



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΠΜΣ «ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

# **Ο αναρρυθμιστικός ρόλος της αφαλάτωσης στο ισοζύγιο νερού – ενέργειας: Εφαρμογή στο υβριδικό σύστημα της Μήλου.**

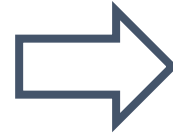
***Σπανού Μαργαρίτα-Χριστίνα***

**Επιβλέπων: Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος  
Καθηγητής ΕΜΠ**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2020**

# Στόχοι Εργασίας

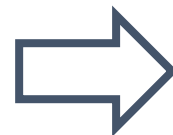
Μελέτη συστημάτων  
συνδυασμένης διαχείρισης  
νερού και ενέργειας



Μονάδες  
Αφαλάτωσης

Εφαρμογή στο σύστημα  
αφαλάτωσης-αιολικού  
πάρκου της Μήλου

Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης υδατικού  
ισοζυγίου σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της  
αιολικής ενέργειας για την ενεργειακή κάλυψη  
της μονάδας αφαλάτωσης

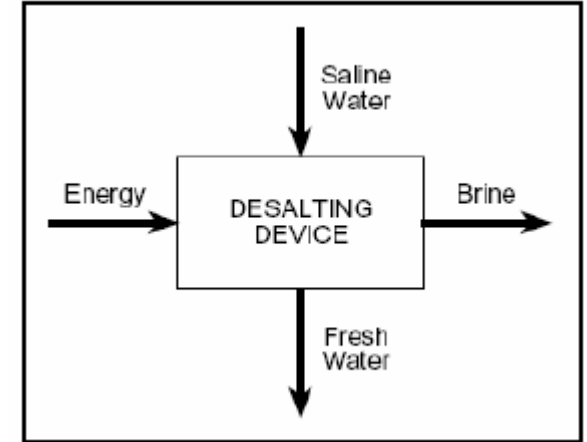


Αξιολόγηση της λειτουργίας του  
συστήματος βάσει τεχνοοικονομικών  
δεικτών για διαφορετικές διαχειριστικές  
λύσεις



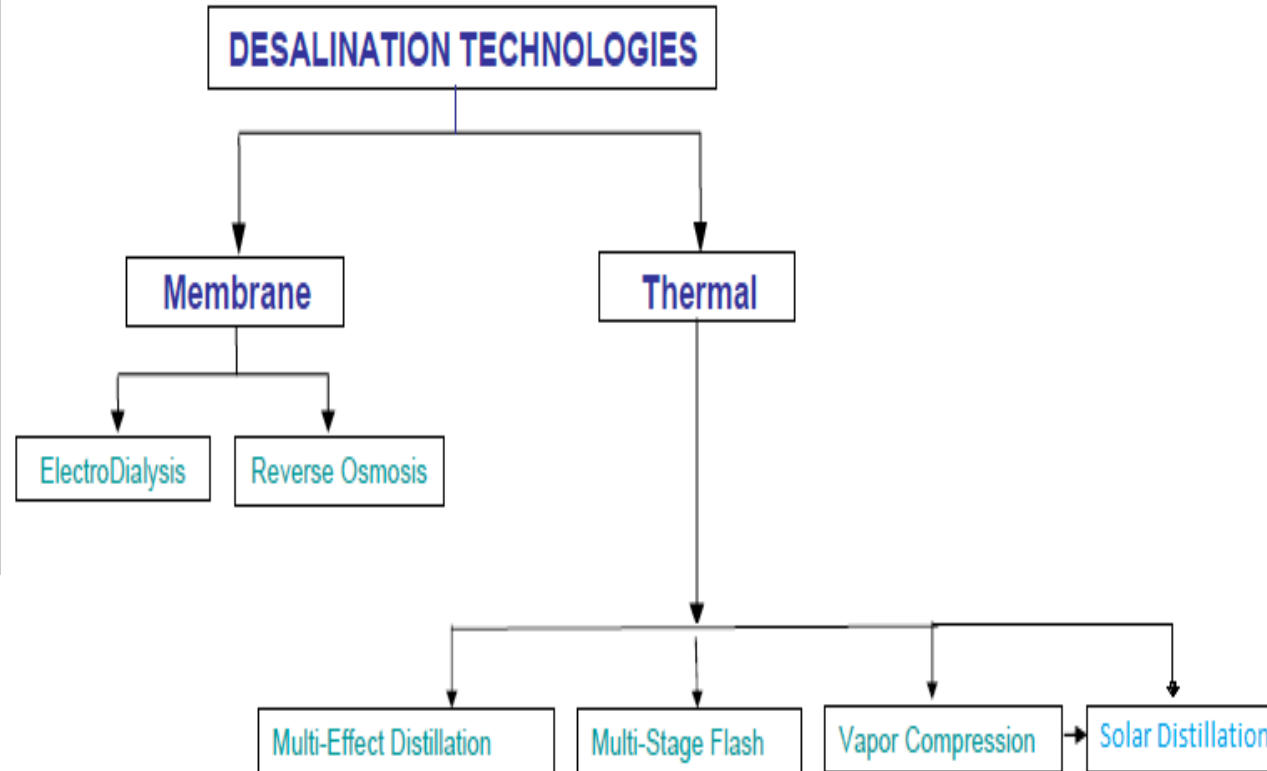
# ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

**Βασική αρχή λειτουργίας:** Ο αποτελεσματικός διαχωρισμός των αλάτων από το θαλασσινό νερό χρησιμοποιώντας την απαιτούμενη ενέργεια και παράγοντας ένα ρεύμα ύδατος με χαμηλή συγκέντρωση άλατος (ρεύμα προϊόντος) και ένα άλλο με υψηλή (άλμη).



Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης

| Μέθοδος | Νερό Τροφοδοσίας | Μορφή Ενέργειας | Ποιότητα Προϊόντος (TDS) | Παραγωγή Προϊόντος (m <sup>3</sup> /ημέρα) | Τύπος Ενέργειας   | Κατανάλωση Ενέργειας   | Κόστος Εγκατάστασης                  |
|---------|------------------|-----------------|--------------------------|--|-------------------|--|--------------------------------------|
| MSF     | Θαλασσινό        | Θερμική         | ~10                      | 1.000 – 60.000                             | Θερμική Ηλεκτρική | 290 kJ/kg<br>4 – 6 KWh/m <sup>3</sup>                                  | 1000 – 2000 €/m <sup>3</sup> /ημέρα) |
| MED     | Θαλασσινό        | Θερμική         | ~10                      | 500 – 20.000                               | Θερμική Ηλεκτρική | 270 KJ/kg<br>2,5 – 3 KWh/m <sup>3</sup>                                | 850 – 1750 €/m <sup>3</sup> /ημέρα)  |
| VC      | Θαλασσινό        | Ηλεκτρική       | ~10                      | 25 – 2.500                                 | Ηλεκτρική         | 8 – 15 KWh/m <sup>3</sup>  | 1000 – 2350 €/m <sup>3</sup> /ημέρα) |
| SWRO    | Θαλασσινό        | Ηλεκτρική       | >500                     | 0,4 - >70.000                              | Ηλεκτρική         | < 5 KWh/m <sup>3</sup><br>< 3 KWh/m <sup>3</sup> με ανάκτηση ενέργειας | 650 – 4400 €/m <sup>3</sup> /ημέρα)  |
| BWRO    | Υφάλμυρο         | Ηλεκτρική       | ~250-500                 | 2,5 – > 50.000                             | Ηλεκτρική         | 0,5 – 3 KWh/m <sup>3</sup>   | 300 – 2000 €/m <sup>3</sup> /ημέρα)  |
| ED      | Υφάλμυρο         | Ηλεκτρική       | ~300-500                 | 15 – 50.000                                | Ηλεκτρική         | 1,5 – 4 KWh/m <sup>3</sup>   | 1000 – 5000 €/m <sup>3</sup> /ημέρα) |



**Σημαντικότερος παράγοντας:**

Η ενεργειακή κατανάλωση της μεθόδου.

# ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ

| RES technology      | Feed water salinity              | Desalination technology  |
|---------------------|----------------------------------|--|
| <i>Solar energy</i> |                                  |  |
| Solar thermal       | Seawater<br>Seawater             | Multi-effect distillation (MED)<br>Multi-stage flashing (MSF)  |
| Photovoltaics       | Seawater<br>Brackish<br>Brackish | Reverse osmosis (RO)<br><br>Electrodialysis (ED)               |
| Wind energy         | Seawater<br>Brackish<br>Seawater | Reverse osmosis (RO)<br><br>Mechanical vapor compression (MVC) |
| Geothermal          | Seawater                         | Multi-effect distillation (MED)                                |

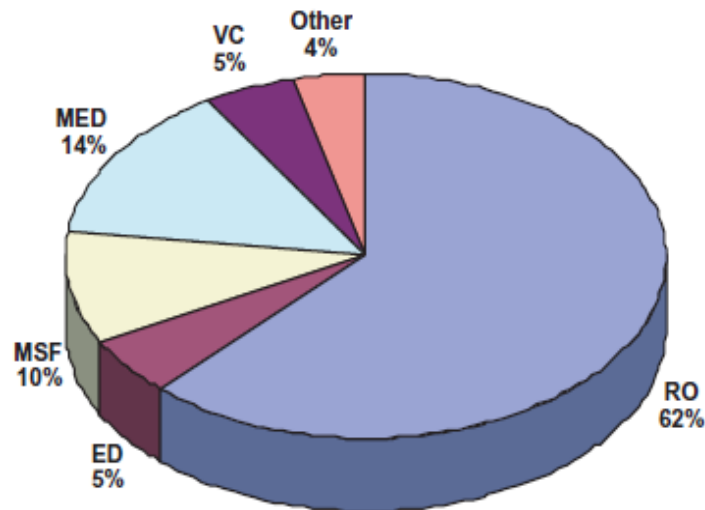
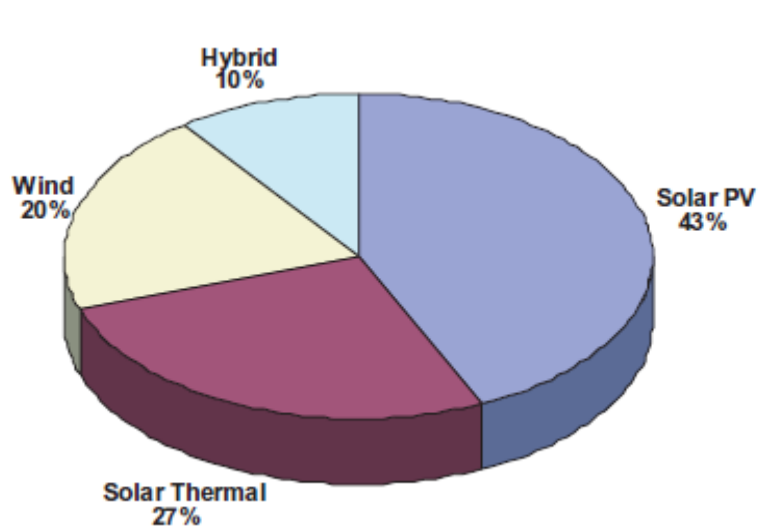
Αφαλάτωση + ΑΠΕ



Μείωση ενεργειακού κόστους



Μείωση κόστους παραγόμενου νερού



**Επικρατέστερος Συνδυασμός:**  
Χρήση φωτοβολταϊκών (PV) με  
αντίστροφη ώσμωση (RO).

# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΑΠΕ

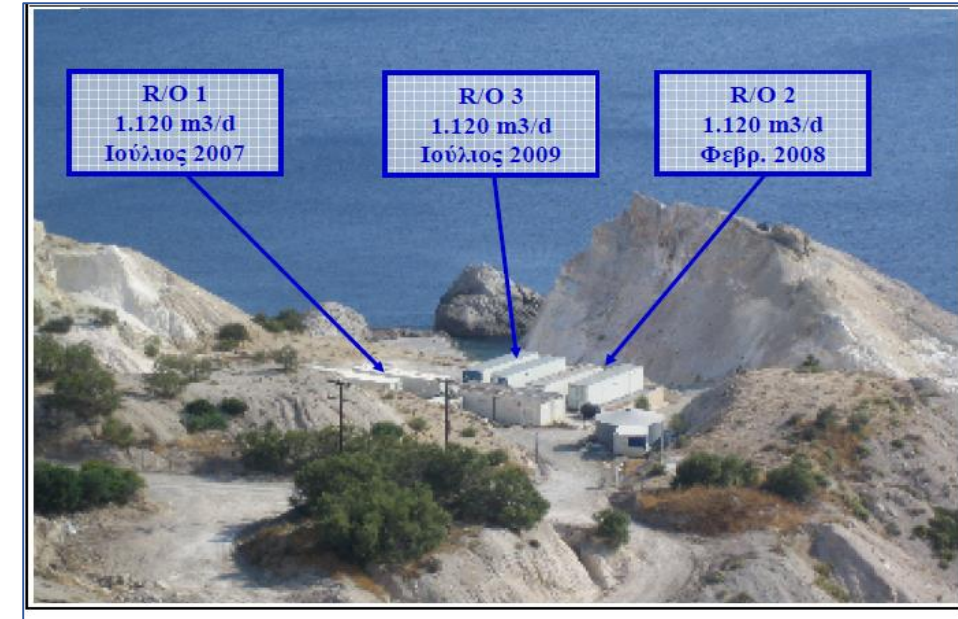
- **Πέρθ, Αυστραλία (2006):** Μονάδα αφαλάτωσης RO δυναμικότητας 140,000 m<sup>3</sup>/d με χρήση αιολικής ενέργειας από πάρκο με 48 Α/Γ
- **Sydney, Αυστραλία (2009):** Μονάδα αφαλάτωσης RO με δυναμικότητα 250,000 m<sup>3</sup>/d καταναλώνοντας αιολική ενέργεια
- **Ustica, Ιταλία (2016):** Μονάδα μεθόδου RO δυναμικότητας 1,600 m<sup>3</sup>/d με χρήση υβριδικού συστήματος (Α/Γ ισχύος 60 kW-φωτοβολταϊκά-γεννήτριες ντίζελ)
- **Κίμωλος (2000):** Μονάδα αφαλάτωσης MED με χρήση γεωθερμικής ενέργειας δυναμικότητας 80 m<sup>3</sup>/d
- **Ηρακλειά (2007):** Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης RO δυναμικότητας 70 m<sup>3</sup>/d με ανεμογεννήτρια ισχύος 30 kW και εφεδρικό σύστημα φωτοβολταϊκού πάνελ
- **Σύμη (2009):** Μονάδα δυναμικότητας 450 m<sup>3</sup>/d καταναλώνοντας ενέργεια από Α/Γ ισχύος 750 kW.
- **Μήλος (2007):** Μονάδα RO δυναμικότητας 3,360 m<sup>3</sup>/d, η οποία χρησιμοποιεί ενέργεια από αιολικό πάρκο (4 Α/Γ)



# ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΗΛΟΥ

## 1. Μονάδα Αφαλάτωσης

- Πρόκειται για μονάδα μεθόδου αντίστροφης ώσμωσης (RO), η οποία χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό.
- **Συνολική δυναμικότητα: 3,360 m<sup>3</sup> την ημέρα**
- Η μονάδα αποτελείται από **3** πανομοιότυπες υπομονάδες δυναμικότητας των **1,120 m<sup>3</sup> /d**, κάθε μία αποτελείται από 2 συστοιχίες των 560 m<sup>3</sup> /d (σύνολο 6 συστοιχίες)
- Κάθε συστοιχία αποτελείται από **42 μεμβράνες** υψηλής απόρριψης, χαμηλής ενέργειας.



## 2. Δεξαμενές Λειτουργίας-Τροφοδότησης με τον Καταθλιπτικό Αγωγό

- Το παραγόμενο νερό μεταφέρεται μέσω καταθλιπτικού αγωγού (L=2800 m) σε **4 δεξαμενές** αποθήκευσης συνολικής χωρητικότητας **3,000 m<sup>3</sup>**
- Ρυθμιστική δεξαμενή όγκου 100 m<sup>3</sup>
- Το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει 3 όμοιες αντλίες υψηλής πίεσης (η μία εφεδρική) με παροχή η καθεμιά **55 m<sup>3</sup>/h**.



# ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΗΛΟΥ

## 3. Ανεμογεννήτρια

- 2008: Επέκταση υφιστάμενου Αιολικού Πάρκου με **1 νέα Α/Γ Vestas** τύπου Vestas V-52 **ισχύος 850 kW**.
- **Σκοπός:** η ηλεκτρική ενέργεια την οποία καταναλώνει η μονάδα αφαλάτωσης από το δίκτυο, να αντισταθμίζεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εγχέεται στο δίκτυο από την ανεμογεννήτρια αυτή.
- Το Αιολικό Πάρκο (**συνολικής ισχύος 2.65 MW**) αποτελείται πλέον από **2 Vestas V-52** (2 x 850 kW) και **2 Vestas V-42** (2 x 600 kW).

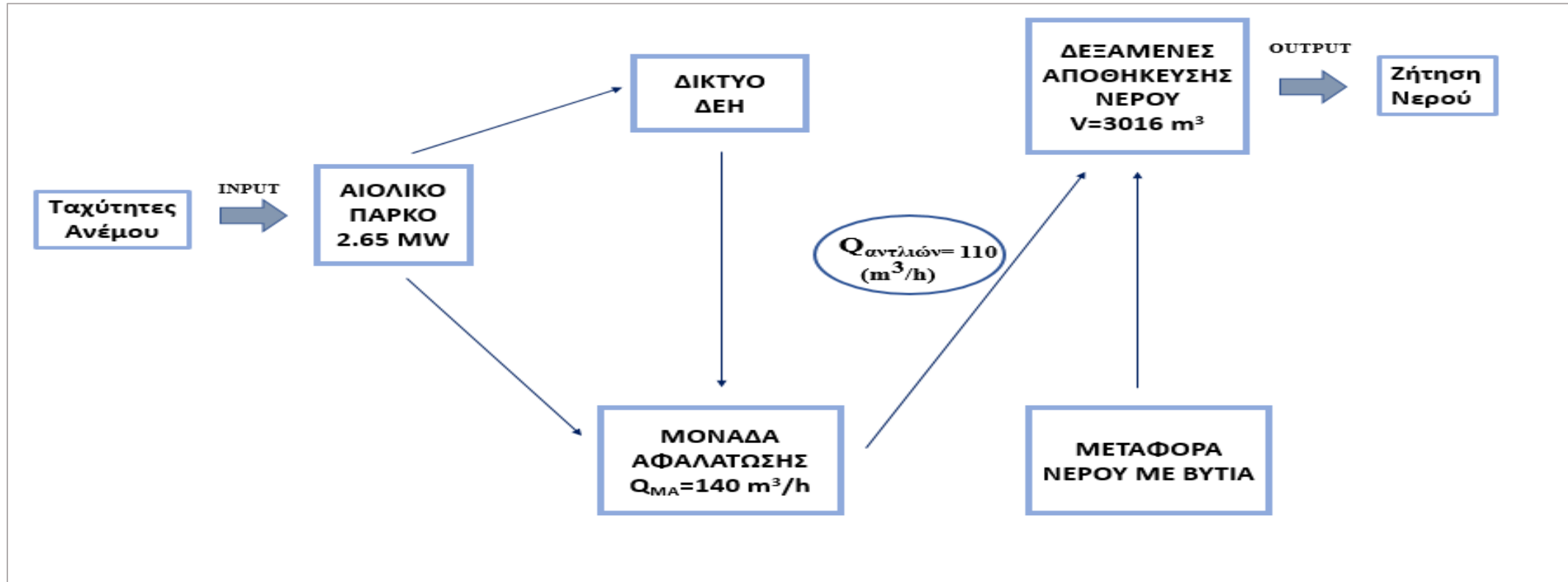
## 4. Ηλεκτρονικό Σύστημα Διαχείρισης-Λειτουργίας της Μονάδας Αφαλάτωσης-Ανεμογεννήτριας με το υπάρχον ηλεκτρικό σύστημα του νησιού

- Κάθε υποσύστημα του έργου (μονάδα αφαλάτωσης και ανεμογεννήτρια) ελέγχονται μέσω αυτόνομων συστημάτων SCADA.
- Για το συντονισμό των 2 συστημάτων έχει εγκατασταθεί **κεντρικό σύστημα τηλεέγχου - τηλεχειρισμού (MASTER SCADA)**.
  - a. Καλύπτει όλες τις ανάγκες πρόβλεψης, λειτουργίας και διαχείρισης της Μονάδας Αφαλάτωσης, των Κεντρικών Δεξαμενών και της Α/Γ.
  - b. Συλλέγει στοιχεία και εκτελεί σενάρια λειτουργίας της Α/Γ και της μονάδας αφαλάτωσης, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης ή και κατά τις ώρες υψηλής αιολικής παραγωγής.



**Στόχος:** η βέλτιστη διαχείριση της Α/Γ και της μονάδας αφαλάτωσης

# ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



3 Διαχειριστικές λύσεις λειτουργίας του συστήματος



Ισοζύγιο νερού-ενέργειας



Προσομοίωση 10 ετών σε χρονικό βήμα 1h (87,600 τιμές)



# ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

## 1. Εκτίμηση Πληθυσμού του Δήμου Μήλου για 2020



χρησιμοποιήθηκαν τα πληθυσμιακά δεδομένα του έτους 2001 ανά δημοτικό διαμέρισμα και ανά μήνα

| Δήμος Μήλου<br>Μόνιμοι Κάτοικοι |      |      |      |      |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| Έτη                             | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 |
| Πληθυσμός                       | 4556 | 4390 | 4771 | 4977 |

| Δήμος Μήλου<br>Μόνιμοι Κάτοικοι |   |                    |               |
|---------------------------------|---|--------------------|---------------|
| Έτη                             | Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού (ΜΕΡΜ) | Μέση Τιμή των ΜΕΡΜ | Εκτίμηση ΜΕΡΜ |
| ('81-'91)                       | -0.37%  | 0.30%              | 0.40%         |
| ('91-'01)                       | 0.84%   |                    |               |
| ('01-'11)                       | 0.42%   |                    |               |

| Εκτίμηση ΜΕΡΜ Μόνιμων Κατοίκων | Εκτίμηση ΜΕΡΜ Γηγενή Τουρισμού | Εκτίμηση ΜΕΡΜ Παραθεριστών |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0.40%                          | 0.40%                          | 2.00%                      |



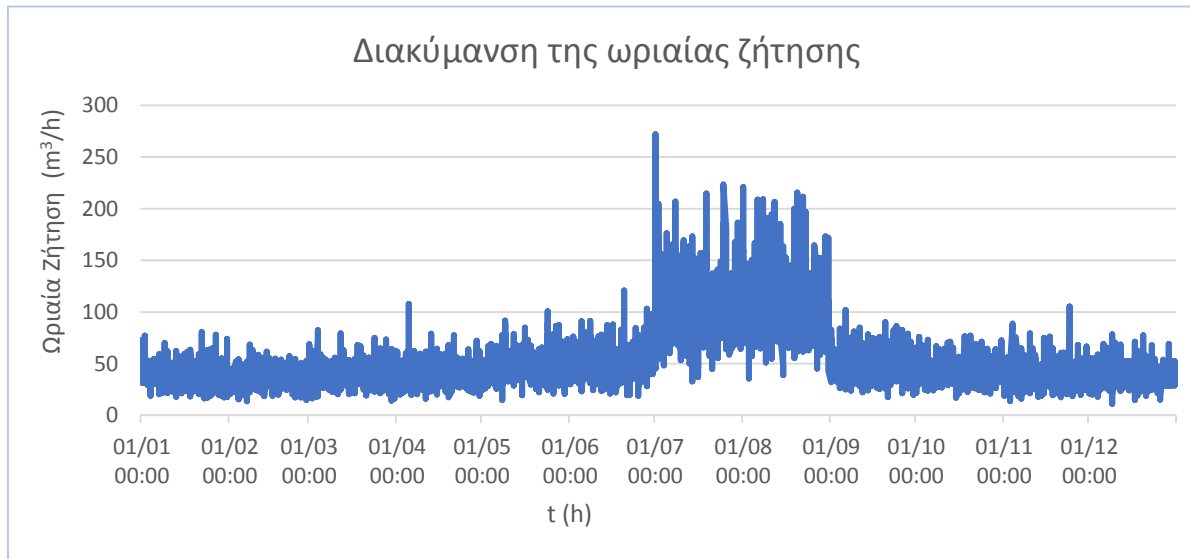
Σημείωση: Εποχιακός πληθυσμός=Γηγενής Τουρισμός + Παραθεριστές

# ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

## 2.Ειδική μέση ημερήσια κατανάλωση νερού

| Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού (L/d)   |     |
|--|-----|
| Μόνιμοι Κάτοικοι ( $a_{\mu\omicron\nu}$ ) και Γηγενής Πληθυσμός ( $a_{\gamma\eta\eta}$ ) | 200 |
| Παραθεριστές ( $a_{\pi\alpha\rho}$ )   | 250 |

## 4. Ζήτηση νερού με βάση την ωριαία διακύμανση



## 3.Ζήτηση νερού με βάση τη μηνιαία διακύμανση



Σημείωση: οι μηνιαίοι και ωριαίοι συντελεστές διακύμανσης της ζήτησης που χρησιμοποιήθηκαν, έχουν προκύψει από συνθετικά δεδομένα βάσει πραγματικών στοιχείων για την περιοχή του Αγρινίου (Σακκελάρη, 2019, Kossieris *et al.* 2018, 2019 και Kossieris, 2020)

# ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

## 5. Ταχύτητα ανέμου

- Χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές 10 ετών της ταχύτητας του ανέμου (σε  $z_1=5$  m) σε ωριαίο βήμα που αφορούν το νησί της Ικαρίας (Μαυριτσάκης, 2019), οι οποίες **προσαρμόστηκαν στα δεδομένα της Μήλου**.

- Υπολογίστηκε ο μειωτικός συντελεστής:  $a = \frac{m_M}{m_I}$  όπου

$m_M$ : μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου Μήλου βάσει του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (km/h)

$m_I$ : μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου της Ικαρίας βάσει των χρονοσειρών (km/h)

Έτσι (σε  $z_1=5$  m):

**ταχύτητες ανέμου της Μήλου ( $u_1$ ) =  $a$  x ταχύτητες ανέμου της Ικαρίας**

**Ταχύτητες ανέμου Μήλου σε ύψος δρομέα Α/Γ ( $u_2$ ):  $\frac{u_{2i}}{u_{1i}} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}}$**

$z_2 = 86$ m (Α/Γ V52- 850 kW) και

$z_2 = 53$ m (Α/Γ V42- 600 kW)

## 6. Εκτίμηση της ωριαίας παραγόμενης αιολικής ενέργειας

$$E_{tot,wind,i} = 2E_{1i} + 2E_{2i}$$

$E_{1i}, E_{2i}$ : ωριαία παραγόμενη ενέργεια από Α/Γ Vestas

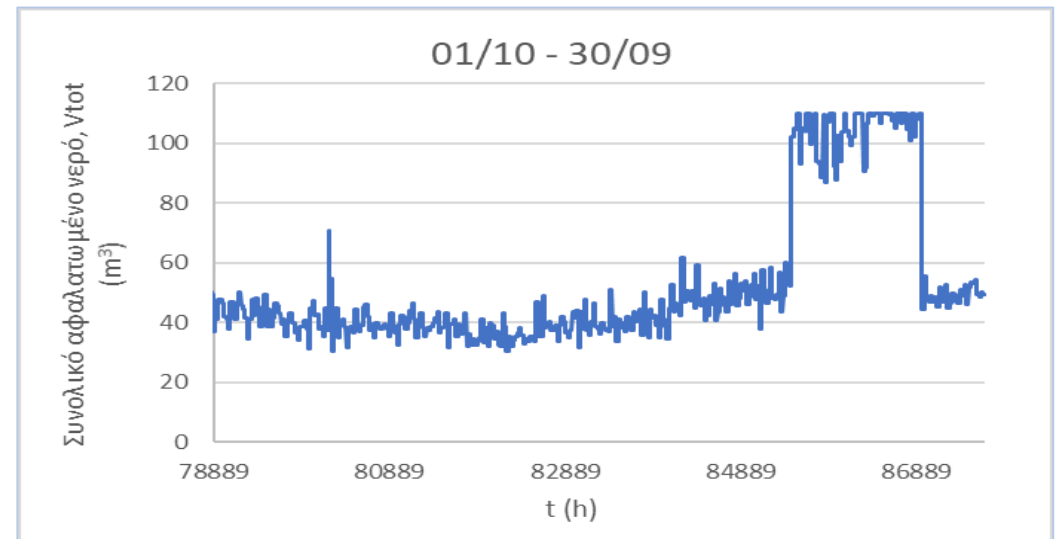
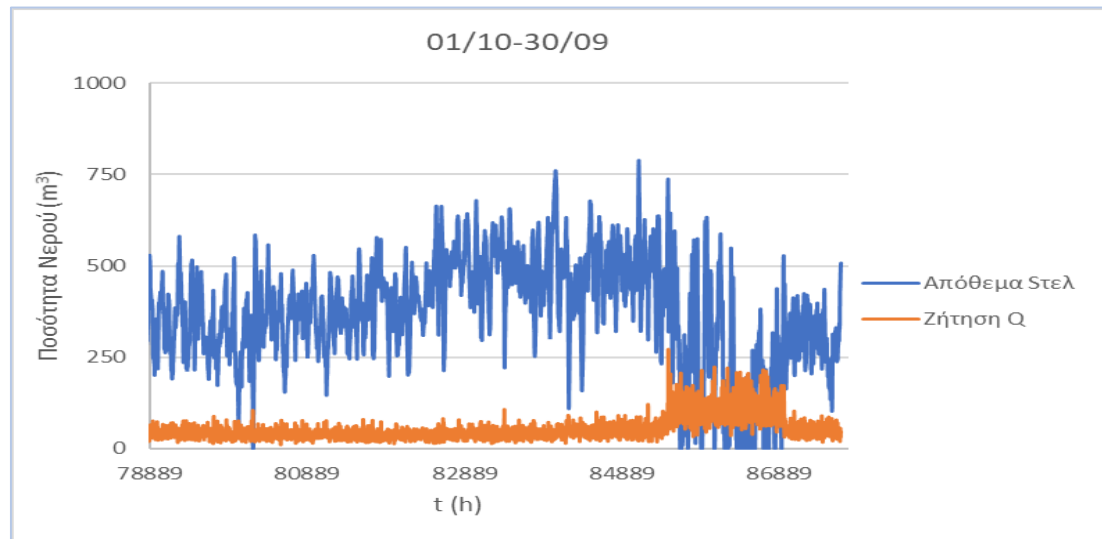
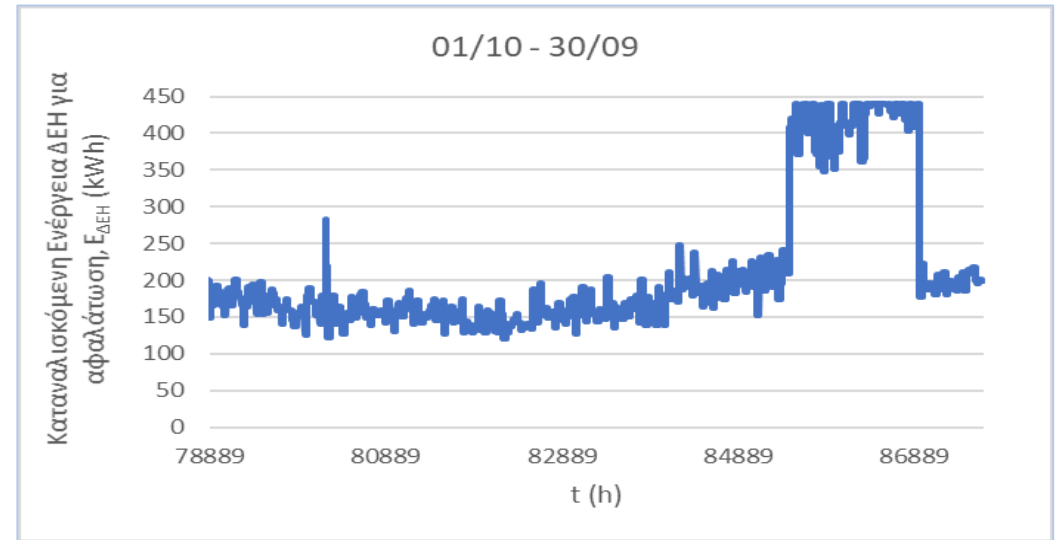
V52 και V42 βάσει των καμπυλών ισχύος των Α/Γ

## 7. Χαρακτηριστικά μεγέθη Μ.Α και κόστη που θεωρήθηκαν

|  |      |
|--|------|
| Ελάχιστη χωρητικότητα δεξαμενών, $V_{min}$ (m <sup>3</sup> )   | 0    |
| Αρχικό απόθεμα δεξαμενών, $S_0$ (m <sup>3</sup> )  | 2000 |
| Μέγιστη χωρητικότητα δεξαμενών, $V_{max}$ (m <sup>3</sup> )  | 3016 |
| Μέγιστη παροχτευτικότητα αντλιών, $Q_{αντλιών}$ (m <sup>3</sup> /h)                                      | 110  |
| Μέγιστη δυναμικότητα μονάδας αφαλάτωσης, $Q_{MA}$ (m <sup>3</sup> /h)                                    | 140  |
| Κατανάλωση ενέργειας ΜΑ & αντλιών θαλασσινού νερού και αντλιών προώθησης, $E_{MA}$ (kWh/m <sup>3</sup> ) | 4    |
| Τιμή πώλησης αφαλατωμένου νερού, $P_{water}$ (€/m <sup>3</sup> )   | 1.89 |
| Κόστος μεταφοράς νερού με βυτία, $c_{βυτιών}$ (€/m <sup>3</sup> )  | 5    |
| Ρήτρα όταν παρουσιάζεται $S_{τελ} < 100$ , $c_{ρήτρα}$ (€/m <sup>3</sup> )                               | 0.2  |
| Κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για αφαλάτωση νερού, $c_{ΔΕΗ}$ (€/m <sup>3</sup> )                 | 0.4  |
| Λειτουργικό κόστος αφαλατωμένου νερού, $c_{ΛΕΙΤ.}$ (€/m <sup>3</sup> )                                   | 0.5  |
| Συνολικό κόστος αφαλατωμένου νερού, $c_{tot}$ (€/m <sup>3</sup> )  | 0.9  |
| Τιμή πώλησης αιολικής ενέργειας, $P_{wind}$ (€/kWh)  | 0.09 |

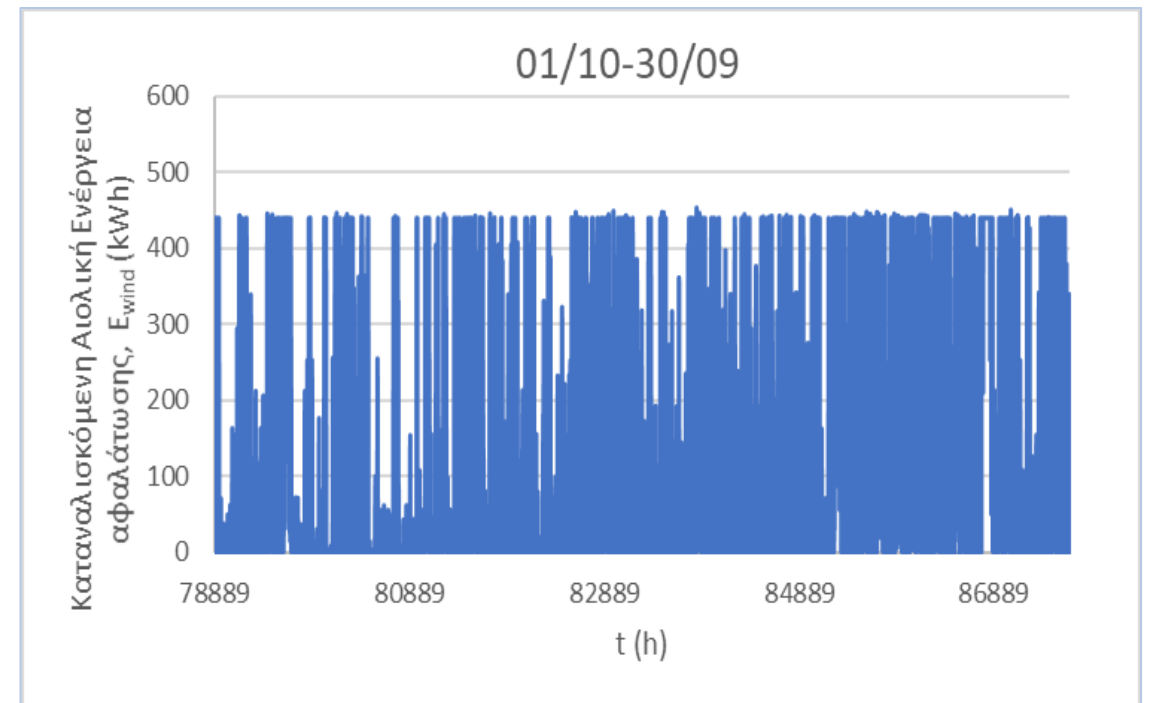
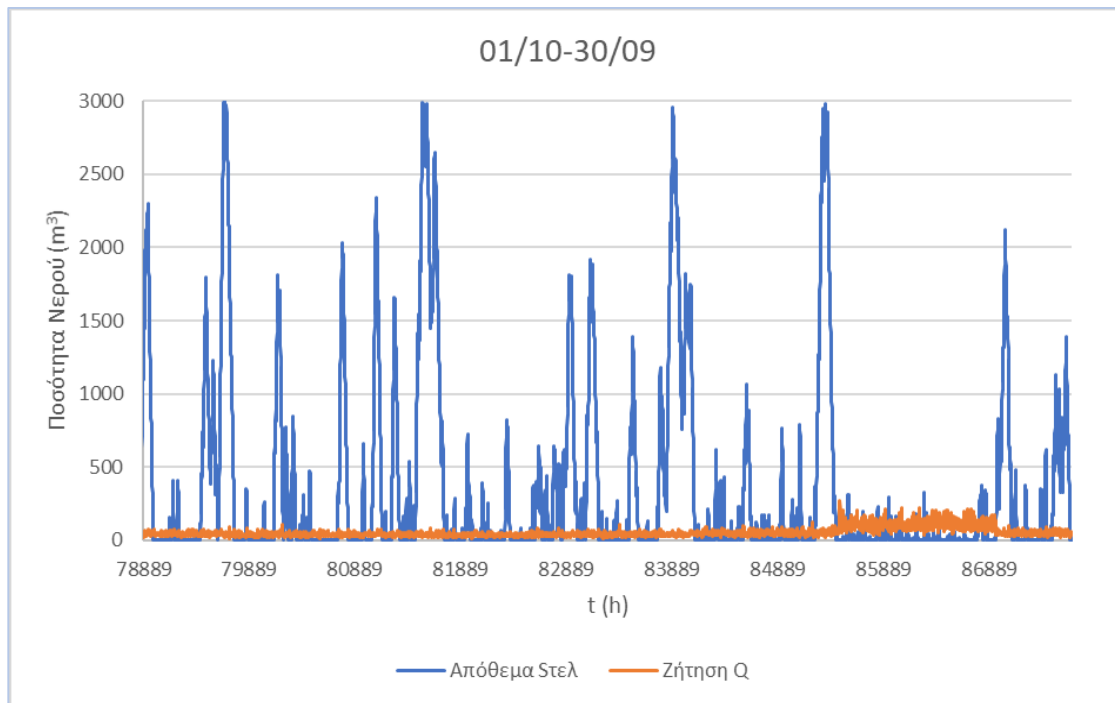
# 1<sup>η</sup> Διαχειριστική Λύση Λειτουργίας

- Θεωρήθηκε ως **μηδενικό** σενάριο.
- Κατανάλωση ενέργειας μόνο από το **δίκτυο της ΔΕΗ**.
- Θεωρήθηκε **ωριαία ζήτηση νερού για αφαλάτωση** η οποία είναι **ισοκατανεμημένη** και σταθερή μέσα στην ημέρα, μεταβάλλεται ανά ημέρα και εξαρτάται από την ημερήσια ζήτηση νερού.
- Σε περίπτωση ύπαρξης ελλείμματος, αφαλατώνεται πρόσθετη ποσότητα βάσει της υπολειπόμενης δυναμικότητας του συστήματος.

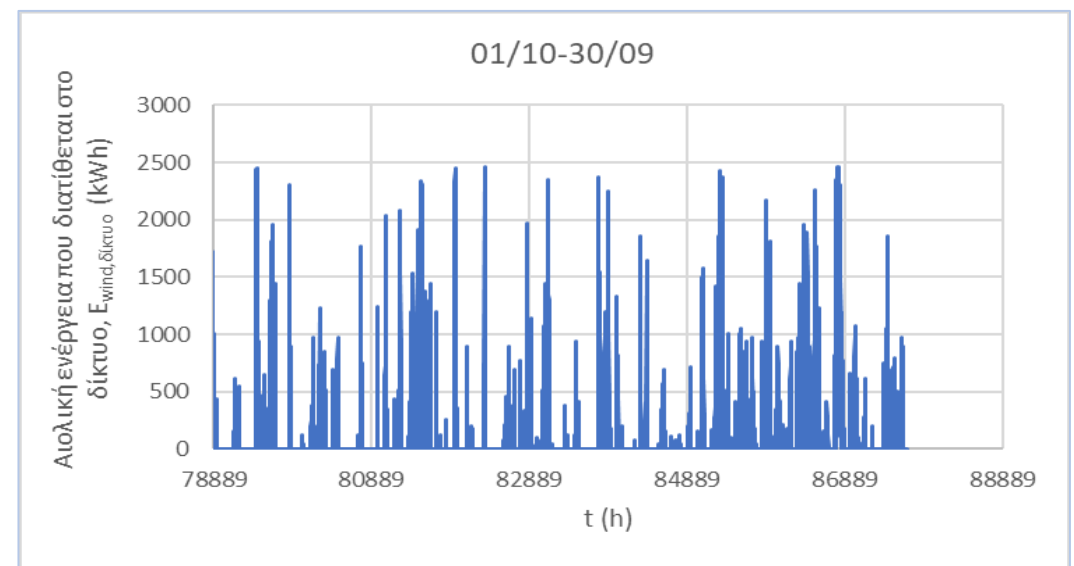
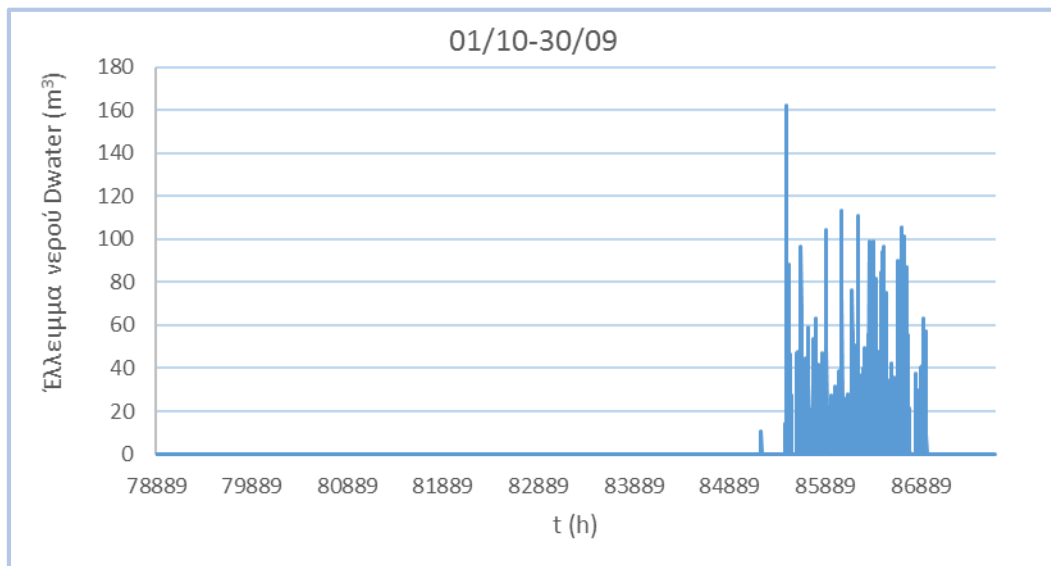
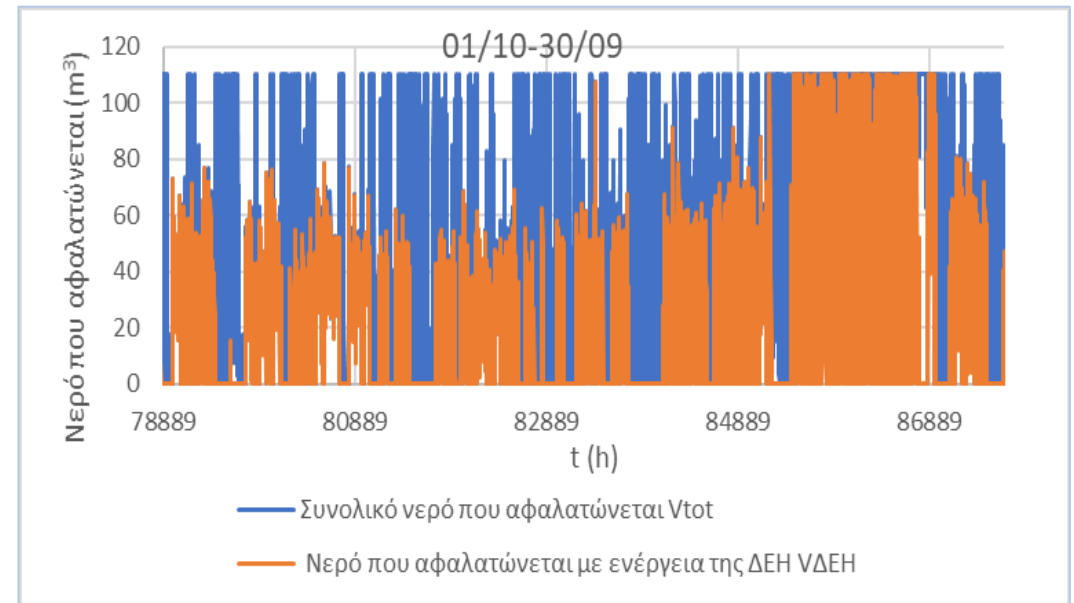
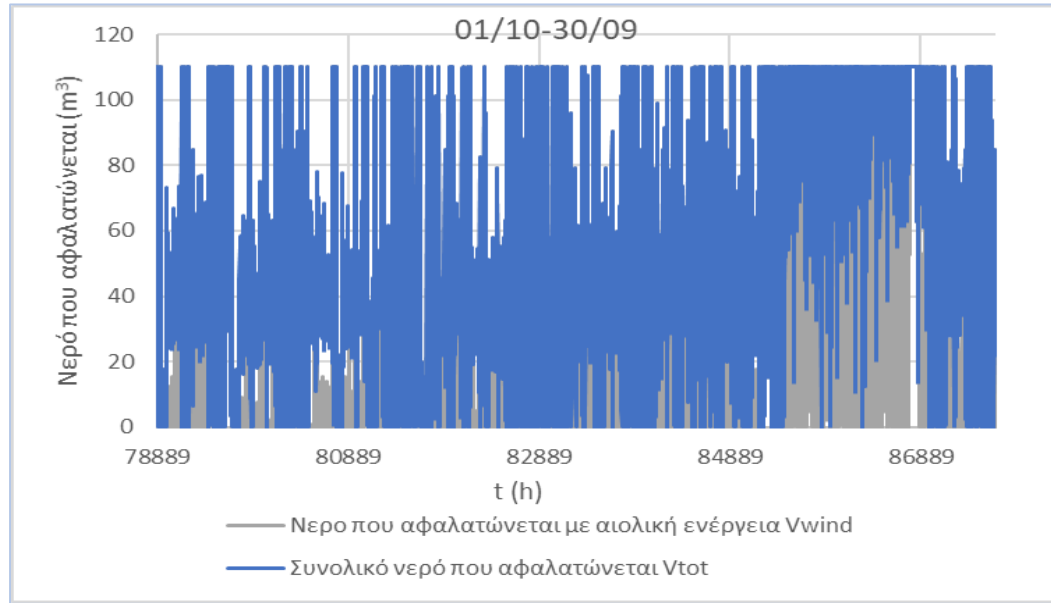


# 2<sup>η</sup> Διαχειριστική Λύση Λειτουργίας

- Κατανάλωση ενέργειας κυρίως από Α/Γ.
- Η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται σε κάθε χρονικό βήμα εξαρτάται από: την παραγωγή αιολικής ενέργειας και την αντίστοιχη μέγιστη ποσότητα νερού που δύναται να αφαλατωθεί από τη μονάδα καταναλώνοντάς την.
- **Μόνο σε περίπτωση ύπαρξης ελλείμματος**, αφαλατώνεται πρόσθετη ποσότητα βάσει της υπολειπόμενης δυναμικότητας του συστήματος **καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ**.

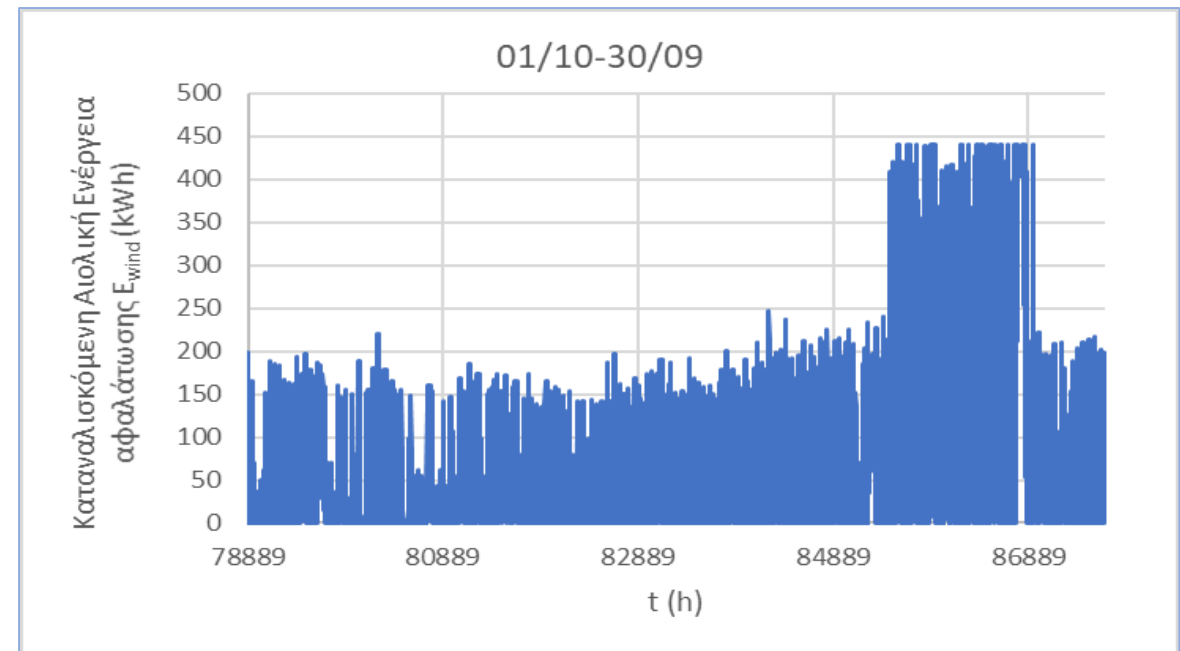
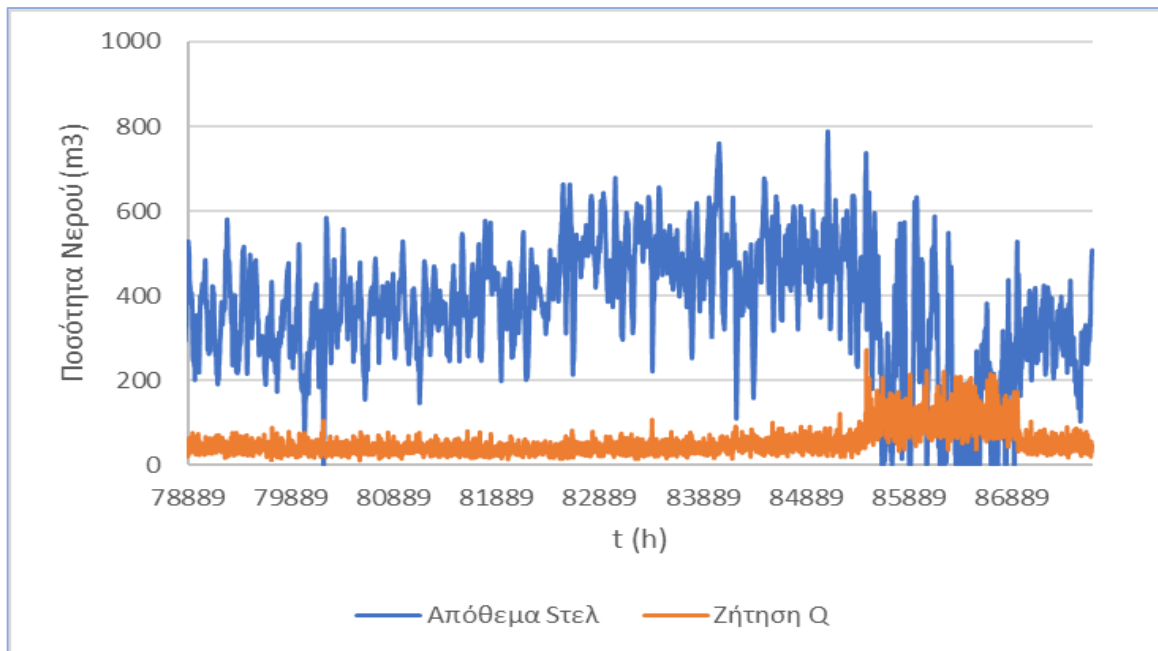


# 2<sup>η</sup> Διαχειριστική Λύση Λειτουργίας

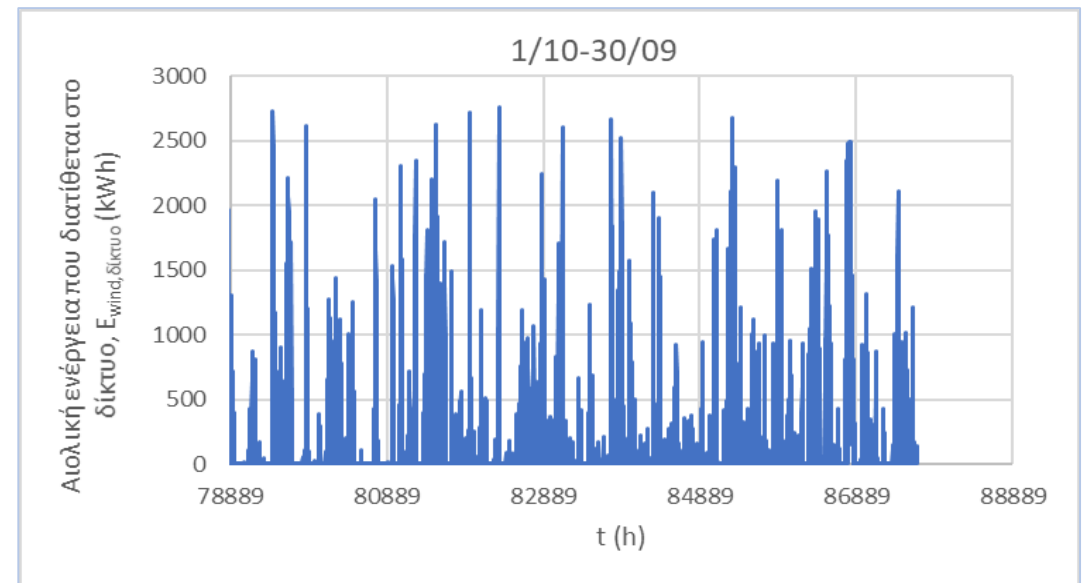
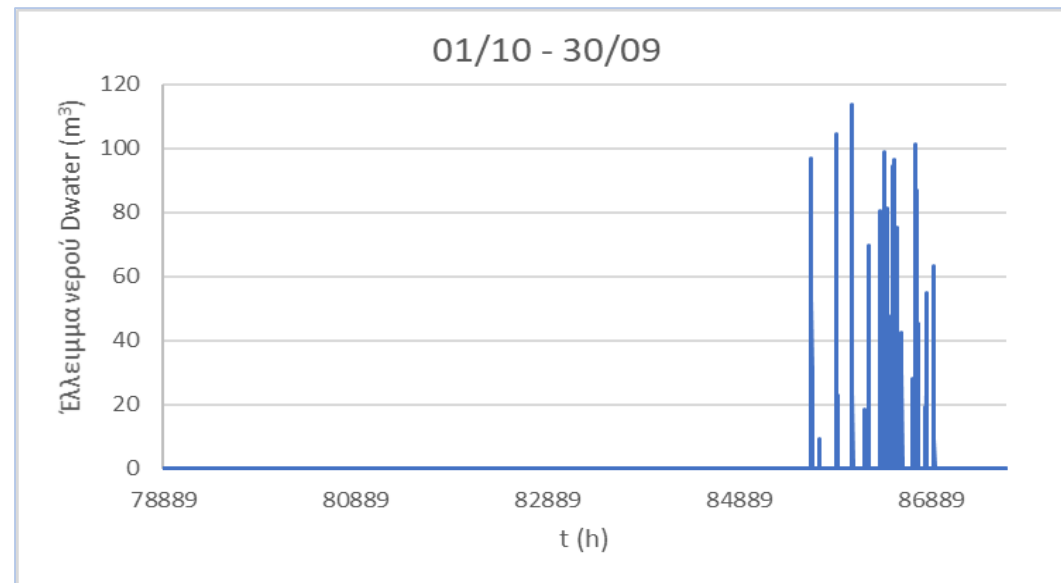
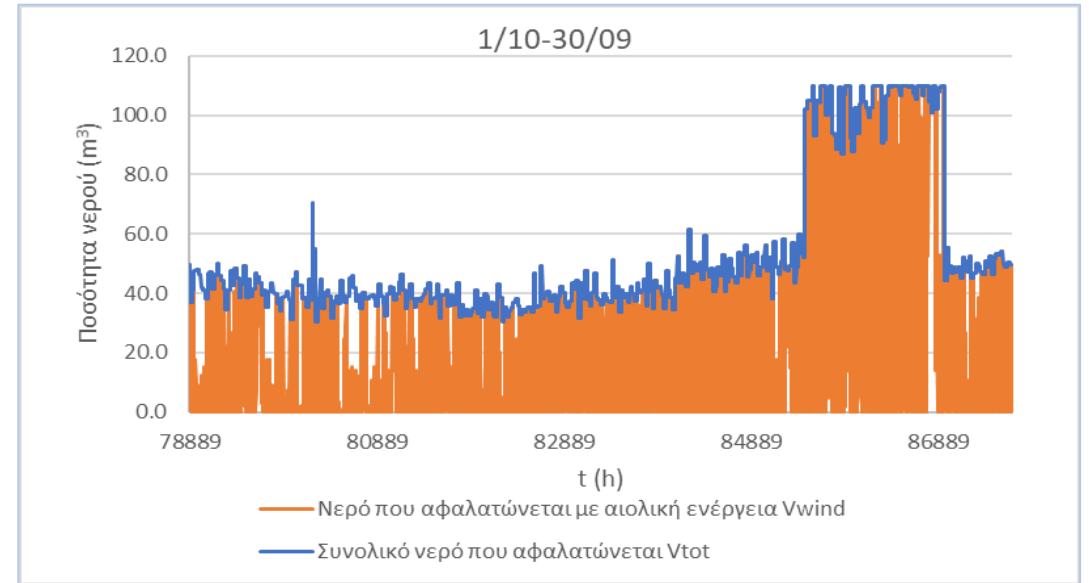
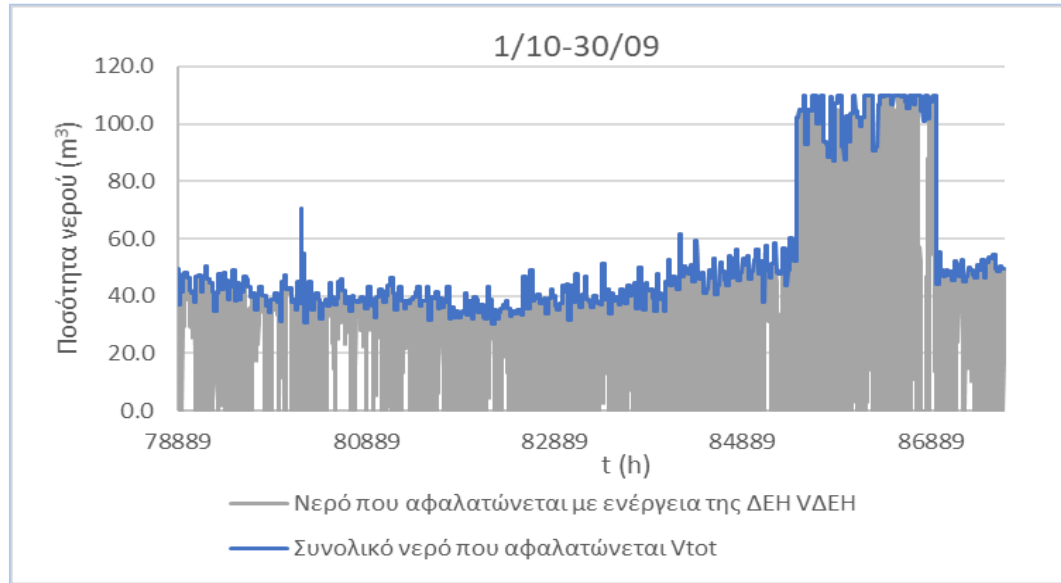


# 3<sup>η</sup> Διαχειριστική Λύση Λειτουργίας

- Θεωρήθηκε **ωριαία ζήτηση νερού για αφαλάτωση** η οποία είναι **ισοκατανεμημένη** και σταθερή μέσα στην ημέρα, μεταβάλλεται ανά ημέρα και εξαρτάται από την ημερήσια ζήτηση νερού.
- Κατανάλωση ενέργειας **κατά προτεραιότητα από Α/Γ** και σε περίπτωση που αυτή δεν επαρκεί καταναλώνεται ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ.
- Σε περίπτωση ύπαρξης υδατικού ελλείμματος, αφαλατώνεται πρόσθετη ποσότητα νερού βάσει της υπολειπόμενης δυναμικότητας του συστήματος. Και πάλι καταναλώνεται κατά προτεραιότητα η αιολική ενέργεια που είναι διαθέσιμη και έπειτα ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ.



# 3<sup>η</sup> Διαχειριστική Λύση Λειτουργίας



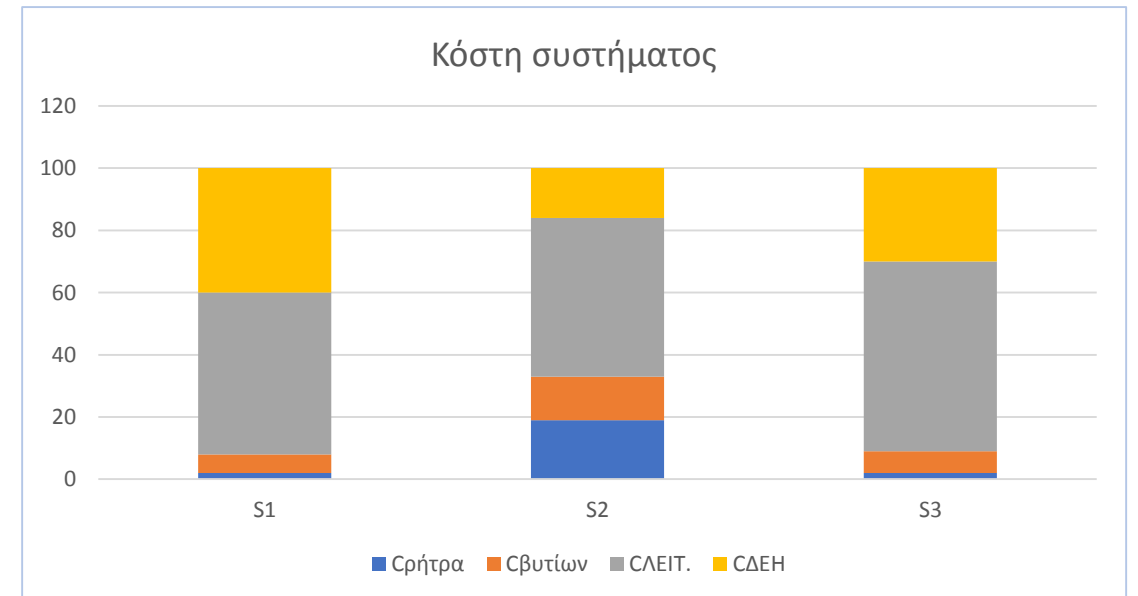
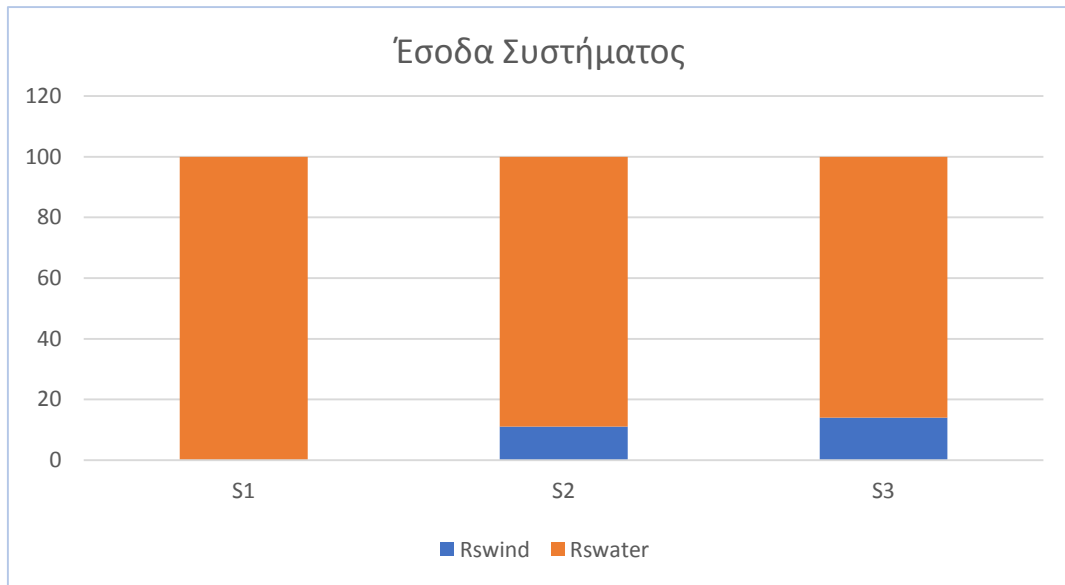
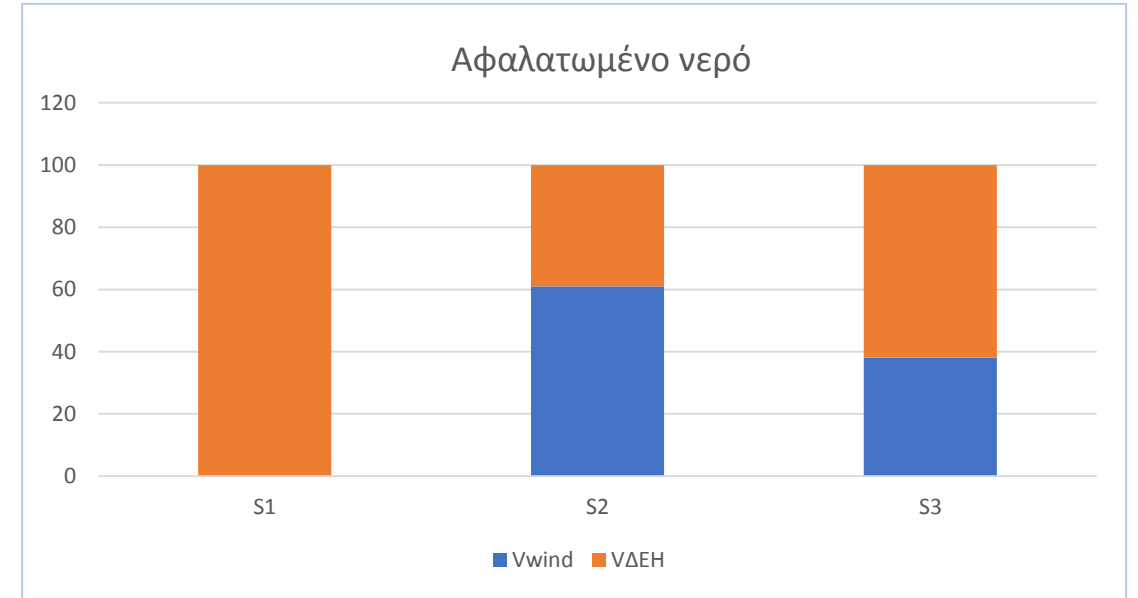
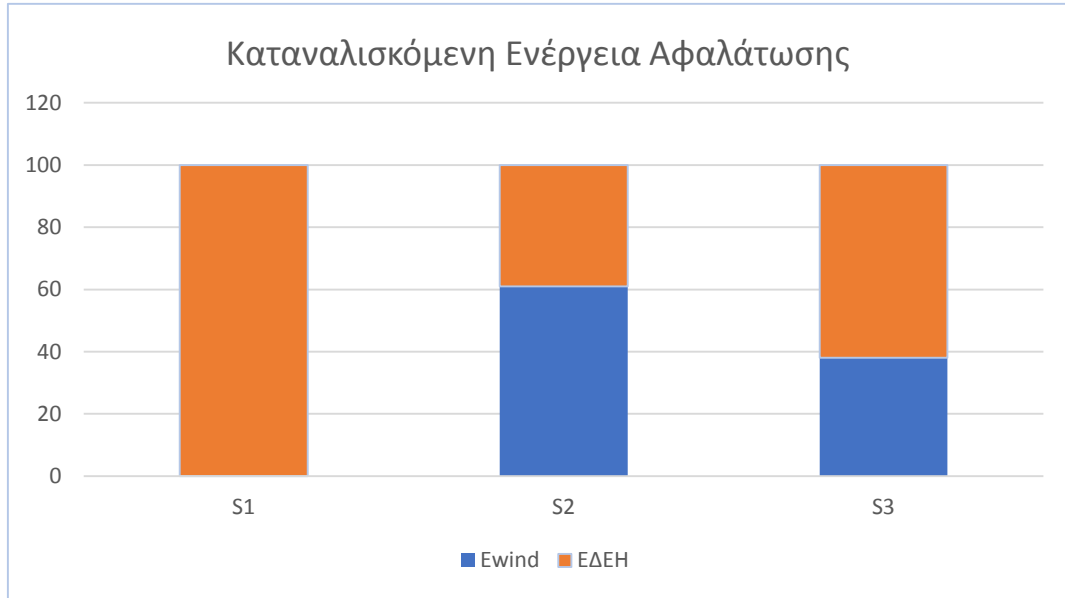


# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΥΣΕΩΝ

| Δείκτες/Λύσεις  | S1        | S2        | S3        |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Ποσοστό χρόνου εμφάνισης ελλειμμάτων  | 2%        | 6%        | 2%        |
| Αξιοπιστία Αφαλάτωσης, $\alpha$   | 98%       | 94%       | 98%       |
| Ποσοστό χρόνου $S_{\text{TEΛ}} < 100, p_{s100}$   | 6%        | 51%       | 6%        |
| Μέσο ετήσιο έλλειμμα, $AD_{\text{water}}$ (m <sup>3</sup> )                                 | 4,985     | 12,842    | 4,985     |
| Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια, $AV_{\text{wind}}$ (m <sup>3</sup> ) | 0         | 276,288   | 178,554   |
| Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με ενέργεια της ΔΕΗ, $AV_{\text{ΔΕΗ}}$ (m <sup>3</sup> )  | 464,571   | 180,374   | 286,017   |
| Συνολικό μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται, $AV_{\text{tot}}$ (m <sup>3</sup> )             | 464,571   | 456,663   | 464,571   |
| Ποσοστό συμμετοχής αιολικής ενέργειας σε ετήσια παραγωγή νερού, $p_{\text{water,wind}}$     | 0         | 61%       | 38%       |
| Μέση ετήσια καταναλισκόμενη αιολική ενέργεια για αφαλάτωση, $AE_{\text{wind}}$ (kWh)        | 0         | 1,105,153 | 714,217   |
| Μέση ετήσια αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο, $AE_{\text{wind,δίκτυο}}$ (kWh)     | 0         | 1,198,854 | 1,589,790 |
| Μέση ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια ΔΕΗ για αφαλάτωση, $AE_{\text{ΔΕΗ}}$ (kWh)             | 1,858,284 | 721,497   | 1,144,067 |

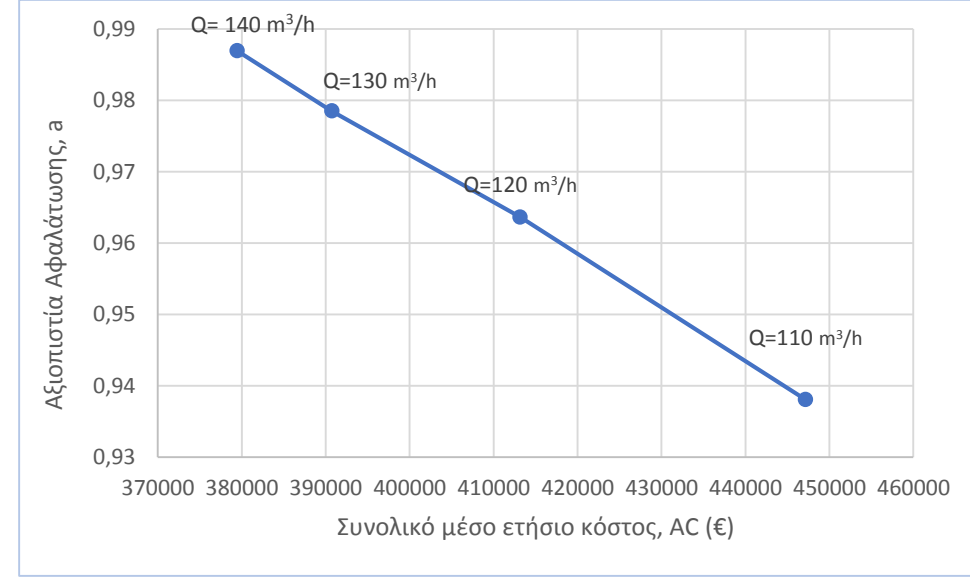
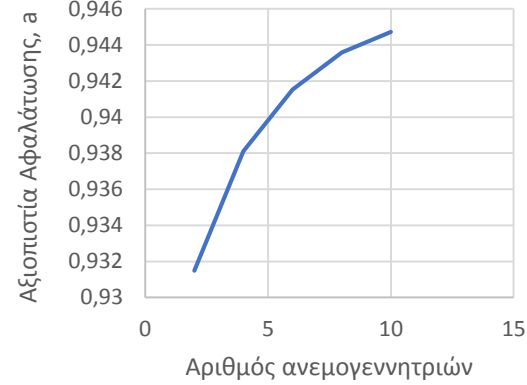
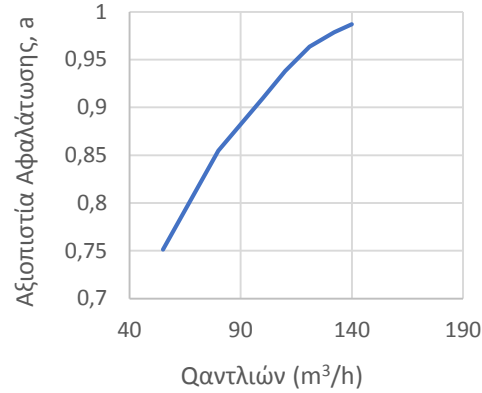
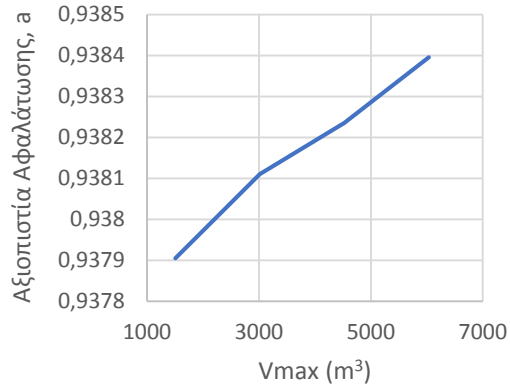
| Δείκτες/Λύσεις   | S1      | S2      | S3        |
|--|---------|---------|-----------|
| Ποσοστό χρόνου αιολικής ενέργειας, $p_{\text{wind}}$               | 0%      | 62%     | 62%       |
| Ποσοστό χρόνου ενέργειας ΔΕΗ, $p_{\text{ΔΕΗ}}$                     | 100%    | 41%     | 72%       |
| Μέσο ετήσιο λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $AC_{\text{ΔΕΗ}}$ (€)   | 232,095 | 228,144 | 232,095   |
| Μέσο ετήσιο κόστος ενέργειας ΔΕΗ αφαλάτωσης, $AC_{\text{ΔΕΗ}}$ (€) | 185,676 | 72,090  | 114,313   |
| Μέσο ετήσιο κόστος μεταφοράς βυτίων, $AC_{\text{βυτίων}}$ (€)      | 24,904  | 64,160  | 24,904    |
| Μέσο ετήσιο κόστος από ρήτρα, $AC_{\text{ρήτρα}}$ (€)              | 6,805   | 82,742  | 6,805     |
| Συνολικό μέσο ετήσιο κόστος, $AC$ (€)                              | 449,480 | 447,136 | 378,117   |
| Μέσο ετήσιο έσοδο αφαλάτωσης, $ARs_{\text{water}}$ (€)             | 877,600 | 862,761 | 877,600   |
| Μέσο ετήσιο έσοδο αιολικής ενέργειας, $ARs_{\text{wind}}$ (€)      | 0       | 107,808 | 142,964   |
| Συνολικό μέσο ετήσιο έσοδο συστήματος, $ARs$ (€)                   | 877,600 | 970,570 | 1,020,563 |

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΥΣΕΩΝ



# ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

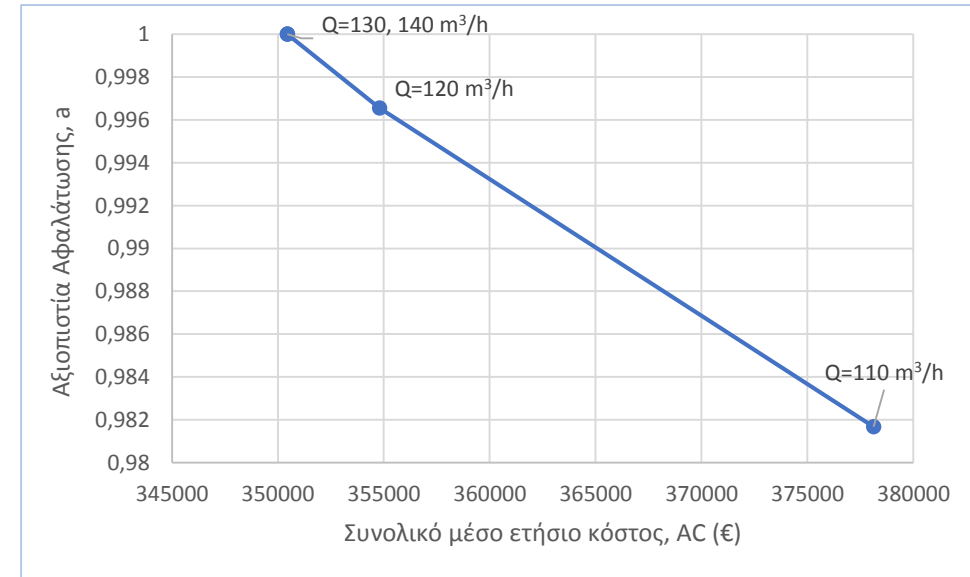
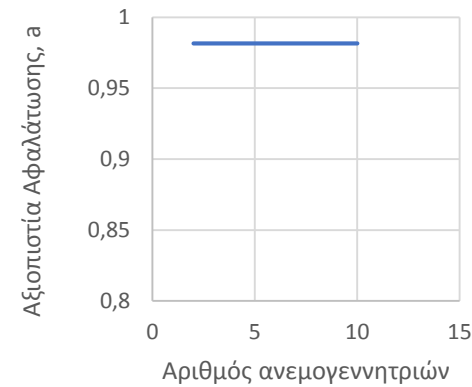
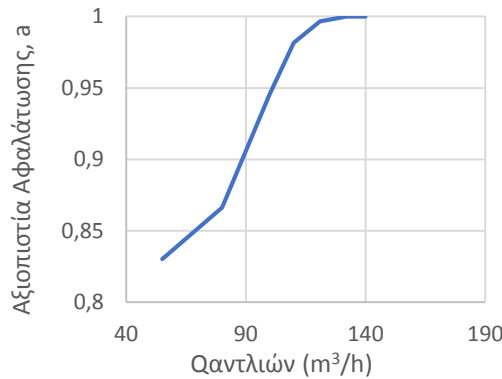
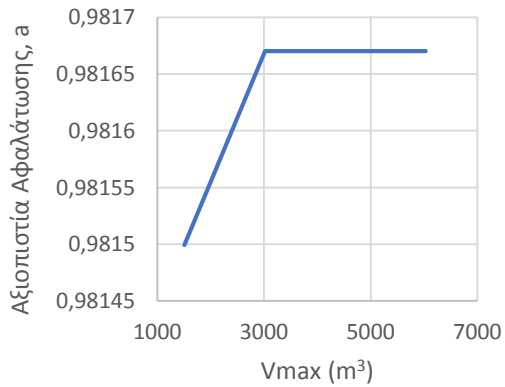
## 2<sup>η</sup> Διαχειριστική λύση



Κρίσιμη Παράμετρος:

**Qαντλιών**

## 3<sup>η</sup> Διαχειριστική λύση



# ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

## Για 3<sup>η</sup> Διαχειριστική Λύση

### Στόχοι:

1. Max Αξιοπιστία
2. Min Κόστος
3. Max Έσοδα

### Μεταβλητές Ελέγχου:

1. Χωρητικότητα δεξαμενών
2. Παροχετευτικότητα Αντλιών
3. Αριθμός Ανεμογεννητριών

| Βέλτιστη λύση  | Αξιοπιστία,<br>a | Μέσο Ετήσιο<br>Κόστος, AC (€) | Μέσο Ετήσιο<br>Έσοδο, ARs (€) | Χωρητικότητα<br>δεξαμενών $V_{max}$ (m <sup>3</sup> ) | Παροχετευτικότητα, $Q_{αντλιών}$<br>(m <sup>3</sup> /h) | Αριθμός<br>ανεμογεννητριών n |
|----------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|---|------------------------------|
| $S_{max,a}$    | 100%             | 333,268                       | 1,346,269                     | 5,991   | 132   | 10                           |
| $S_{min, AC}$  | 100%             | 326,795                       | 1,655,167                     | 7,260   | 130   | 14                           |
| $S_{max, ARs}$ | 100%             | 326,825                       | 1,806,055                     | 10,320  | 131   | 19                           |

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η 3<sup>η</sup> λύση παρουσιάζει την υψηλότερη αξιοπιστία καθώς για κάθε χρονικό βήμα αφαλατώνεται μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού ανεξάρτητα του είδους της καταναλισκόμενης ενέργειας. Στην 3<sup>η</sup> διαχειριστική λύση, το σύστημα ανταποκρίνεται καλύτερα στις περιπτώσεις υψηλής ζήτησης αφού προστίθεται συνεχώς νερό στις δεξαμενές με αποτέλεσμα η στάθμη να κυμαίνεται γενικά σε υψηλά επίπεδα.
- Για τη 2<sup>η</sup> λύση η αξιοπιστία της αφαλάτωσης είναι χαμηλότερη, καθώς τα ελλείμματα που εμφανίζονται είναι περισσότερα. Η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται σε κάθε χρονικό βήμα μεταβάλλεται καθώς εξαρτάται από την παραγωγή αιολικής ενέργειας, η οποία έχει απρόβλεπτο χαρακτήρα και δεν είναι σταθερή σε κάθε χρονική στιγμή.
- Όσον αφορά τη μέση ετήσια αιολική ενέργεια που καταναλώνεται από τη μονάδα, αυτή είναι αρκετά υψηλή και στις 2 περιπτώσεις λύσεων που θεωρήθηκε ότι η μονάδα μπορεί να τροφοδοτηθεί ενεργειακά από Α/Γ.
- Από την παραμετρική ανάλυση συμπεραίνουμε ότι και για τις δύο λύσεις η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο το σύστημα είναι η παροχτετευτικότητα των αντλιών,  $Q_{\text{αντλιών}}$ , καθώς προκαλεί τις μεγαλύτερες μεταβολές στην αξιοπιστία του συστήματος. Μάλιστα με μικρή αύξηση, η αξιοπιστία μπορεί να φτάσει 100% και το σύστημα να μειώσει το κόστος του.

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η αιολική ενέργεια δύναται να αποτελέσει λύση για την κάλυψη της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας αφαλάτωσης με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και να μειωθεί το κόστος παραγωγής του πόσιμου νερού.
- Ο συνδυασμός μονάδας αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας, μπορεί να οδηγήσει σε βέλτιστα οικονομικά και τεχνικά αποτελέσματα και να βρει εφαρμογή σε περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της λειψυδρίας και έχουν ταυτόχρονα υψηλό αιολικό δυναμικό.
- Ένα τέτοιο έργο μπορεί να συμβάλει στην αυτονομία ενός νησιού, αλλά και στην ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Η **άριστη ποιότητα του παραγόμενου νερού**, η **υψηλή αξιοπιστία του συστήματος**, η **απεξάρτηση από τους ορυκτούς πόρους** καθώς και η **μείωση του κόστους παραγωγής και προμήθειας νερού** με βυτία είναι κάποια από τα σημαντικά οφέλη ενός τέτοιου συστήματος.
- Ουσιαστικά, το σύστημα στο νησί της Μήλου αποτελεί ένα **πρωτοποριακό έργο**, που μπορεί να αποτελέσει την απαρχή για την **επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας** που αντιμετωπίζουν πολλά νησιά σήμερα με τη **οικονομική και βέλτιστη για το περιβάλλον λύση**.

# ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- Αξίζει να αναπτυχθεί ένα **μοντέλο που θα εκτιμά την απαιτούμενη ποσότητα νερού για αφαλάτωση σε κάθε χρονικό βήμα**. Το μοντέλο αυτό θα βασίζεται την ωριαία ζήτηση του νερού και με βάση αυτή θα ορίζει την απαιτούμενη ποσότητα νερού που πρέπει η μονάδα να αφαλατώσει.
- Αξίζει να μελετηθεί το σύστημα βάσει ενός **συνδυαστικού μοντέλου πρόβλεψης τόσο της ταχύτητας του ανέμου όσο και της ζήτησης νερού με στόχο τη βέλτιστη λειτουργία και διαχείριση της μονάδας αφαλάτωσης, των δεξαμενών καθώς και των ανεμογεννητριών** ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης ή και κατά τις ώρες υψηλής αιολικής παραγωγής.
- Αξίζει να πραγματοποιηθεί μια **βελτιστοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών** των κύριων υποδομών του συστήματος **σε συνδυασμό με μια οικονομική ανάλυση** ώστε να ελεγχθεί η βιωσιμότητα της κάθε επένδυσης.

**Σας ευχαριστώ για την προσοχή  
σας!**

