΙΟΡΙΣΤΗ ΑΡΔΕΥΣΗ/ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ: που ανατέθηκε στο μελετητικό γραφείο: ΕΜΒΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.

ΕΓΚΡΙΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ (ΣΔΛΑΠ) – 1Η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ

Εγκεκριμένα ΣΔ: ΥΔ06/08 – Ανθρωπογενείς Πιέσεις Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεων τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα

ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ Β' 354/2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις»

ΚΥΑ 191002/2013 (ΦΕΚ Β' 2220/2013) «Τροποποίηση της ΚΥΑ 145116/2011»

ΚΥΑ Φ/16/6631 (ΦΕΚ Β' 428/1989) «Μηνιαία όρια για τη χρήση αρδευτικού νερού ανάλογα με τις καλλιέργειες και τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας»

### 9.3. Ιστοσελίδες

[GEODATA.gov.gr](http://GEODATA.gov.gr)

[Google Earth](http://Google Earth)

[Worldometer - real time world statistics \(worldometers.info\)](http://Worldometer - real time world statistics (worldometers.info))

[meteo.gr](http://meteo.gr): Μετεωρολογικοί Σταθμοί Δικτύου



[Reclaimed water - Wikipedia](#)

[ΕΥΔΑΠ-ΠΡΟΚΗΡΥΞΕΙΣ ΕΡΓΩΝ \(eydap.gr\)](#)

[Water Reuse - Environment - European Commission \(europa.eu\)](#)

[Γεωπόλη – wfdver.ypeka.gr](#)

[SSW - Wastewater Treatment Plants \(ypeka.gr\)](#)

[Hydraulic Properties :. Aquifer Testing 101 \(aqtesolv.com\)](#)

[Alliance for Water Efficiency](#)



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

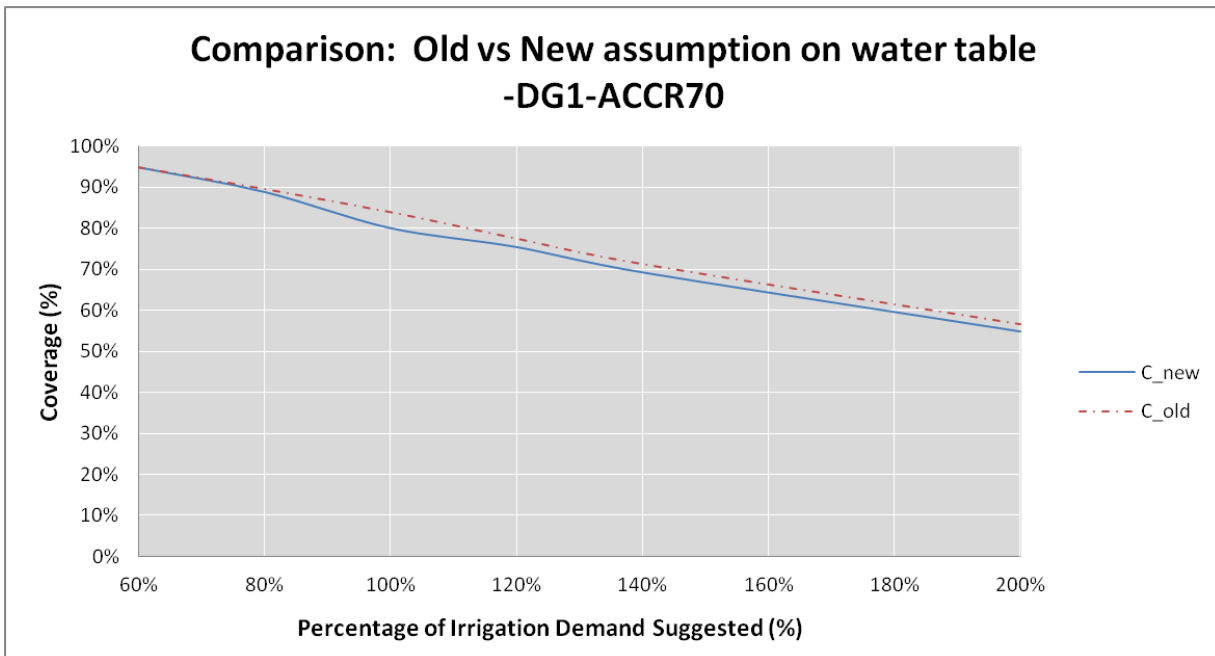
- Τεκμίσωση και προσομοίωση διαφορετικής παραδοχής για ΥΥΣ Μαραθών
- ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ Β' 354/2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις»
- ΚΥΑ 191002/2013 (ΦΕΚ Β' 2220/2013) «Τροποποίηση της ΚΥΑ 145116/2011»
- ΚΥΑ Φ/16/6631 (ΦΕΚ Β' 428/1989) «Μηνιαία όρια για τη χρήση αρδευτικού νερού ανάλογα με τις καλλιέργειες και τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας»

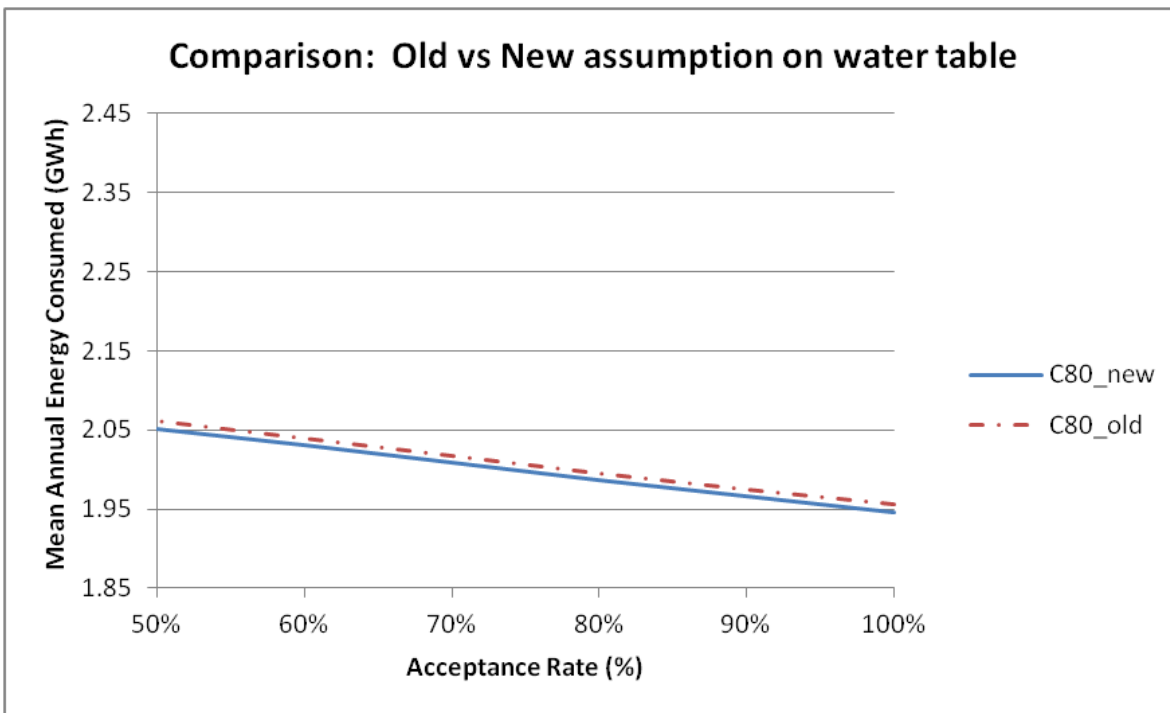
## ➤ Τεκμίωση και προσομοίωση διαφορετικής παραδοχής για ΥΥΣ Μαραθών

Στο ΥΥΣ - ταμειυτήρα Μαραθώνα, ορίστηκε η διατήρηση ενός μηνιαία μεταβαλλόμενου στόχου ελάχιστου αποθέματος ασφαλείας, ως προς απάντηση της κακής αρχικά ποσοτικής του κατάστασης σε αντίθεση με το ΥΥΣ - ταμειυτήρα Β. Μεσογείων και Παιανίας Κορωπίου στο οποίο τέθηκε ένα σταθερό κατώτατο όριο στάθμης ως στόχος του μοντέλου.

Πρακτικά η παραδοχή που λήφθηκε για το αυξανόμενο κατώτατο όριο, πέραν του ότι απαντάει στην αρχικά ΚΑΚΗ ποσοτική κατάσταση του ΥΥΣ Μαραθώνα, αποτελεί απόδειξη πως το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να υπηρετεί μία πολιτική διαχείρισης αύξησης των υπόγειων αποθεμάτων των ΥΥΣ. Η επιπλέον ποσότητα που καλείται να αποθηκεύσει το μοντέλο, ήτοι  $\approx 23 \text{ hm}^3$ , αναλογεί σε διαφορά στάθμης του ΥΟ περίπου .4.5 m. Η ποσότητα αυτή είναι ενδεικτική και δεν αποτελεί απόρροια κάποιας επιστημονικής διαδικασίας. Ο διαχειριστής είναι επομένως κύριος των στόχων που θα θέσει, ενώ αυτοί θα έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα άμα γίνουν ειδικές γεωδρολογικές μελέτες προς ορισμό τους.

Σε κάθε περίπτωση παρατίθενται αποτελέσματα, για το ίδιο μοντέλο με παραδοχή στο ΥΥΣ Μαραθώνα όμοια με αυτή του ΥΥΣ Β.Μεσογείων. Τα αποτελέσματα υλοποιούνται για ένα Connected σύστημα, για είσοδο λυμάτων σύμφωνη με την προβολή της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. και για ανάγκες σύμφωνα με το Demand Group 1. Τόσο τα αποτελέσματα ανθεκτικότητας του μοντέλου (για ένα σενάριο κοινωνικής αποδοχής 70-30%) όσο και τα ενεργειακά αποτελέσματα, παρουσιάζονται και συγκρίνονται με τα ήδη υπάρχοντα στα παρακάτω σχήματα:





Είναι εμφανές πως η επιρροή της μεμονομένης παραδοχής είναι μικρή και δεν εξετάστηκαν περεταίρω σενάρια.



