

ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δημήτριος ΜΑΡΚΟΥ^{1*}, Κατερίνα ΣΤΑΜΑΤΕΛΑΤΟΥ^{2,3}

¹SD-ECO (Σύμβουλοι Μηχανικοί Βιώσιμης Ανάπτυξης)

²Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

³Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

*e-mail: dmarkou@sd-eco.gr

Το Πρόβλημα

Η λειψυδρία (η οποία επιτείνεται λόγω και της κλιματικής αλλαγής) και η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων οδηγεί στην ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση, αλλά ακόμη και για ανθρώπινη κατανάλωση (πόσιμο νερό ή μη).

Η Αντιμετώπιση

Η ανάγκη αυτή οδηγεί, με τη σειρά της, στην έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών προχωρημένης επεξεργασίας για την αφαίρεση εκείνων των ρύπων που εμποδίζουν την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

Νομικό Πλαίσιο

- Με την **Οδηγία 2000/60/ΕΚ** «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων», όπως αυτή ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία με το Νόμο 3199/2003, επιβάλλεται πλέον η ανάκτηση κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος.
- **ΚΥΑ 145116/2011** για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.
- Στα εγκεκριμένα (αναθεωρημένα) **Σχέδια Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής των Ποταμών (ΣΔΛΑΠ)** δίνεται σαφής κατεύθυνση για την αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης νερού σε υποδομές εγγείων βελτιώσεων μέσω και της χρήσης εναλλακτικών πηγών νερού (πχ. ανακυκλωμένα ή/και επαναχρησιμοποιούμενα ύδατα) για άρδευση

Ορισμοί

- **ΜΕΥΑ:** Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων
- **ΕΕΛ:** Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
- Ως **αναβάθμιση** μιας ΜΕΥΑ νοείται η αύξηση της δυναμικότητάς της σε ό,τι αφορά την παροχή των υγρών αποβλήτων που μπορεί να επεξεργαστεί ή η βελτίωση της ποιότητας εκροής που επιτυγχάνει με την προσθήκη νέων τεχνολογιών αφαίρεσης ρύπων.
- Ως **μετασκευή** μιας ΜΕΥΑ νοείται η χρήση των δομικών μερών της και του εξοπλισμού της με διαφορετικό τρόπο από αυτόν με τον οποίο είχε σχεδιαστεί να λειτουργήσει, ώστε να επιτευχθεί αύξηση της δυναμικότητάς της ή η βελτίωση της ποιότητας εκροής.
- **MBR:** Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών
- **ΑΣΑΡ:** Αμμόφιльтра Συνεχούς Ανοδικής Ροής

Απαίτηση αναβάθμισης ή/και μετασκευής μιας ΜΕΥΑ

Η **ανάγκη** αναβάθμισης ή/και μετασκευής μιας ΜΕΥΑ ανακύπτει λόγω:

- αύξησης του εξυπηρετούμενου πληθυσμού στην περιοχή που καλύπτει μια ΜΕΥΑ
- αύξησης της έκτασης της περιοχής που καλύπτει μια ΜΕΥΑ
- αυστηροποίησης των ορίων εκροής
- παρωχημένης τεχνολογίας επεξεργασίας
- απαρχαιωμένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

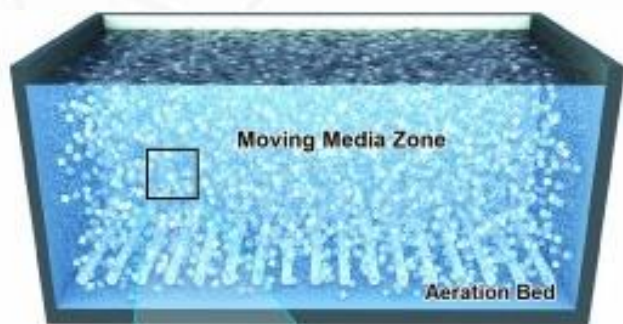
Τρόποι αναβάθμισης ή/και μετασκευής μιας ΜΕΥΑ

Η αναβάθμιση ή/και μετασκευή των ΜΕΥΑ **επιτυγχάνεται μέσω:**

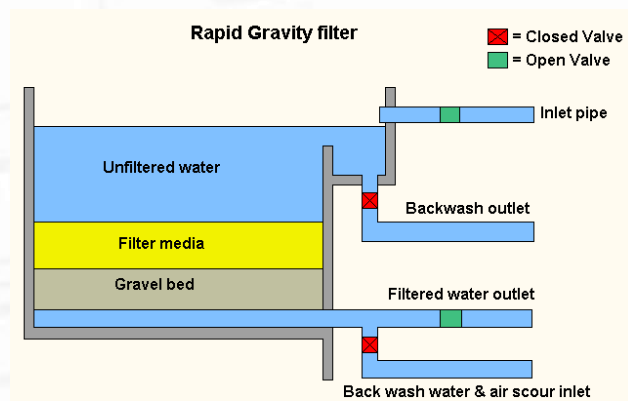
- της προσθήκης νέων τεχνολογιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων
- της προσθήκης νέων τεχνολογιών επεξεργασίας της ιλύος
- της προσθήκης οργάνων ελέγχου των λειτουργιών
- της αντικατάστασης ή/και συντήρησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Τεχνολογίες αναβάθμισης ή/και μετασκευής μιας ΜΕΥΑ

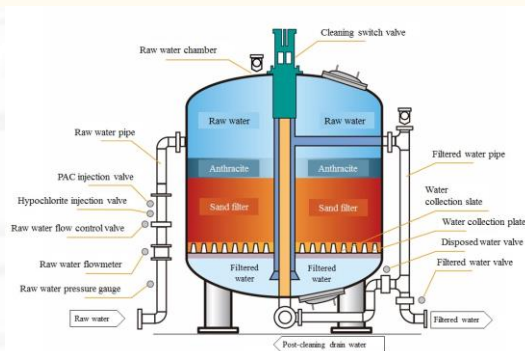
Αντιδραστήρες Αιωρούμενης - Προσκολλημένης Βιομάζας (Moving Bed Biofilm Reactors - MBBRs)



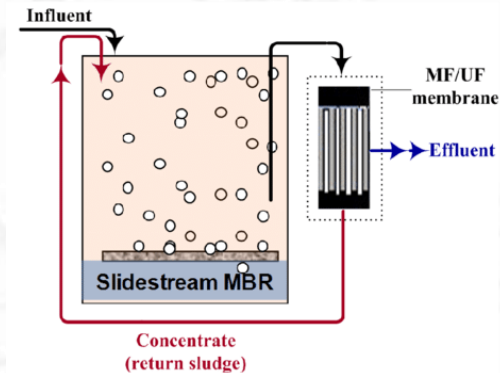
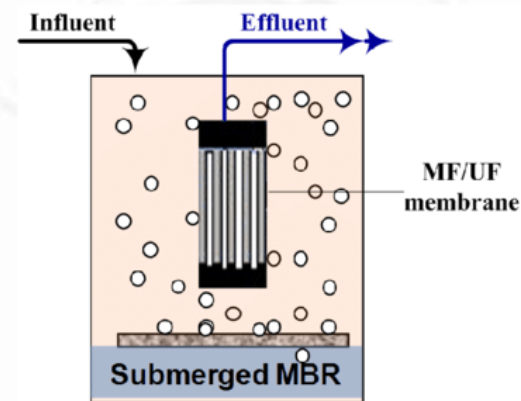
Φίλτρα Άμμου



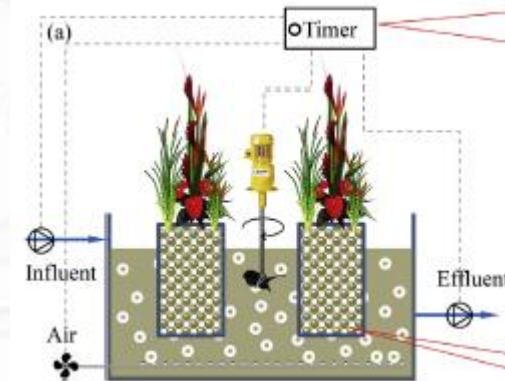
This is the filter in normal operation inlet & outlet valves open



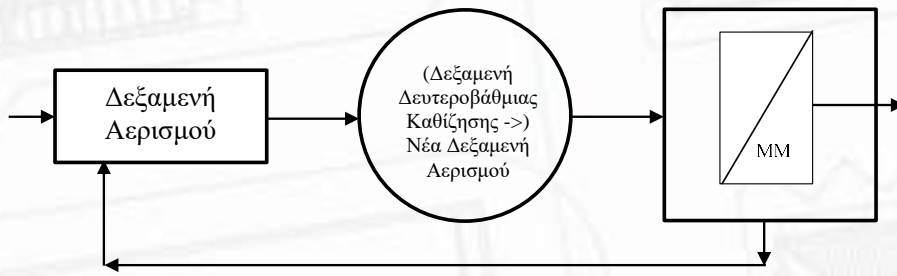
Συστήματα Μεμβρανών



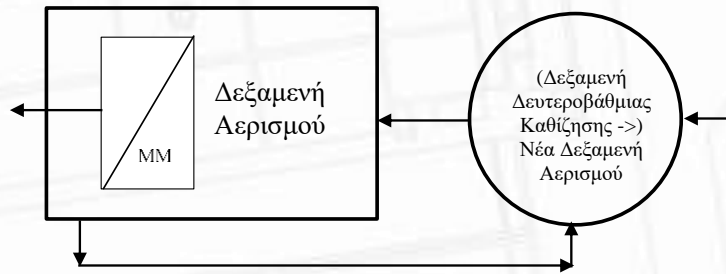
Φυσικά Συστήματα



Υβριδικά Συστήματα Μεμβρανών

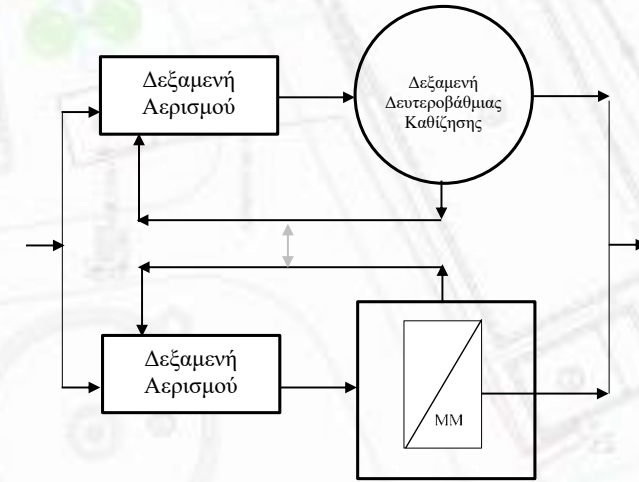


(α)

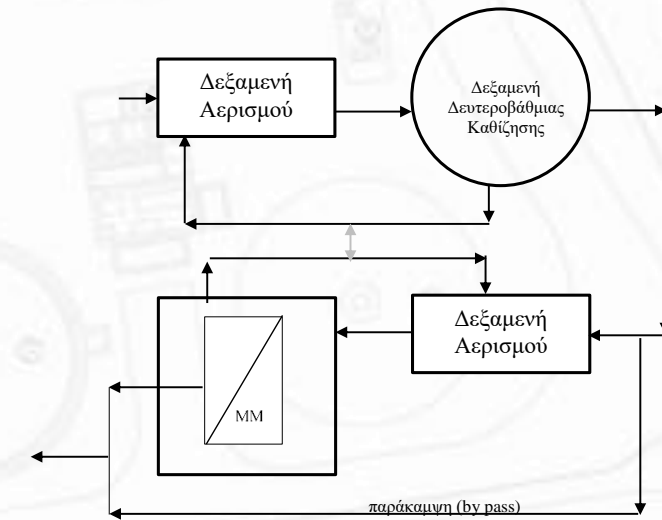


(β)

Σχήμα 3. Διάταξη Αναβάθμισης Υφιστάμενης ΜΕΥΑ με Μετατροπή της Δεξαμενής Δευτεροβάθμιας Καθίξεσης σε Πρόσθετη Δεξαμενή Αερισμού και Προσθήκη Μονάδων Μεμβρανών (MM) (α) εκτός της Δεξαμενής Αερισμού και (β) εντός της Δεξαμενής Αερισμού με Αντιστροφή της Ροής



(α)



(β)

Σχήμα 4. Διάταξη Αναβάθμισης Υφιστάμενης ΜΕΥΑ με Διατήρηση της Δεξαμενής Δευτεροβάθμιας Καθίξεσης και Προσθήκη Μονάδων Μεμβρανών (MM) (α) παράλληλα και (β) σε σειρά

Μεθοδολογία αναβάθμισης ή/και μετασκευής μιας ΜΕΥΑ

Η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθείται κατά την αναβάθμιση ή/και μετασκευή μιας ΜΕΥΑ θα πρέπει να ακολουθεί τα εξής **βήματα**:

- Εργασίες Γραφείου
- Αξιολόγηση Απόδοσης – Προσδιορισμός Περιοριστικών Παραγόντων
- Προσδιορισμός Εναλλακτικών Λύσεων
- Αξιολόγηση Εναλλακτικών Λύσεων
- Επιλογή Βέλτιστης Εναλλακτικής Λύσης
- Εφαρμογή Βέλτιστης Εναλλακτικής Λύσης

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ



Μελέτες Περίπτωσης

ΕΕΛ Νέων Κερδυλίων

Πρόκειται για την υφιστάμενη ΕΕΛ Νέων Κερδυλίων, τύπου Ενεργού Ιλύος Ασυνεχούς Λειτουργίας (Sequential Batch Reactor – SBR), δυναμικότητας 1.200 ΙΚ)



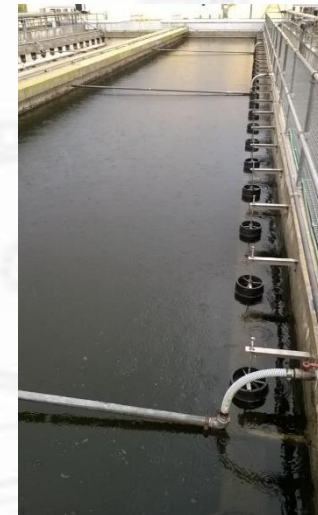
ΕΕΛ Νέας Ζίχνης

Πρόκειται για την υφιστάμενη ΕΕΛ Νέας Ζίχνης, τύπου Ενεργού Ιλύος, δυναμικότητας 5.000 ΙΚ που κατασκευάστηκε κατά τη δεκαετία του 1990, αλλά δε λειτούργησε ποτέ



ΕΕΛ Ελευθερών

Πρόκειται για την υφιστάμενη ΕΕΛ Ελευθερών, τύπου Ενεργού Ιλύος, δυναμικότητας 40.000 ΙΚ



ΕΕΛ Ορφανού

Πρόκειται για την υφιστάμενη ΕΕΛ Ορφανού, τύπου Ενεργού Ιλύος, δυναμικότητας 18.900 ΙΚ



Σχεδιασμός αναβάθμισης - μετασκευής ΜΕΥΑ

Ο σχεδιασμός της αναβάθμισης ή/και μετασκευής των υπό μελέτη ΕΕΛ έγινε με βάση **νομοθετήματα και πρότυπα**, όπως:

- ΠΔ 696/1974
- ΚΥΑ 5673/400/1997
- ΚΥΑ 145116/2011
- Εγκύκλιος 1553/ 27-10-2011 του ΥΠΕΚΑ
- Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΕΤΕΠ) του ΕΛΟΤ
- Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) του ΕΛΟΤ
- ATV A 200E 'Principles for the Disposal of Wastewater in Rurally Structured Areas' (1997)
- ATV A 200E 'Disinfection of Biologically Treated Wastewater' (1998)

Διαστασιολόγηση Μονάδων Μεμβρανών

Η επιτρεπόμενη υδραυλική φόρτιση των μεμβρανών (σε L/m²/h) για θερμοκρασίες μικρότερες των 20 °C δίδεται από την παρακάτω σχέση (σύμφωνα με την Εγκύκλιο 1553/ 27-10-2011 του ΥΠΕΚΑ):

$$F = F_0 \times (1,025)^{(T-20)}$$

όπου:

F = επιτρεπόμενη υδραυλική φόρτιση σε θερμοκρασία T (°C)

F₀ = επιτρεπόμενη υδραυλική φόρτιση σε θερμοκρασία T ≥ 20 °C

Στη συνέχεια υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια των μεμβρανών (A_χ και A_κ) για το χειμώνα και το καλοκαίρι, αντίστοιχα, από τη σχέση:

$$A = F / Q$$

όπου:

Q = παροχή των λυμάτων

Διαστασιολόγηση Μονάδων Μεμβρανών

ΕΕΛ Νέας Ζίχνης

Παροχή Λυμάτων	F ₀	Α' Φάση		Β' Φάση		Α' Φάση		Β' Φάση	
		F _χ	F _κ	F _χ	F _κ	A _χ	A _κ	A _χ	A _κ
Μέση ημερήσια	≤ 20,00	16	20	16	20	1.675	1.833	2.234	2.292
Μέγιστη ημερήσια	≤ 30,00	25	30	25	30	2.686	2.791	3.400	3.362
Μέγιστη ωριαία	≤ 40,00	33	40	25	30	4.143	4.306	5.246	5.187

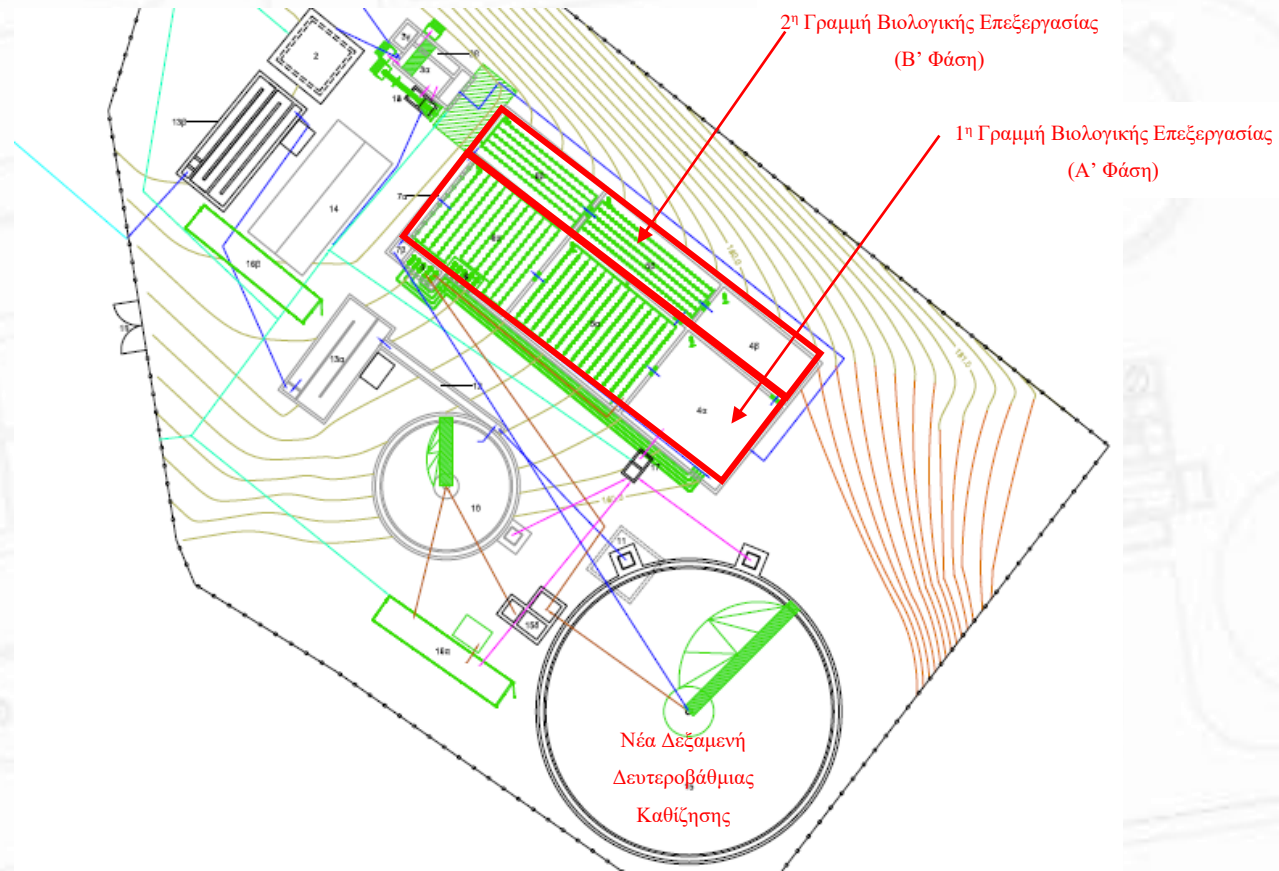
Θα εγκατασταθούν συνολικά 18 δομοστοιχεία μεμβρανών, 9 σε καθεμιά από τις 2 δεξαμενές αερισμού της 2^{ης} Γραμμής Επεξεργασίας. Δηλαδή, η συνολική επιφάνεια των μεμβρανών θα ανέρχεται σε:

- $18 \times 300 \text{ m}^2 = 5.400 \text{ m}^2$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Διαστασιολόγηση Μονάδων Μεμβρανών

ΕΕΛ Νέας Ζίχνης



Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Για την οικονομική αξιολόγηση των διαθέσιμων τεχνολογιών αναβάθμισης ή/και μετασκευής των υφιστάμενων ΕΕΛ της Ελλάδας χρησιμοποιήθηκε καταρχήν η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε από τον Κολικονιάρη (2012), τροποποιημένη σε ορισμένα σημεία. Σύμφωνα με αυτή, τα κόστη διαχωρίζονται σε πάγια (κατασκευαστικά) και λειτουργικά. Για να μπορούν τα πάγια κόστη να αξιολογηθούν και να συνυπολογισθούν με τα λειτουργικά, ανάγονται σε κόστη εξυπηρέτησης κεφαλαίου ετήσιας βάσης. Από το άθροισμα του ανηγμένου ετήσιου κόστους εξυπηρέτησης κεφαλαίου και του ετήσιου κόστους συντήρησης και λειτουργίας προκύπτει το ανηγμένο συνολικό ετήσιο κόστος.

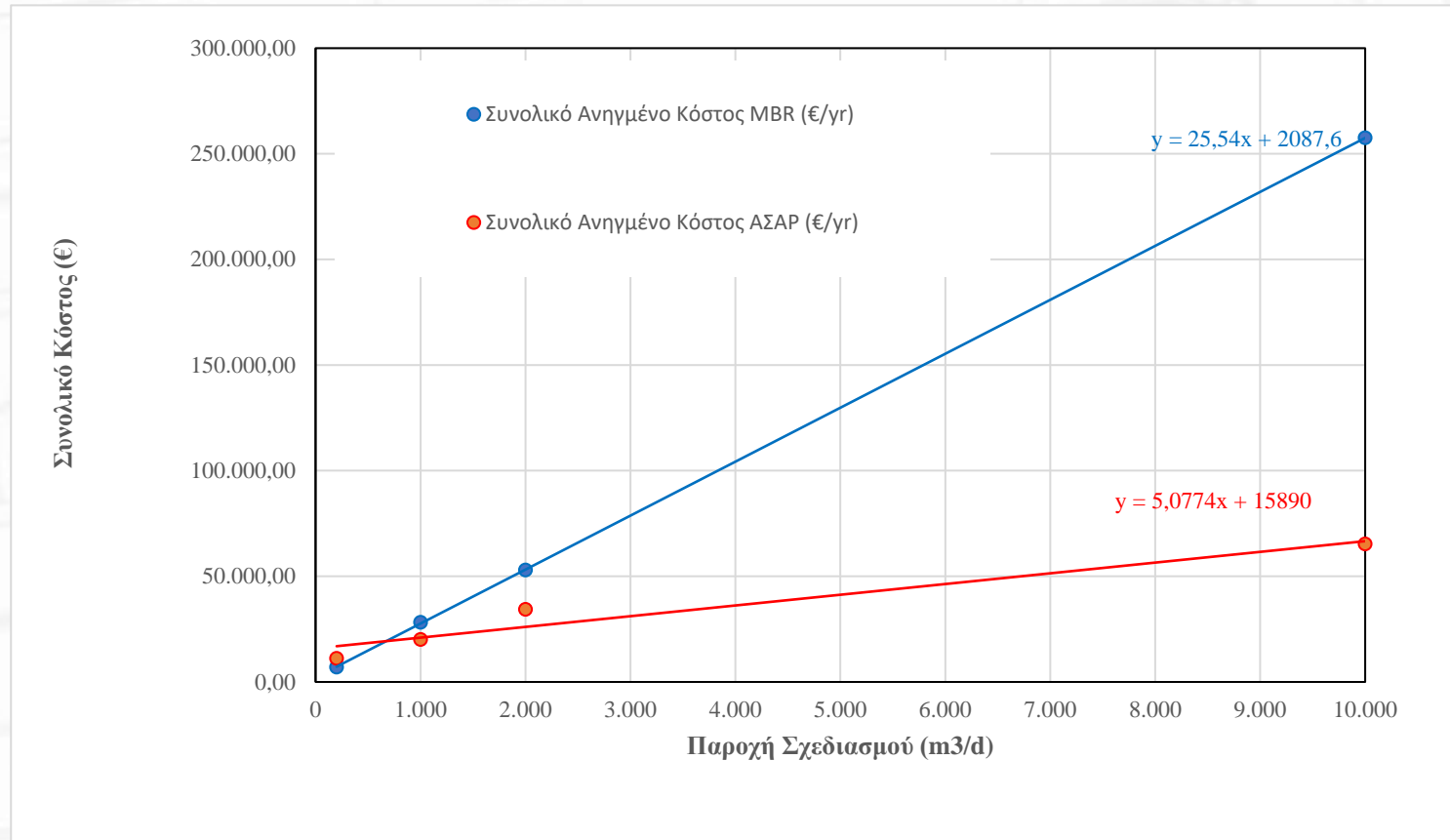
Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Οι τροποποιήσεις που έγιναν στην παραπάνω μεθοδολογία είναι οι εξής:

- Αξιολογήθηκαν μόνο οι εναλλακτικές λύσεις που αφορούν την αστική χρήση και όχι την περιορισμένη άρδευση ή την απεριόριστη άρδευση, όπως αυτές ορίζονται στην ΚΥΑ 145116/2011, καθώς μόνο σε αυτή την περίπτωση προβλέπεται η χρήση μεμβρανών και συγκρίνονται με τα αμμόφιλτρα συνεχούς ανοδικής ροής
- Η διάρκεια ζωής των ηλεκτρομηχανολογικών έργων (ΗΜ) θεωρήθηκε ίση με 20 έτη και όχι 15, όπως θεώρησε ο Κολικονιάρης (2012), για λόγους συμμόρφωσης με την Ελληνική νομοθεσία (ΠΔ 696/1974) και τις Ελληνικές τεχνικές προδιαγραφές (Εγκύκλιος της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων με ΑΠ 1553/27-10-2011)
- Οι υπολογισμοί επικεντρώθηκαν στις παροχές σχεδιασμού έως και 10.000 m³/d, καθώς αυτό το όριο είναι πιο κοντά στις περιπτώσεις που μελετώνται στη συγκεκριμένη εργασία

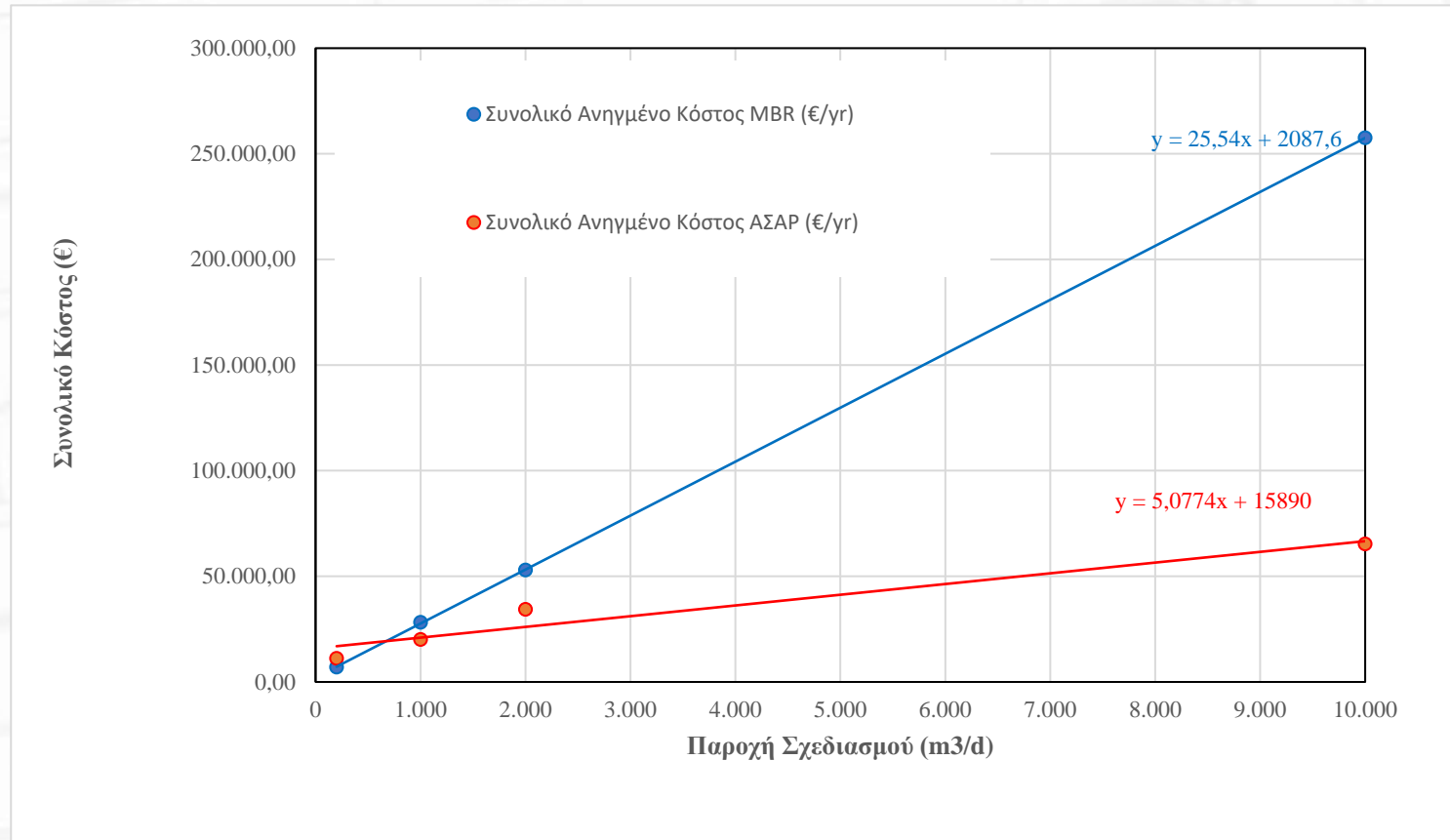
Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Σύγκριση Ανηγμένου Συνολικού Ετήσιου Κόστους MBR και ΑΣΑΡ



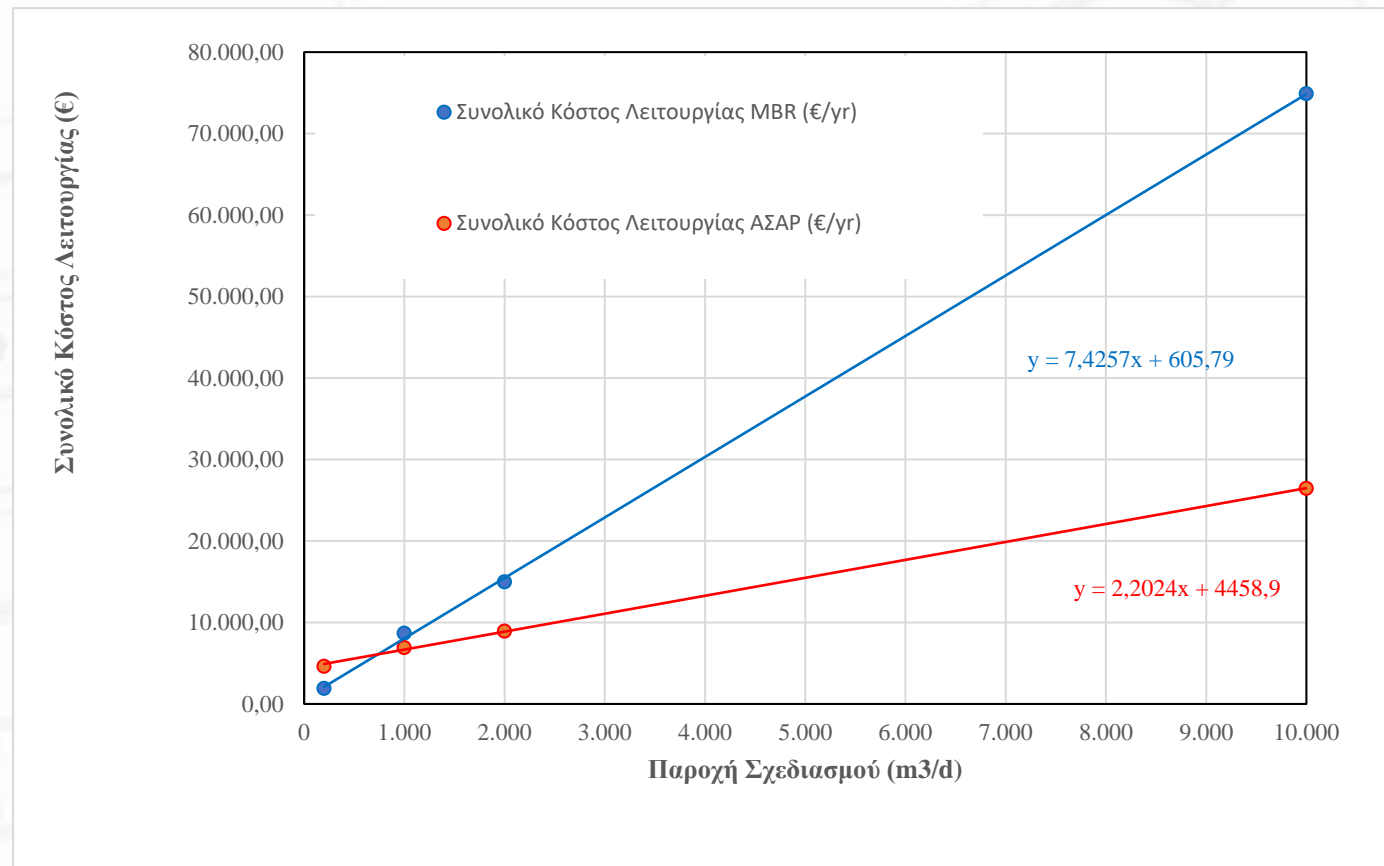
Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Σύγκριση Ανηγμένου Συνολικού Ετήσιου Κόστους MBR και ΑΣΑΡ



Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Σύγκριση Συνολικού Κόστους Συντήρησης και Λειτουργίας MBR και ΑΣΑΡ

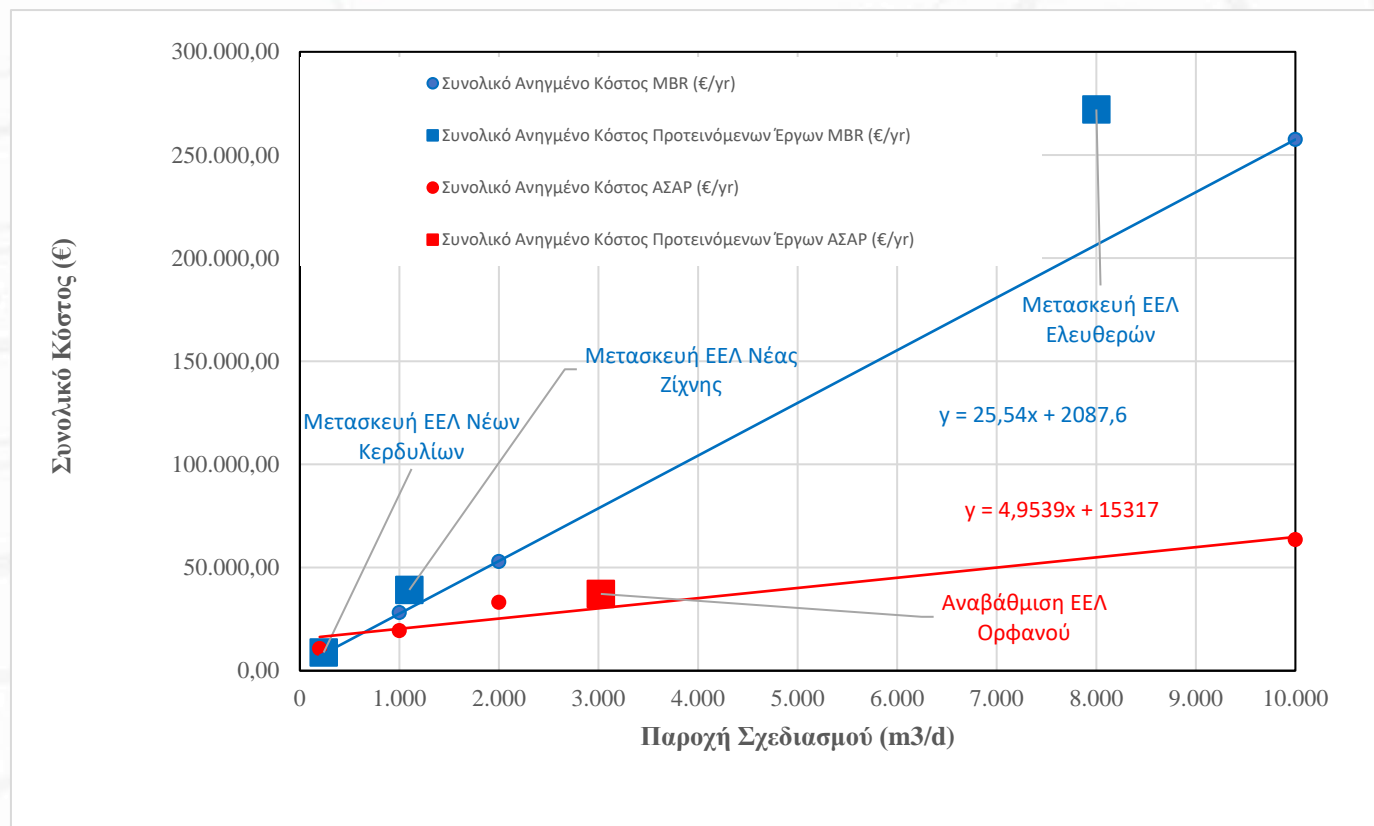


Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η διαστασιολόγηση των Μονάδων Μεμβρανών, για τις οποίες υπολογίστηκαν τα ανωτέρω κόστη, έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτές τοποθετούνται εντός των υφιστάμενων δεξαμενών αερισμού, ενώ τα Αμμόφιλτρα Συνεχούς Ανοδικής Ροής τοποθετούνται αμέσως κατάντη των δεξαμενών αερισμού. Δηλαδή, οι Μονάδες Μεμβρανών καλούνται να επεξεργαστούν λύματα με πολύ υψηλότερη συγκέντρωση στερεών (εντός της δεξαμενής αερισμού) από τα ΑΣΑΡ (που δέχονται τα λύματα από την έξοδο της δεξαμενής αερισμού). Αυτό σημαίνει ότι αυξάνονται οι ενεργειακές ανάγκες για τη λειτουργία των μεμβρανών, καθώς απαιτείται αέρας με μεγαλύτερη πίεση για να διαπεράσουν τα λύματα τη μεμβράνη, αλλά και για να την καθαρίσει (με αντίστροφη ροή). Έτσι, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας των MBR παρουσιάζεται αρκετά υψηλότερο από αυτό των ΑΣΑΡ.

Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Σύγκριση Ανηγμένου Συνολικού Ετήσιου Κόστους MBR και ΑΣΑΡ με αυτό των 4 Μελετών Περίπτωσης



Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Υποθέτοντας, συντηρητικά, ότι τα τέλη ύδρευσης είναι πλήρως ανταποδοτικά, δηλαδή ο δημότης πληρώνει το κόστος άντλησης, επεξεργασίας, μεταφοράς και διανομής του πόσιμου νερού, το οποίο καταναλώνεται και για αστική χρήση, τότε μπορούμε να συγκρίνουμε το κόστος αυτό για την καλοκαιρινή περίοδο (90 ημέρες) με το ετήσιο κόστος λειτουργίας των προτεινόμενων συστημάτων. Η επιλογή μόνο της καλοκαιρινής περιόδου γίνεται διότι ουσιαστικά η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για αστική χρήση έχει νόημα κυρίως για αυτή την περίοδο. Επιλέγουμε, επίσης συντηρητικά, να συγκριθεί το κόστος αυτό με το ετήσιο κόστος λειτουργίας των προτεινόμενων συστημάτων, καθώς αυτά θα λειτουργούν ολόκληρο το έτος και όχι μόνο κατά τη θερινή περίοδο των 90 ημερών.

Λαμβάνουμε το κόστος του πόσιμου νερού ίσο με $0,50 \text{ €/m}^3$ και για τους 3 Δήμους (Αμφίπολης, Νέας Ζίχνης, Παγγαίου), ενώ το κόστος λειτουργίας των συστημάτων μεμβρανών λαμβάνεται από τα δεδομένα του Κολικονιάρη (2012) με γραμμική παρεμβολή.

Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

Σύγκριση Κόστους Πόσιμου Νερού και Επαναχρησιμοποιημένων Λυμάτων για Αστική Χρήση για τις 4 Μελέτες Περίπτωσης

Έργο	Παροχή Σχεδιασμού (m ³ /d)	Κόστος Πόσιμου Νερού (€/m ³)	Ημερήσιο Κόστος Πόσιμου Νερού (€/d)	Κόστος Πόσιμου Νερού Θερινής Περιόδου (€/yr)	Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας MBR / ΑΣΑΡ (€/yr)	Ετήσιο Πλεόνασμα (€/yr)
Μετασκευή ΕΕΛ Νέων Κερδυλίων	240	0,50	120,00	10.800,00	2.207,52	8.592,48
Μετασκευή ΕΕΛ Νέας Ζίχνης	1.100	0,50	550,00	49.500,00	9.303,12	40.196,88
Μετασκευή ΕΕΛ Ελευθερών	8.000	0,50	4.000,00	360.000,00	59.918,40	300.081,60
Αναβάθμιση ΕΕΛ Ορφανού	3.024	0,50	1.512,00	136.080,00	12.220,97	123.859,03

Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

- Παρατηρούμε ότι και στις 4 Μελέτες Περίπτωσης υπάρχει ετήσιο πλεόνασμα, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αποπληρωμή του κόστους κατασκευής των προτεινόμενων έργων αναβάθμισης ή/και μετασκευής των υφιστάμενων ΜΕΥΑ, όπως και των απαιτούμενων ξεχωριστών δικτύων διανομής των επεξεργασμένων λυμάτων (ποσοστό εθνικής συμμετοχής στο Ευρωπαϊκό Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα, στο οποίο θα ενταχθούν τα προτεινόμενα έργα).
- Επίσης, θα πρέπει να συμπληρώσουμε ότι η κατασκευή των ξεχωριστών δικτύων διανομής των επεξεργασμένων λυμάτων για αστική χρήση θα βοηθήσει στην επίλυση του προβλήματος χαμηλής πίεσης του δικτύου ύδρευσης κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής κατά τη θερινή περίοδο, κυρίως στους παραλιακούς οικισμούς, όπως είναι αυτός των Κερδυλίων και οι οικισμοί που εξυπηρετούνται από τις ΕΕΛ Ελευθερών και Ορφανού.

Οικονομική και συνδυασμένη αξιολόγηση

- Επισημαίνεται ότι πέραν της σύγκρισης του οικονομικού κόστους, εάν συνυπολογιστούν το κόστος φυσικών πόρων και το περιβαλλοντικό κόστος (όπως αυτά ορίζονται στην Οδηγία 2000/60/ΕΚ), είναι προφανές ότι η εναλλακτική λύση της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων για αστική χρήση θα είναι πολύ οικονομικότερη από τη χρήση πόσιμου νερού που προέρχεται από άντληση υπόγειων υδάτων, και το οποίο μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις.
- Το υδατικό αποτύπωμα της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων για αστική χρήση είναι κατά πολύ μικρότερο από αυτό της χρήσης του πόσιμου νερού. Το ίδιο ισχύει και για το ενεργειακό αποτύπωμα, εάν συνυπολογιστούν τα τεράστια ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την άντληση των υπόγειων υδάτων και τη μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις, ιδίως όταν πρόκειται να καλυφθούν οι ανάγκες σε πόσιμο νερό, το οποίο καταναλώνεται και για αστική χρήση στους παραλιακούς οικισμούς κατά τη θερινή περίοδο.

- Παρουσιάστηκε ο σχεδιασμός της μετασκευής ή/και αναβάθμισης 4 ΕΕΛ στον Ελλαδικό χώρο με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων για άρδευση.
- Η οικονομική αξιολόγηση έδειξε ότι τα έργα αυτά είναι βιώσιμα, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που η κατασκευή τους χρηματοδοτείται από Ευρωπαϊκά κονδύλια. Επίσης, εάν συνυπολογιστούν το κόστος φυσικών πόρων και το περιβαλλοντικό κόστος, είναι προφανές ότι η εναλλακτική λύση της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση είναι πολύ οικονομικότερη από τη χρήση πόσιμου νερού που προέρχεται από άντληση υπόγειων υδάτων, και το οποίο μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, είναι προφανές ότι το υδατικό και ενεργειακό αποτύπωμα της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση είναι κατά πολύ μικρότερο από αυτό της χρήσης του πόσιμου νερού για άρδευση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Όταν υπάρχουν διαθέσιμες εκτάσεις, θα πρέπει γενικά να προκρίνονται τα Φυσικά Συστήματα για την αναβάθμιση ή/και μετασκευή των ΜΕΥΑ, τα οποία είναι πολύ φιλικότερα προς το περιβάλλον και καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια από τα Συμβατικά Συστήματα.
- Θα πρέπει, επίσης, στις περιπτώσεις όπου τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα δεν μπορούν να διατεθούν για την άρδευση καλλιεργειών, αυτά να (επανα)χρησιμοποιούνται για την άρδευση κοινόχρηστων χώρων και κήπων εντός κατοικημένων περιοχών με την κατασκευή ξεχωριστών δικτύων.

Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!