

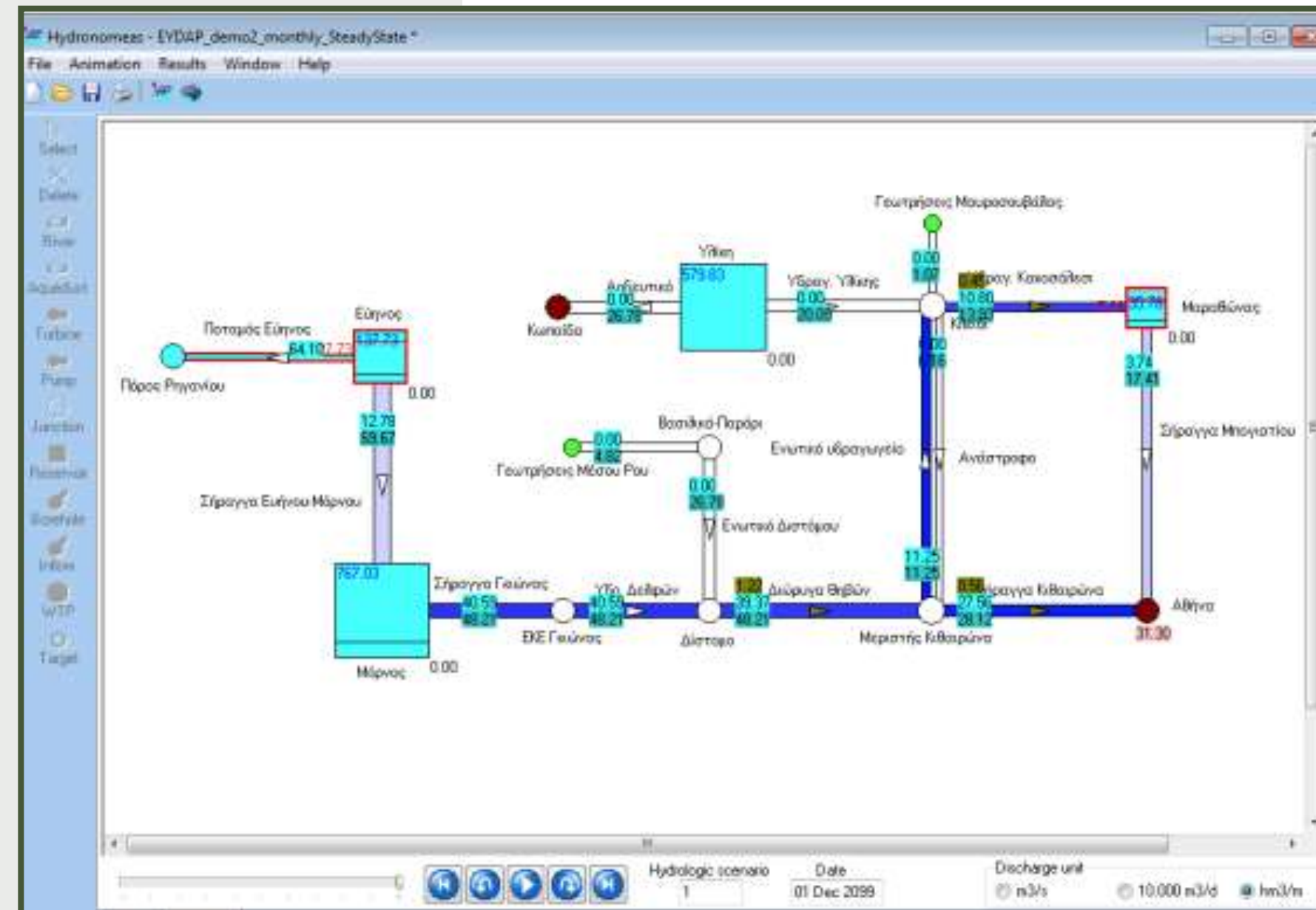
ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΚΟΛΙΟΥΚΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ,
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2025

KINHTPA



Υδρονομέας

- Παραμετροποίηση
- Προσομοίωση
- Βελτιστοποίηση

Μαθηματικό υπόβαθρο

Πρόβλημα μεταφόρτωσης

- Δικτυακός γραμμικός προγραμματισμός (NLP)
- Θεωρία γράφων
- Σύνολο n κόμβων και m κλάδων
- Μητρώο τοπολογίας A

Βασικές παραδοχές

- Προσφορά = Ζήτηση
- Εξίσωση συνέχειας
- Η μεταφερόμενη ποσότητα x είναι πάντα θετική και πάντα μικρότερη της παροχευτικότητας u



Μαθηματικό υπόβαθρο

Μητρική διατύπωση

- Προστίθεται εικονικός συσσωρευτικός κόμβος έτσι ώστε η συνολική ζήτηση να είναι πάντα ίση με τη συνολική προσφορά
- Διάνυσμα $\mathbf{y}$ αντιπροσωπευτικό της ζήτησης ή της προσφοράς
- Διάνυσμα $\mathbf{c}$ αντιπροσωπευτικό του κόστους

$$\sum_{i=1}^n y_i = 0$$

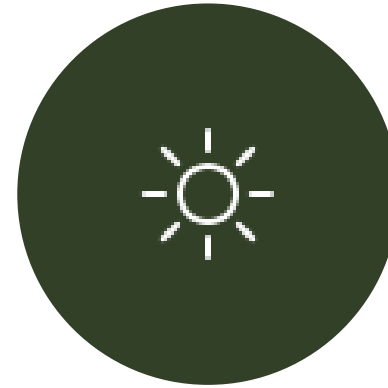
$$\begin{aligned} & \text{minimise } f(\mathbf{x}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x} \\ & \text{s.t. } \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{y} \\ & \mathbf{0} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{u} \end{aligned}$$



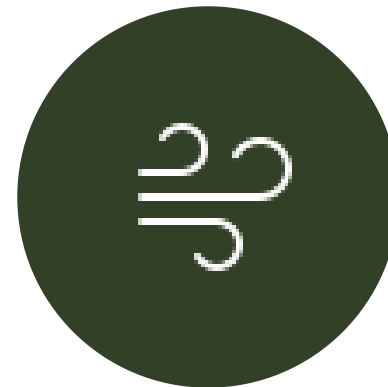
Πλαίσιο προσομοίωσης

Προσαρμογή του
προβλήματος γραμμικού
προγραμματισμού:

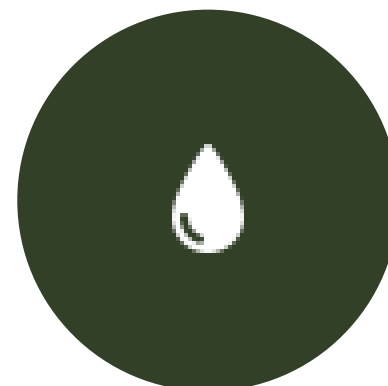
- Υπολογισμός παραγωγής
ενέργειας
- Σχηματοποίηση
εικονικού διγράφου
- Υπολογισμός
διανυσμάτων
- Επίλυση



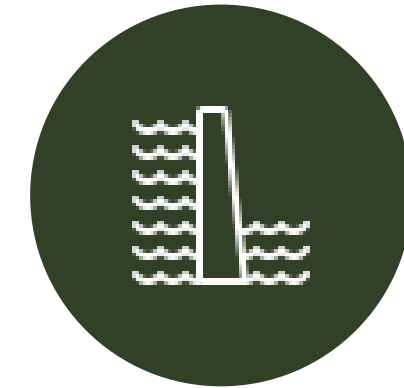
Φωτοβολταϊκά



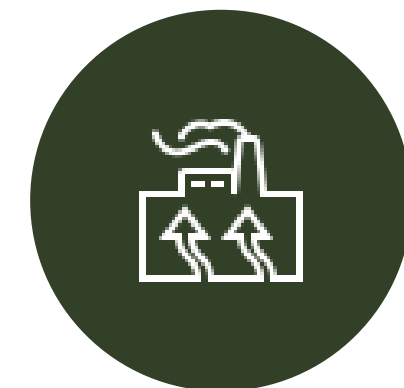
Ανεμογεννήτριες



Μικρά
Υδροηλεκτρικά
Έργα



Σύστημα
αντλησο-
ταμείευσης

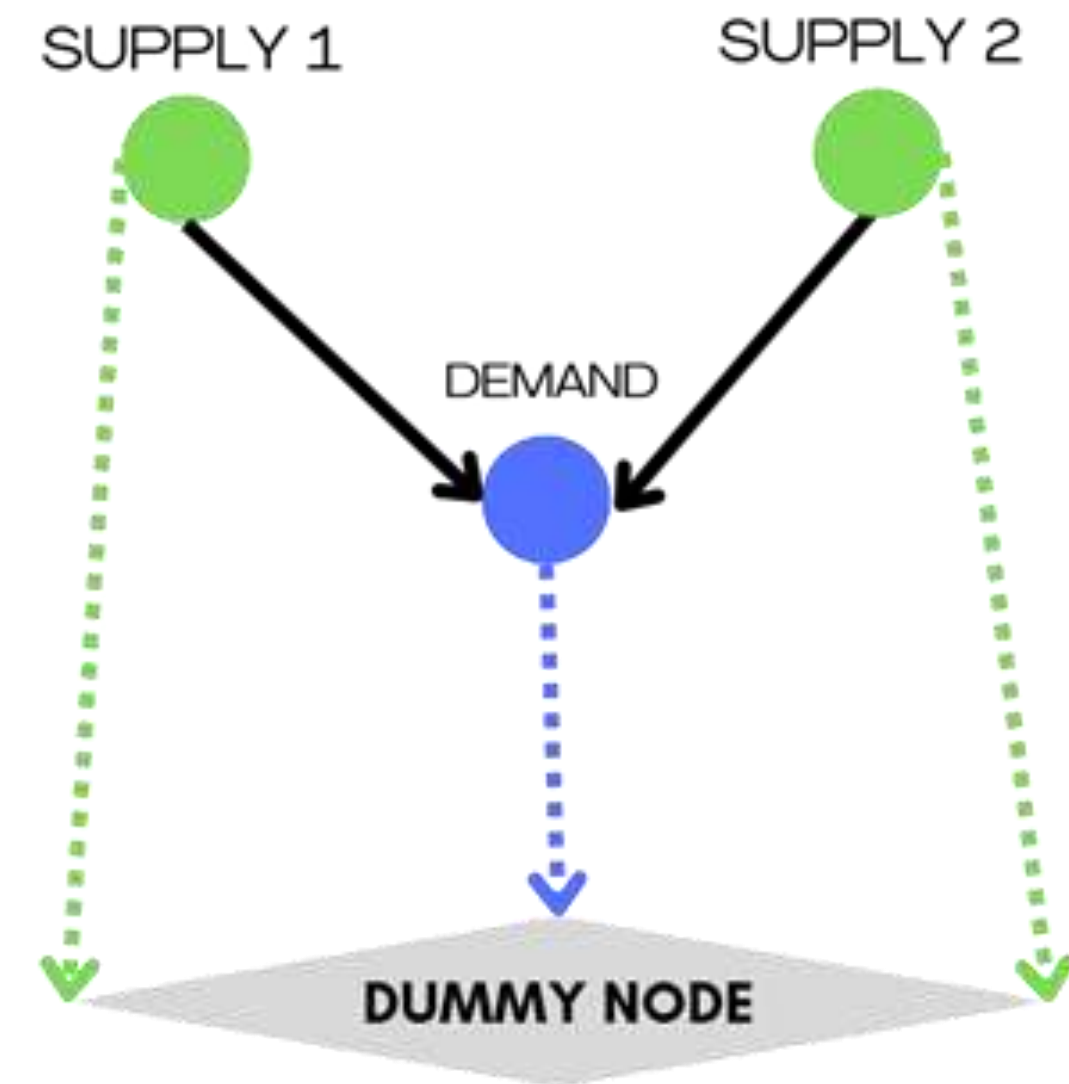


Συμβατικές
γεννήτριες



Σχηματοποίηση διγράφου

- Προστίθεται στο δίκτυο ένας εικονικός σωρευτικός κόμβος (dummy), στον οποίο διοχετεύονται οι ροές ενέργειας
- Σύνδεση κόμβων προσφοράς και ζήτησης με τον εικονικό κόμβο dummy
- n κόμβοι, m κλάδοι
- Δημιουργία μητρώου πρόσπτωσης A $(-1, 1, 0)$

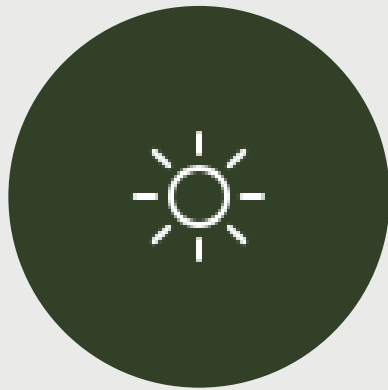


Διαμόρφωση διανυσμάτων

Διάνυσμα προσφοράς - ζήτησης, y

- Διάνυσμα n στοιχείων
- Κόμβος προσφοράς $\rightarrow$ Αντίστοιχη τιμή προσφοράς
- Κόμβος ζήτησης $\rightarrow 0$
- Dummy κόμβος $\rightarrow$ Αρνητικό συνολικό άθροισμα

Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας



Φωτοβολταϊκά

Απαραίτητα δεδομένα

- Ωριαία χρονοσειρά ακτινοβολίας
- Ωριαία χρονοσειρά θερμοκρασίας
- Πλήθος Φ/Β πλαισίων
- Μέγιστος βαθμός απόδοσης
- Ονομαστική ισχύς
- Εμβαδόν πλαισίων
- Θερμοκρασιακός συντελεστής

$$n_{actual} = n_{nom} - a_T * \max(T - 25, 0)$$

$$P_{hourly} = N \frac{n_{act}}{n_{nom}} \min[n_{nom} R A_{panel}, P_{nom}]$$



Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας

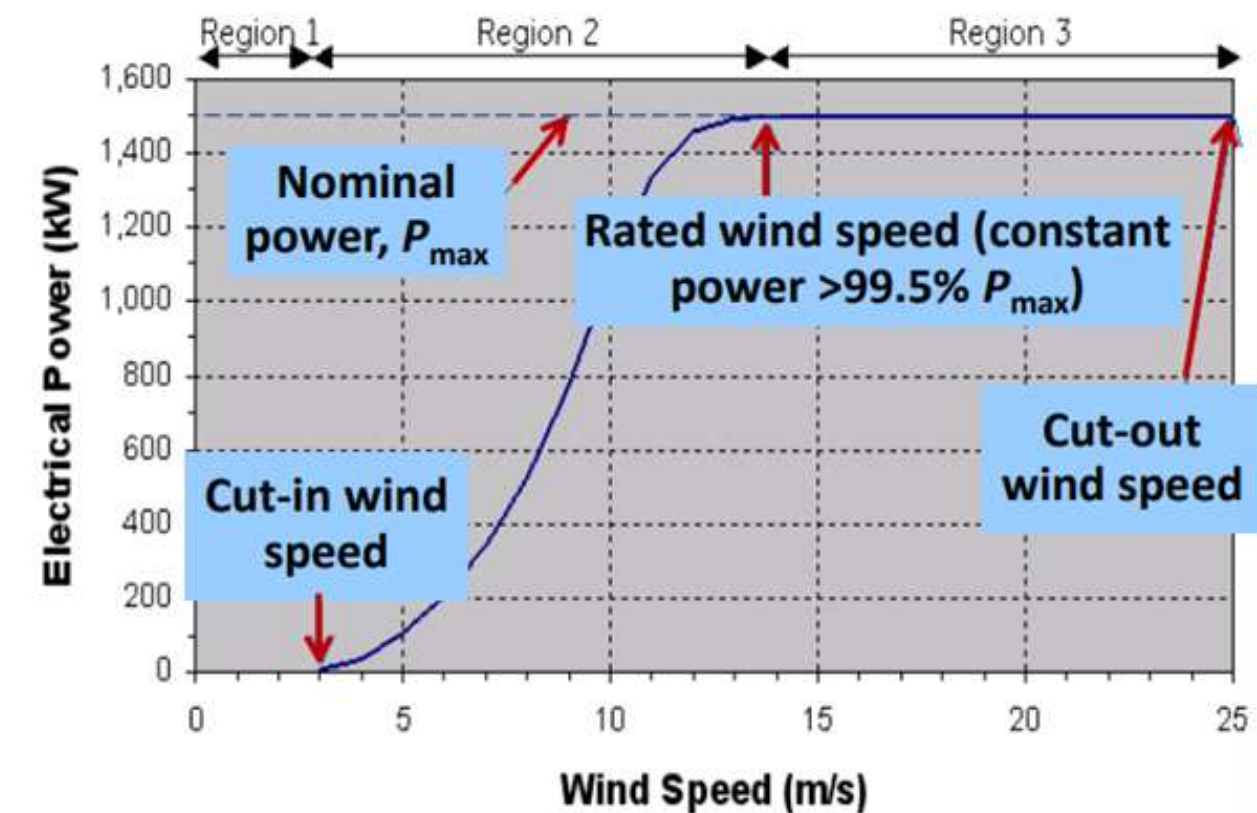


Ανεμογεννήτριες

Απαραίτητα δεδομένα

- Ωριαία χρονοσειρά ανέμου
- Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας
- Ύψος ρότορα ανεμογεννήτριας
- Υψόμετρο ανεμόμετρου
- Παράμετρος τραχύτητας επιφάνειας εδάφους

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$



Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας



Μικρά
Υδροηλεκτρικά
Έργα

Απαραίτητα δεδομένα

- Ημερήσια χρονοσειρά εκροής
- Ακαθάριστο ύψος πτώσης
- Συνολικός βαθμός απόδοσης
- Μέγιστος βαθμός απόδοσης
- Ελάχιστη παροχή
- Τύπος υδροστροβίλου (Pelton / Francis)

$$q_{i,max} = \frac{P_i}{\gamma \eta_{i,max} h_n}$$

$$q_{T1} = \min(q, q_{1,max})$$

$$q_{T2} = \min(q - q_{T1}, q_{2,max})$$

$$E_i = \eta(q_{T1}) \gamma q_{T1} h_n \Delta t$$



Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας



Σύστημα
αντλησο-
ταμείωσης

Απαραίτητα δεδομένα

- Χωρητικότητες άνω και κάτω ταμιευτήρα
- Αρχικό απόθεμα
- Βαθμοί απόδοσης
- Ύψος απόληψης

$$E_{prod} = \gamma \eta_G V_{prod} (\Delta z - h_L)$$

$$E_{cons} = \gamma \frac{V_{pump} (\Delta z + h_L)}{\eta_P}$$



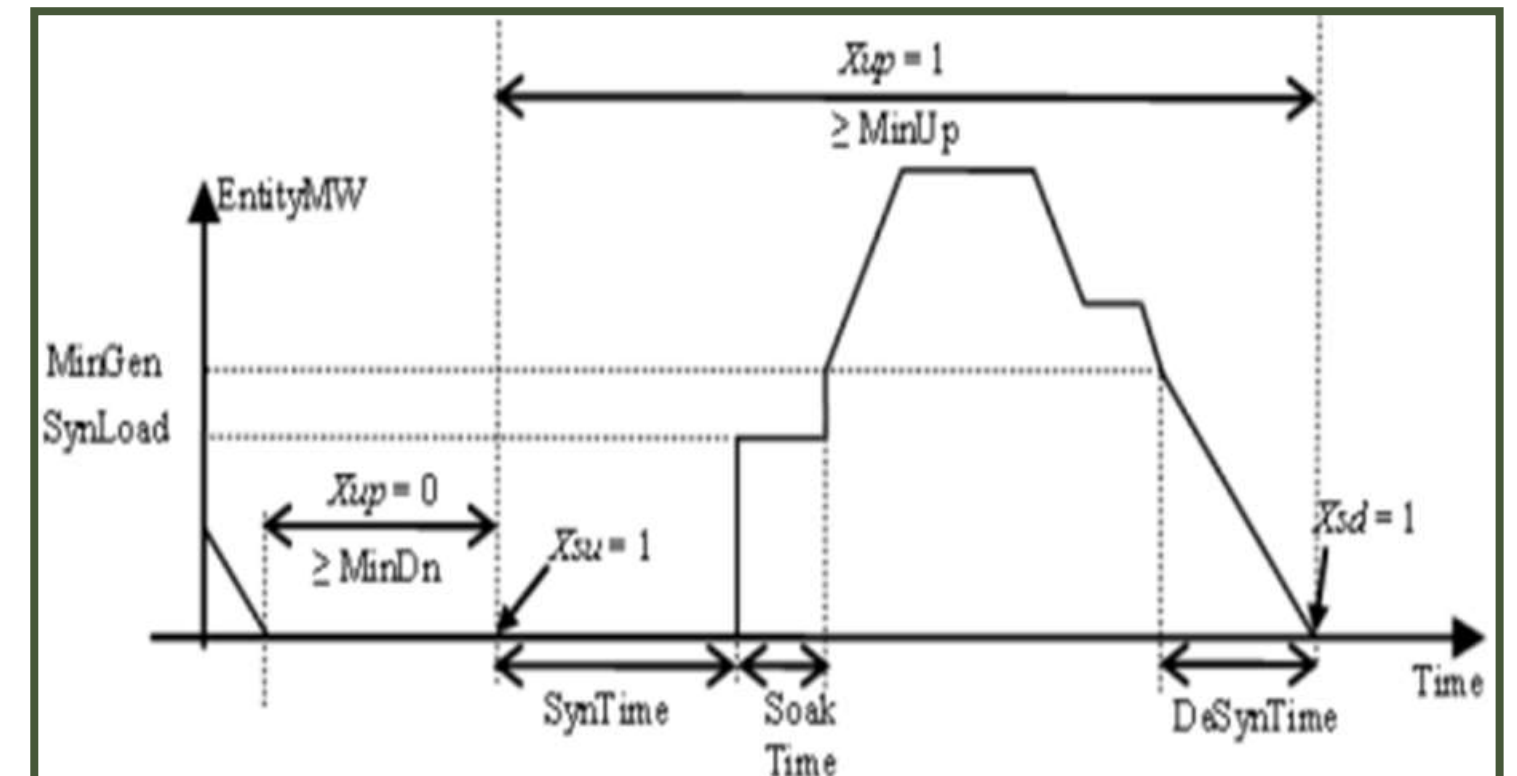
Υπολογισμός παραγωγής ενέργειας



Συμβατικές
γεννήτριες

Απαραίτητα δεδομένα

- Προφίλ λειτουργίας
- Μέγιστη ισχύς
- Αριθμός μονάδων



Διαμόρφωση διανυσμάτων

Διάνυσμα προσφοράς - ζήτησης, y

- Διάνυσμα n στοιχείων
- Κόμβος προσφοράς $\rightarrow$ Αντίστοιχη τιμή προσφοράς
- Κόμβος ζήτησης $\rightarrow 0$
- Dummy κόμβος $\rightarrow$ Αρνητικό συνολικό άθροισμα

Διάνυσμα παροχευτικότητας, u

- Διάνυσμα m στοιχείων
- Πραγματικοί και εικονικοί κλάδοι
- Πραγματικά τόξα $\rightarrow$ Παροχευτικότητα
- Προσφορά σε dummy $\rightarrow$ Προσφορά
- Ζήτηση σε dummy $\rightarrow$ Ζήτηση



Διαμόρφωση διανυσμάτων

Διάνυσμα προσφοράς - ζήτησης, y

- Διάνυσμα n στοιχείων
- Κόμβος προσφοράς $\rightarrow$ Αντίστοιχη τιμή προσφοράς
- Κόμβος ζήτησης $\rightarrow 0$
- Dummy κόμβος $\rightarrow$ Αρνητικό συνολικό άθροισμα

Διάνυσμα κόστους, c

- Πραγματικά τόξα $\rightarrow$ Πραγματικό κόστος
- Προσφορά σε dummy $\rightarrow 0$
- Ζήτηση σε dummy $\rightarrow -1/priority$
- Διασφάλιση διοχέτευσης ροών (επίπεδα σημαντικότητας)

$$|c|^{[k]} = \sum |c_j| + \varepsilon$$

Διάνυσμα παροχευτικότητας, u

- Διάνυσμα m στοιχείων
- Πραγματικοί και εικονικοί κλάδοι
- Πραγματικά τόξα $\rightarrow$ Παροχευτικότητα
- Προσφορά σε dummy $\rightarrow$ Προσφορά
- Ζήτηση σε dummy $\rightarrow$ Ζήτηση



Διαμόρφωση διανυσμάτων

Διάνυσμα προσφοράς - ζήτησης, y

- Διάνυσμα n στοιχείων
- Κόμβος προσφοράς $\rightarrow$ Αντίστοιχη τιμή προσφοράς
- Κόμβος ζήτησης $\rightarrow 0$
- Dummy κόμβος $\rightarrow$ Αρνητικό συνολικό άθροισμα

Διάνυσμα κόστους, c

- Πραγματικοί κλάδοι $\rightarrow$ Πραγματικό κόστος
- Προσφορά σε dummy $\rightarrow 0$
- Ζήτηση σε dummy $\rightarrow -1/priority$
- Διασφάλιση διοχέτευσης ρών (επίπεδα σημαντικότητας)

$$|c|^{[k]} = \sum |c_j| + \varepsilon$$

Διάνυσμα παροχευτικότητας, u

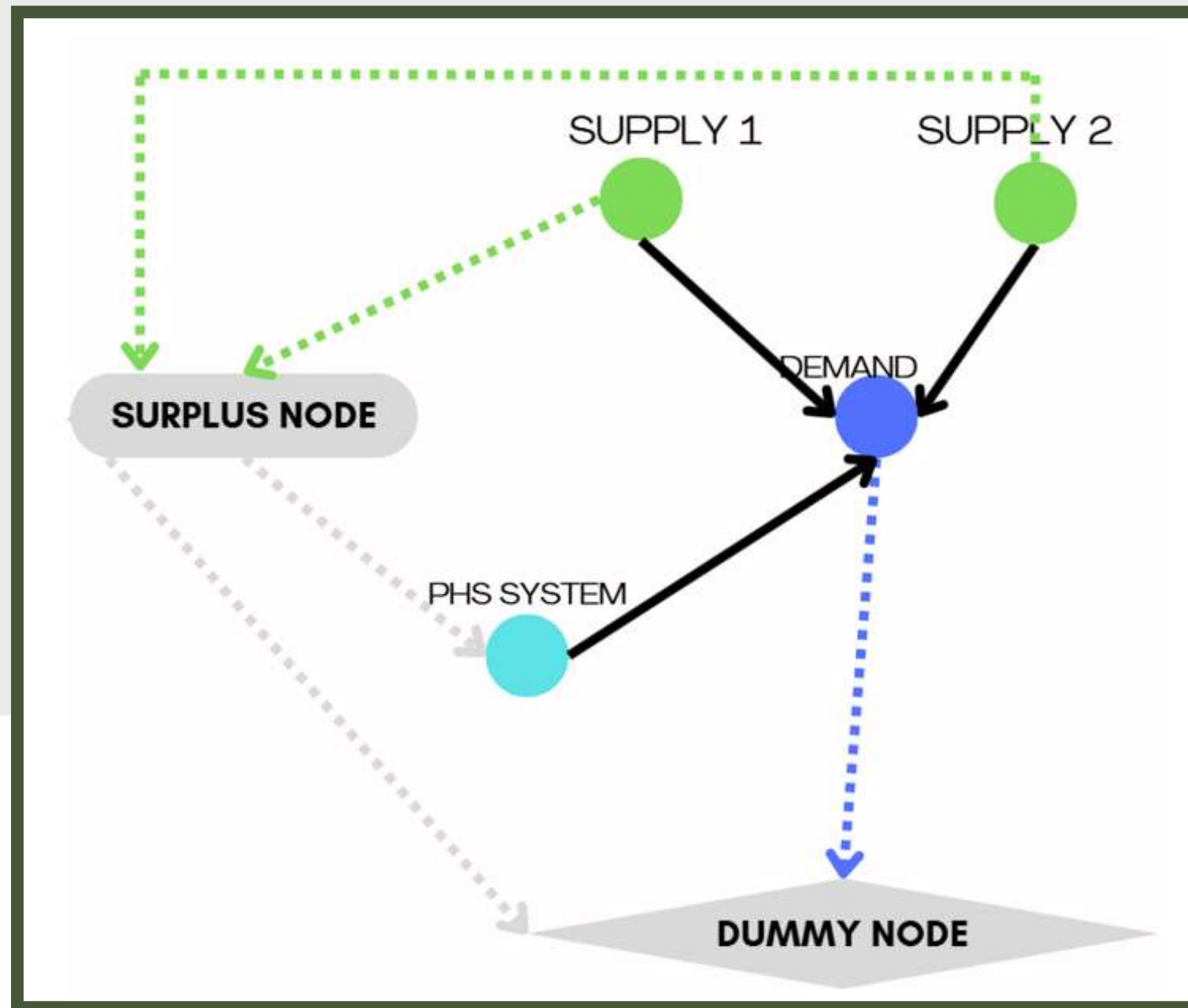
- Διάνυσμα m στοιχείων
- Πραγματικοί και εικονικοί κλάδοι
- Πραγματικά τόξα $\rightarrow$ Παροχευτικότητα
- Προσφορά σε dummy $\rightarrow$ Προσφορά
- Ζήτηση σε dummy $\rightarrow$ Ζήτηση

Διάνυσμα ρών ενέργειας, x

$$\begin{aligned} & \text{minimise } f(x) = c^T x \\ & \text{s. t. } Ax = y \\ & 0 \leq x \leq u \end{aligned}$$



Προσθήκη συστήματος αντλησοταμείωσης



- Προσθήκη στον προς επίλυση διγράφο εικονικού κόμβου περίσσειας (*surplus*)
- Σύνδεση των κόμβων προσφοράς με κόμβο περίσσειας (και όχι με dummy)

Προσθήκη συστήματος αντλησοταμίευσης

ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ

- Η περίσσεια από τους κόμβους προσφοράς μεταφέρεται στον κόμβο *surplus*
- Αντλείται ποσότητα, ανάλογα με το διαθέσιμο απόθεμα του κάτω ταμιευτήρα ή την διαθέσιμη χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα

ΕΛΛΕΙΜΜΑ

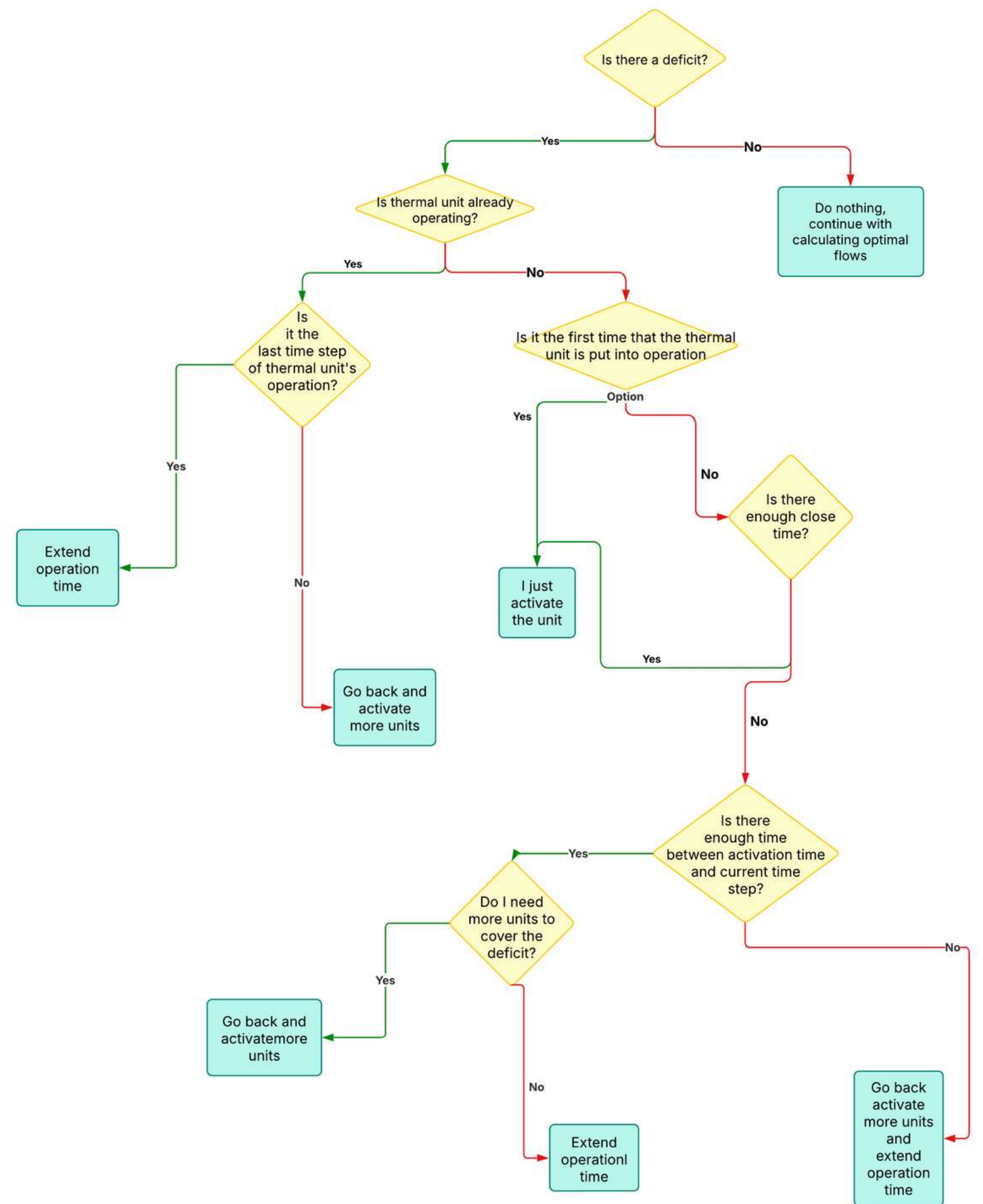
- Το έλλειμμα ενέργειας μεταφράζεται σε όγκο νερού και εφόσον υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα στον κάτω ταμιευτήρα, διαθέσιμο απόθεμα στον άνω ταμιευτήρα, η ποσότητα αυτή μεταφέρεται στον κάτω ταμιευτήρα, καλύπτοντας την ζήτηση



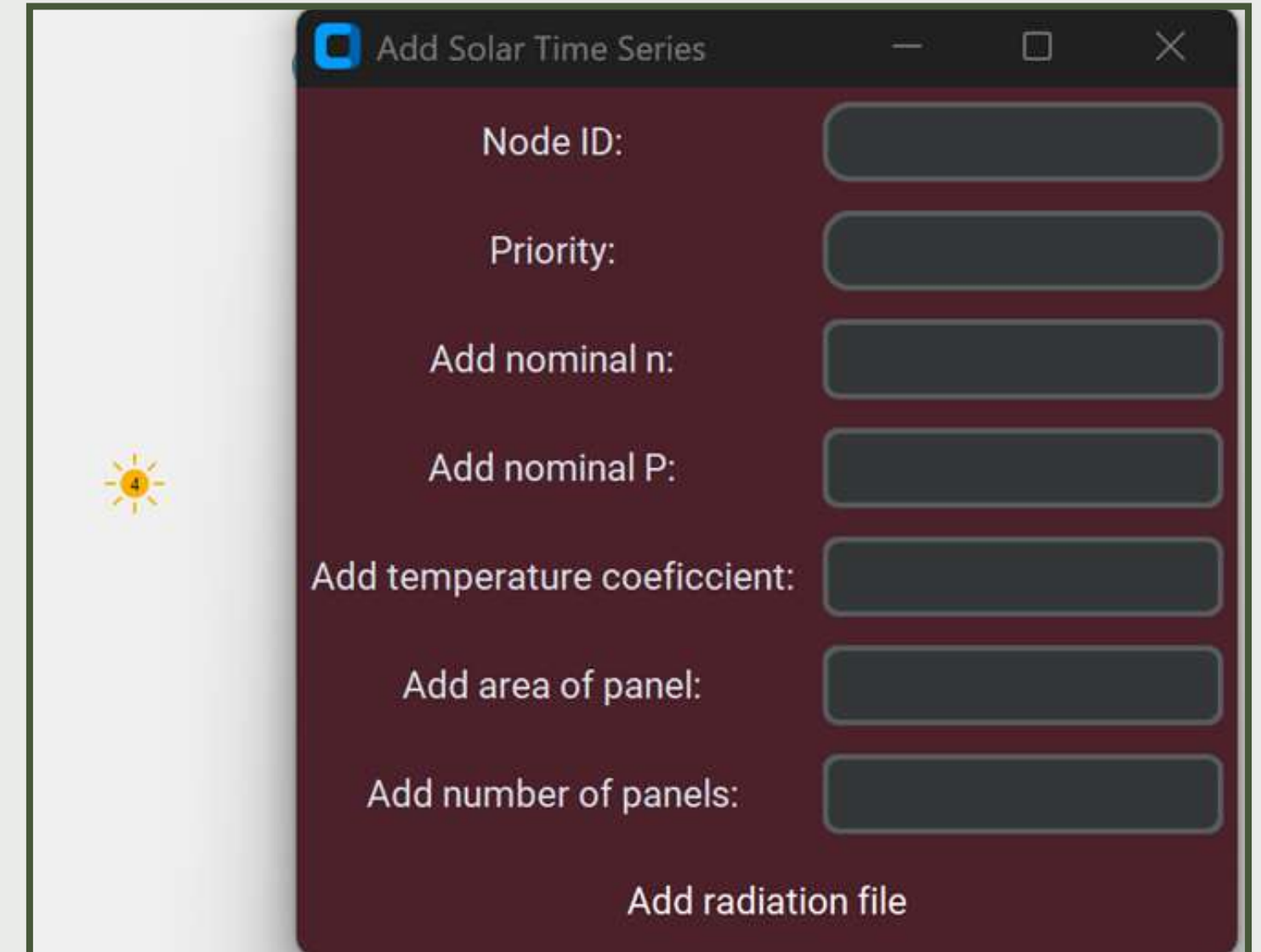
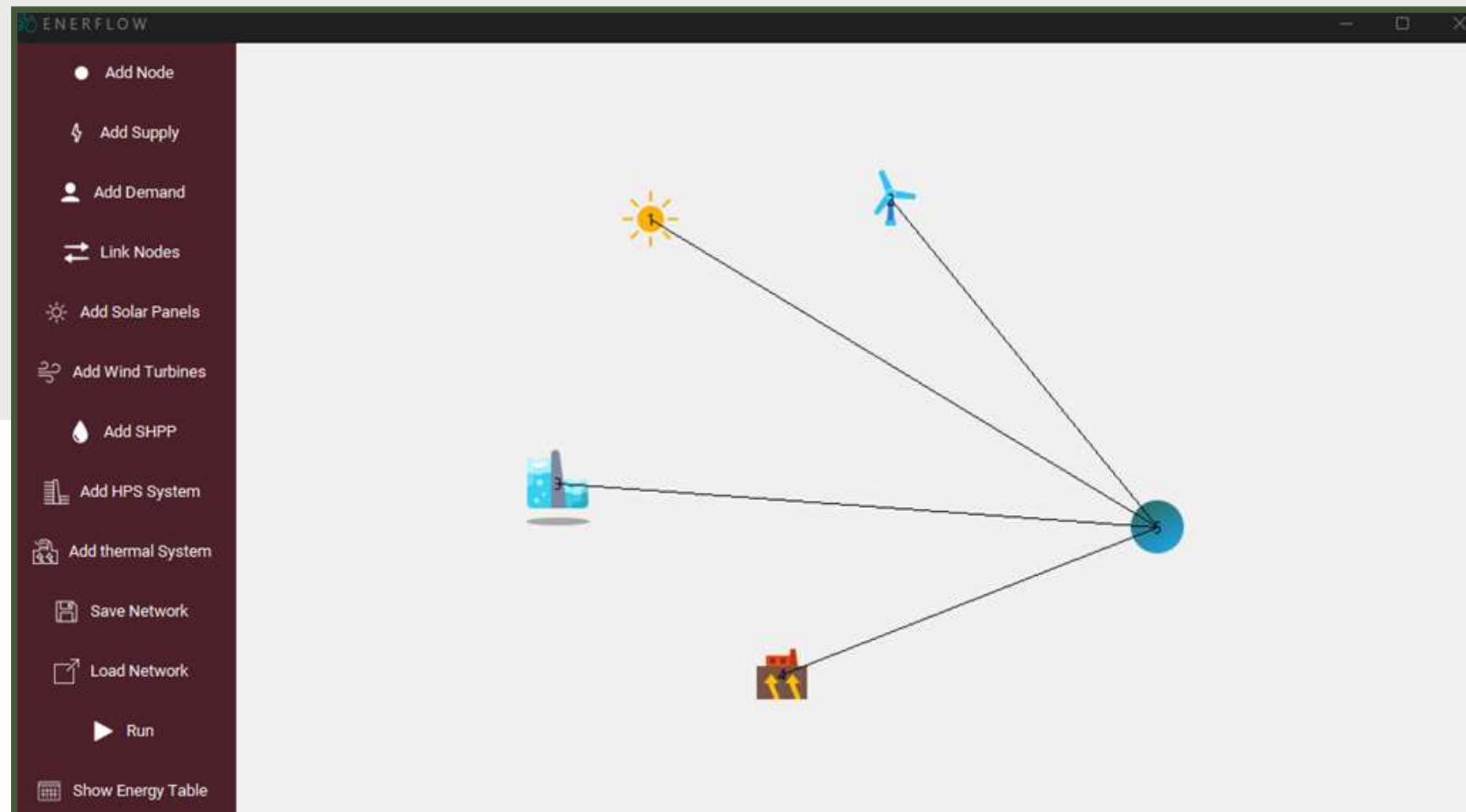
Προσθήκη συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας



Προσθήκη συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας



Το λογισμικό Enerflow



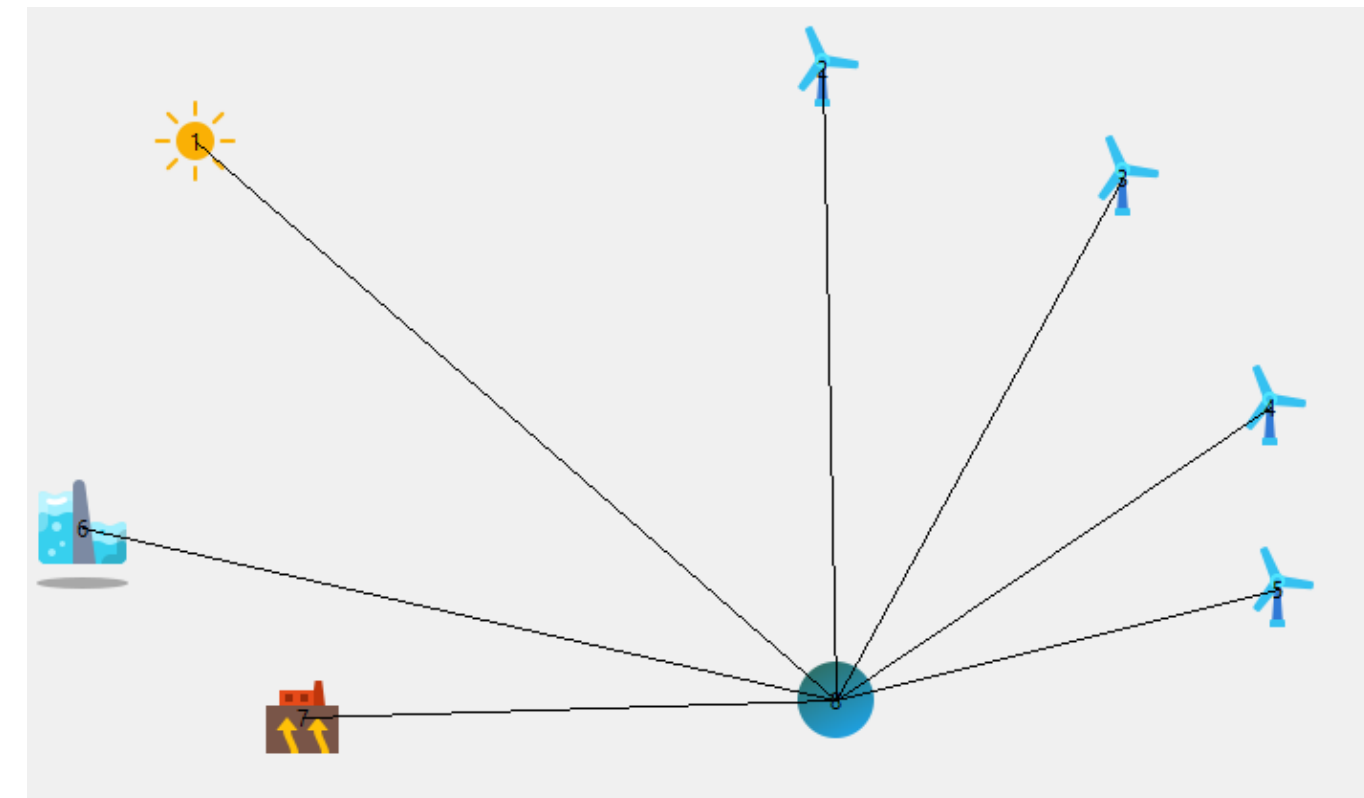
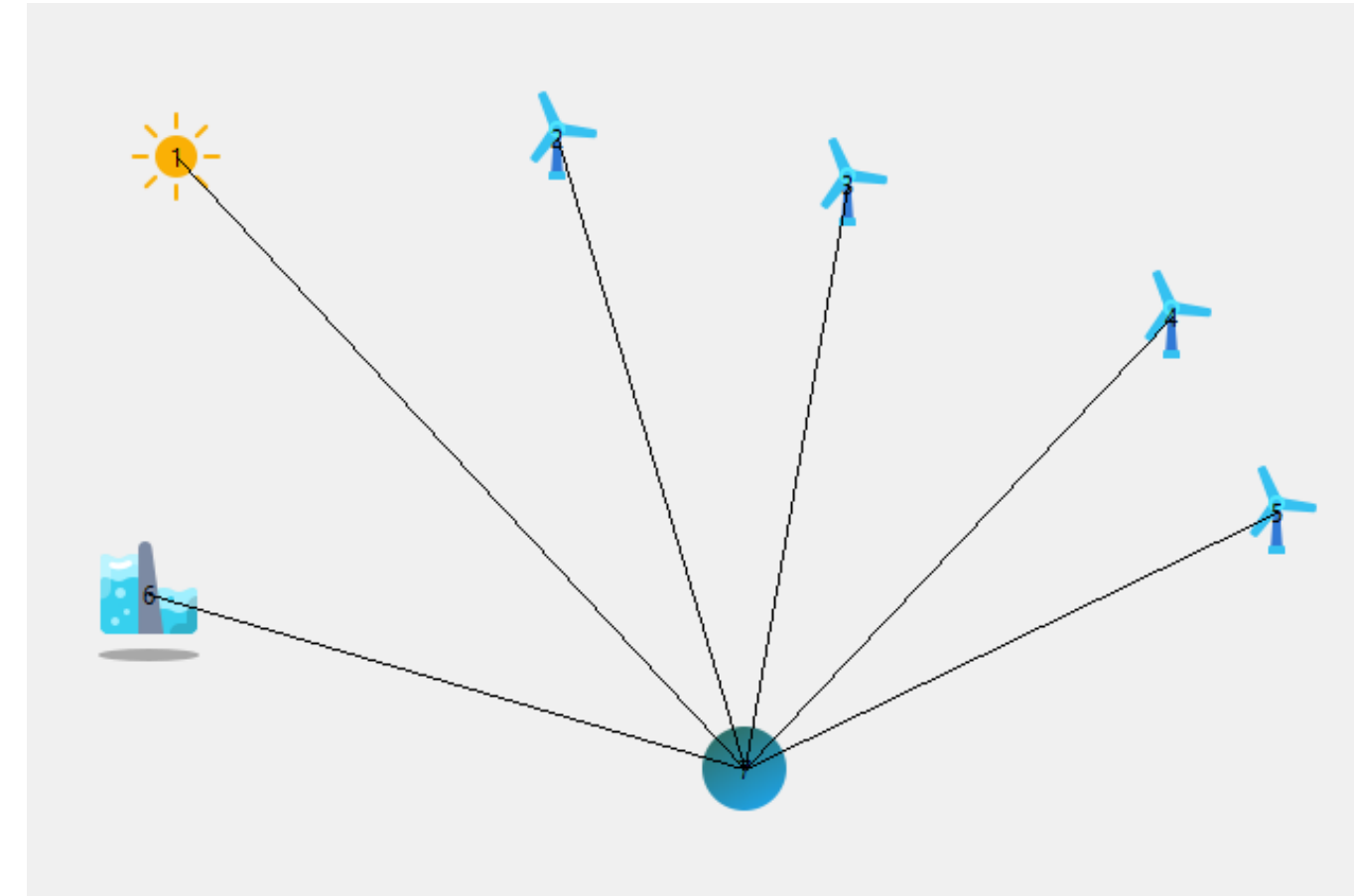
The screenshot shows a dialog box titled "Add Solar Time Series". It contains several input fields for configuring solar panel data:

- Node ID:
- Priority:
- Add nominal n:
- Add nominal P:
- Add temperature coefficient:
- Add area of panel:
- Add number of panels:
- Add radiation file:

Η περίπτωση της Σίφνου

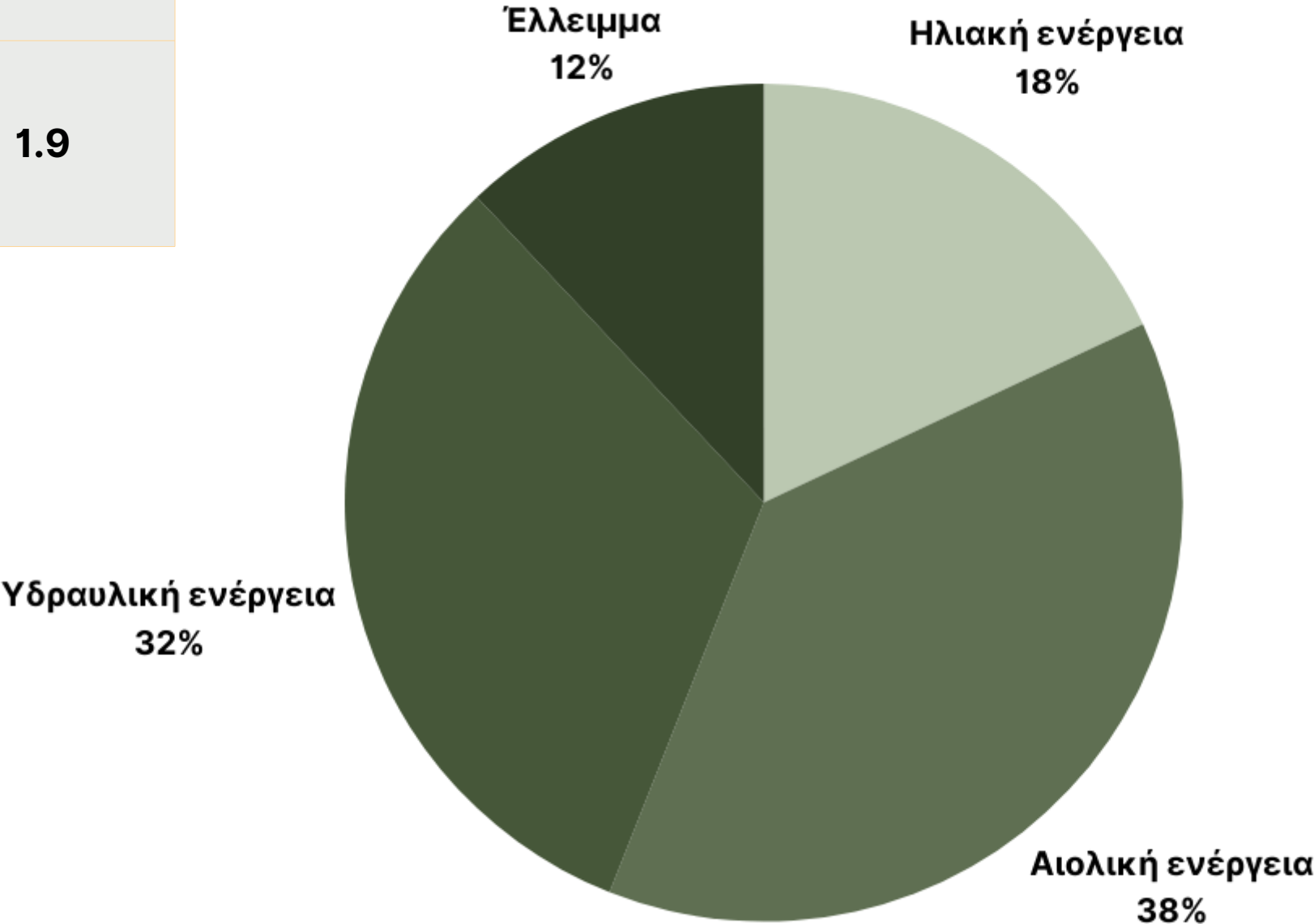
- Φωτοβολταϊκά 2,4 MW
- Δύο ανεμογεννήτριες 0,9 MW
- Δύο ανεμογεννήτριες 2,3 MW
- Σύστημα αντλησοταμείωσης:
Άνω ταμιευτήρας: 315.195 m³
Κάτω ταμιευτήρας: Θάλασσα

Συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας:
9 μονάδες των 1,2 MW

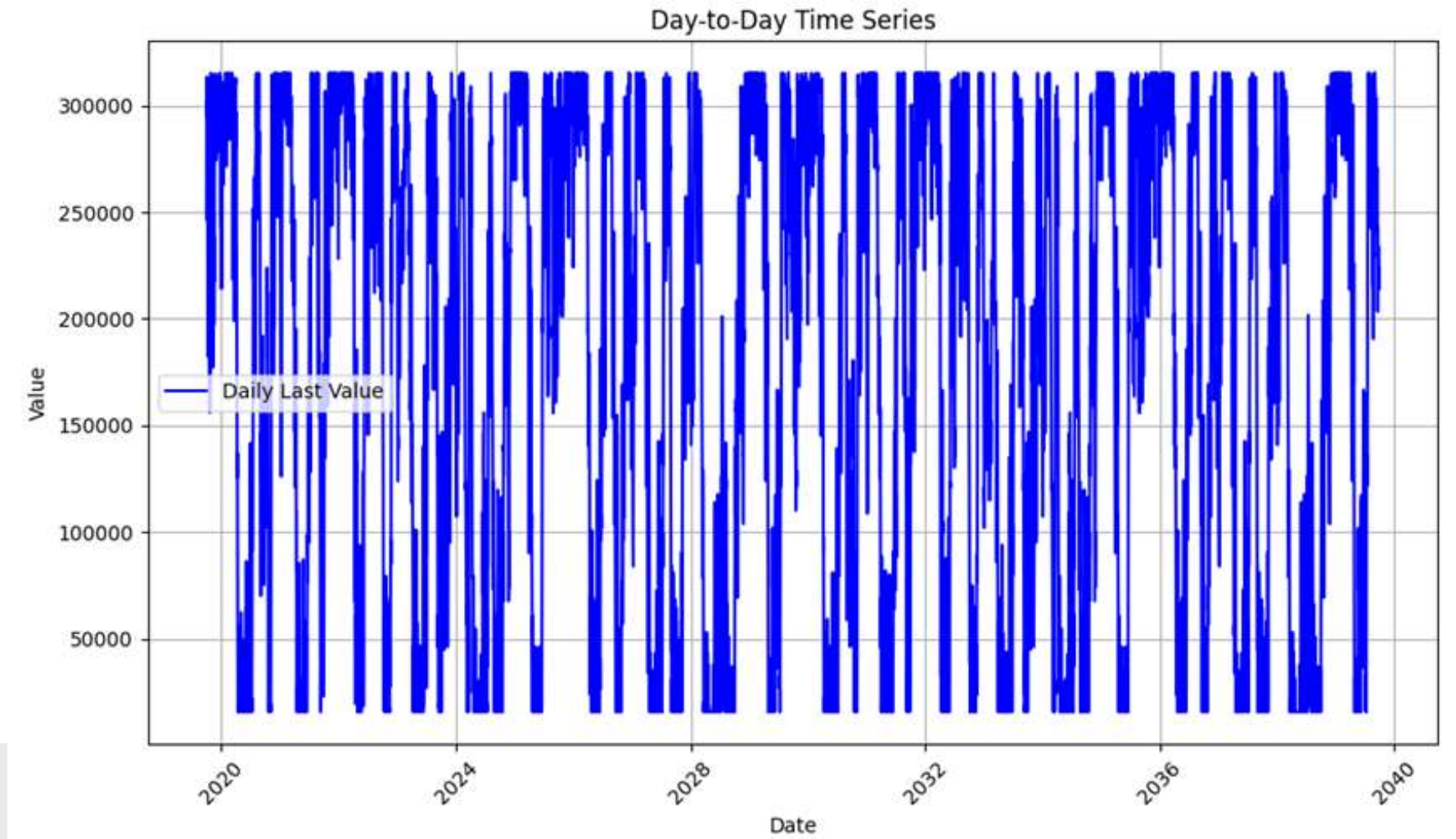
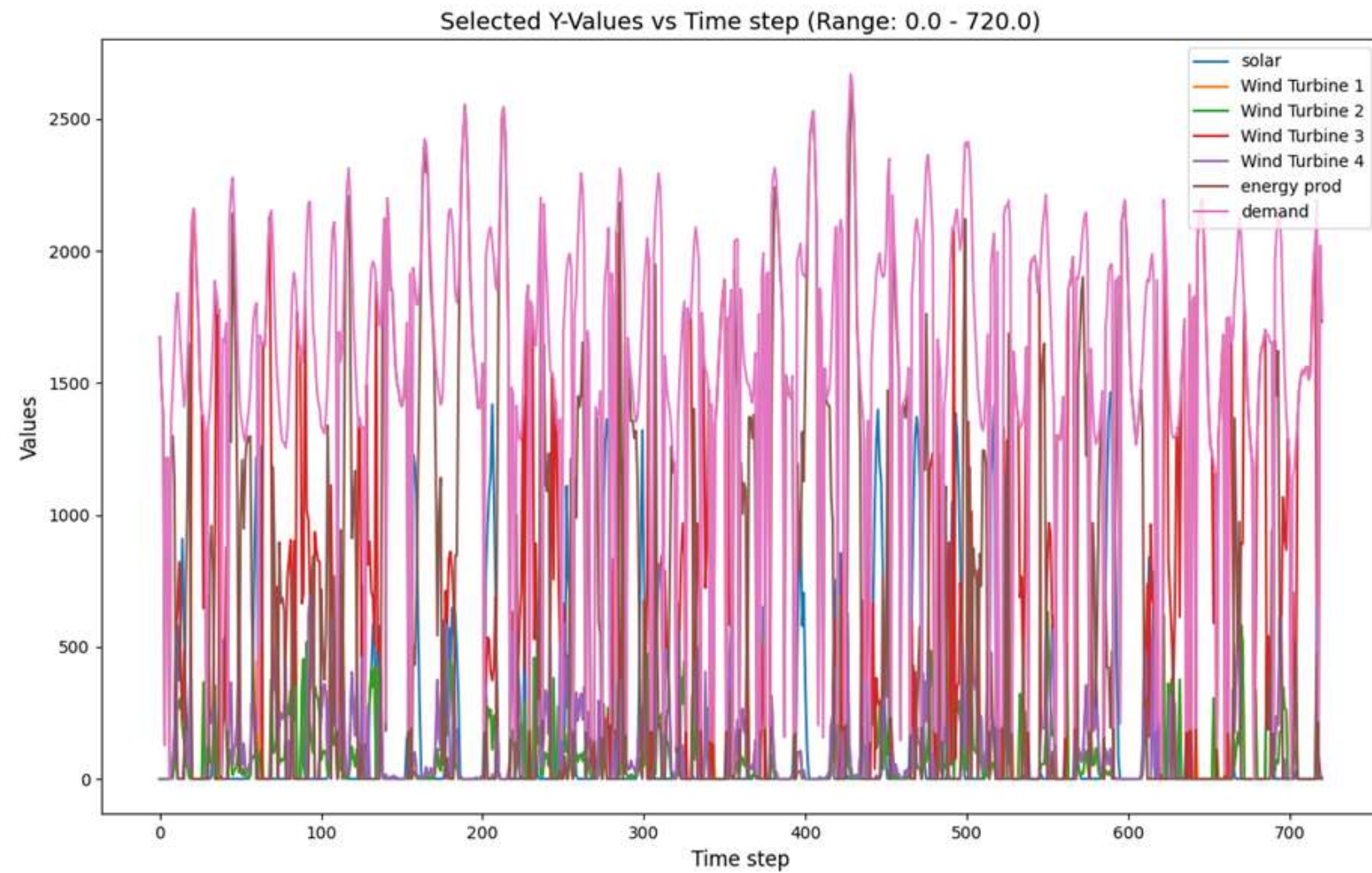


Χωρίς θερμική μονάδα παραγωγής

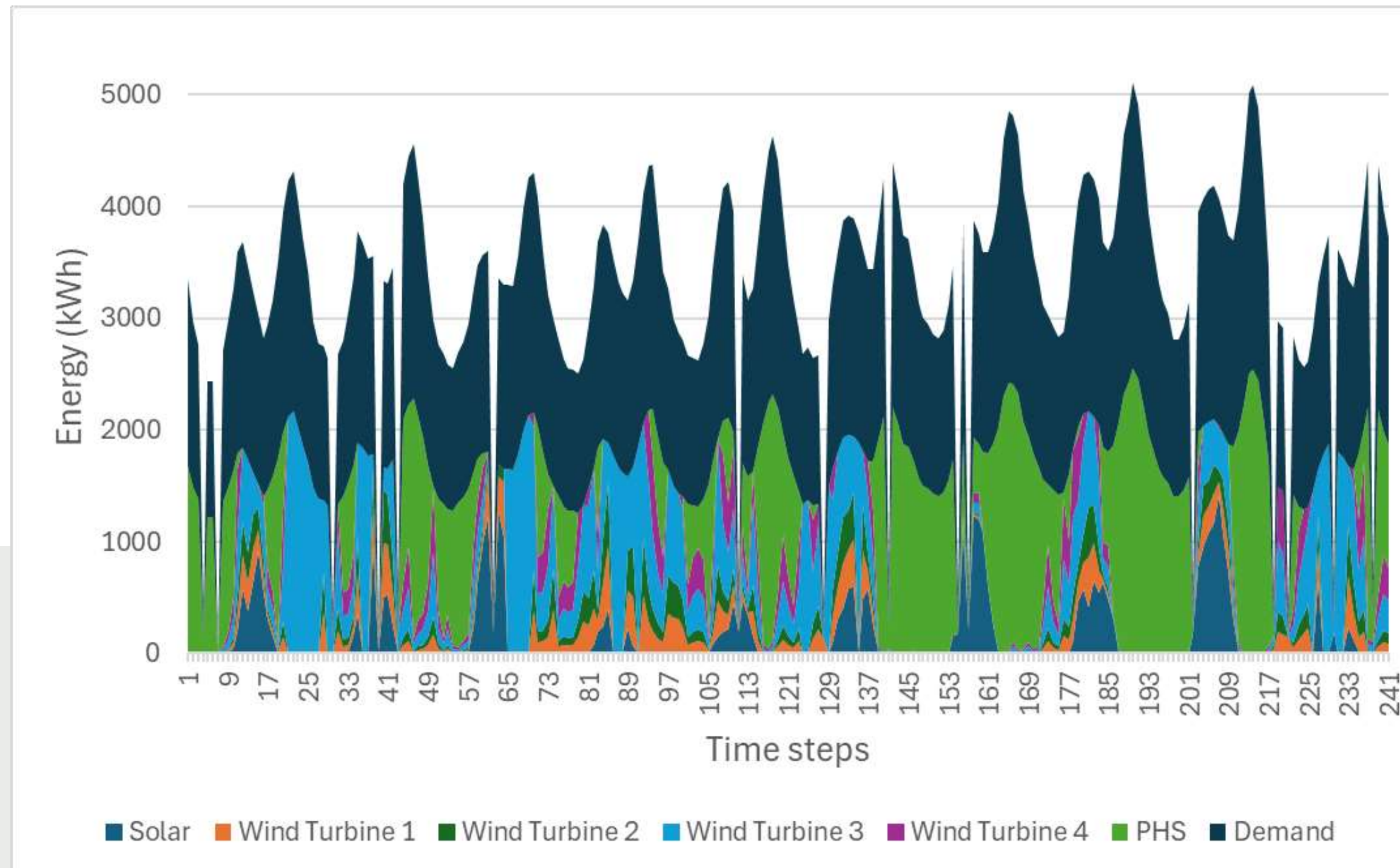
Μέση ετήσια ενέργεια από ΑΠΕ (GWh)	19.5
Μέση ετήσια ενέργεια από σύστημα αντλησοταμίευσης (GWh)	5.18
Μέση ετήσια ζήτηση (GWh)	15.7
Μέσο ετήσιο έλλειμμα (GWh)	1.9



Αποτελέσματα

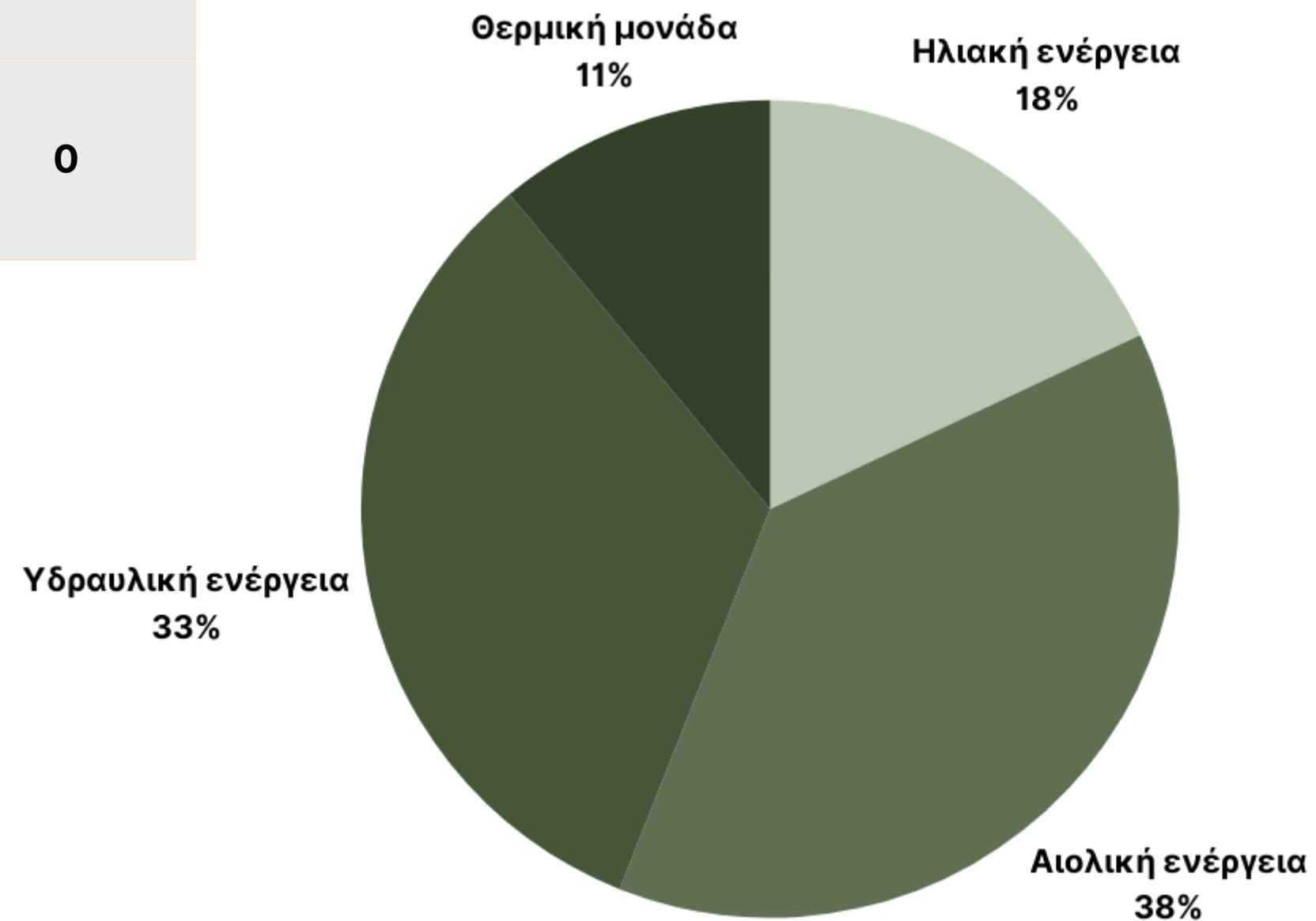


Αποτελέσματα



Με θερμική μονάδα παραγωγής

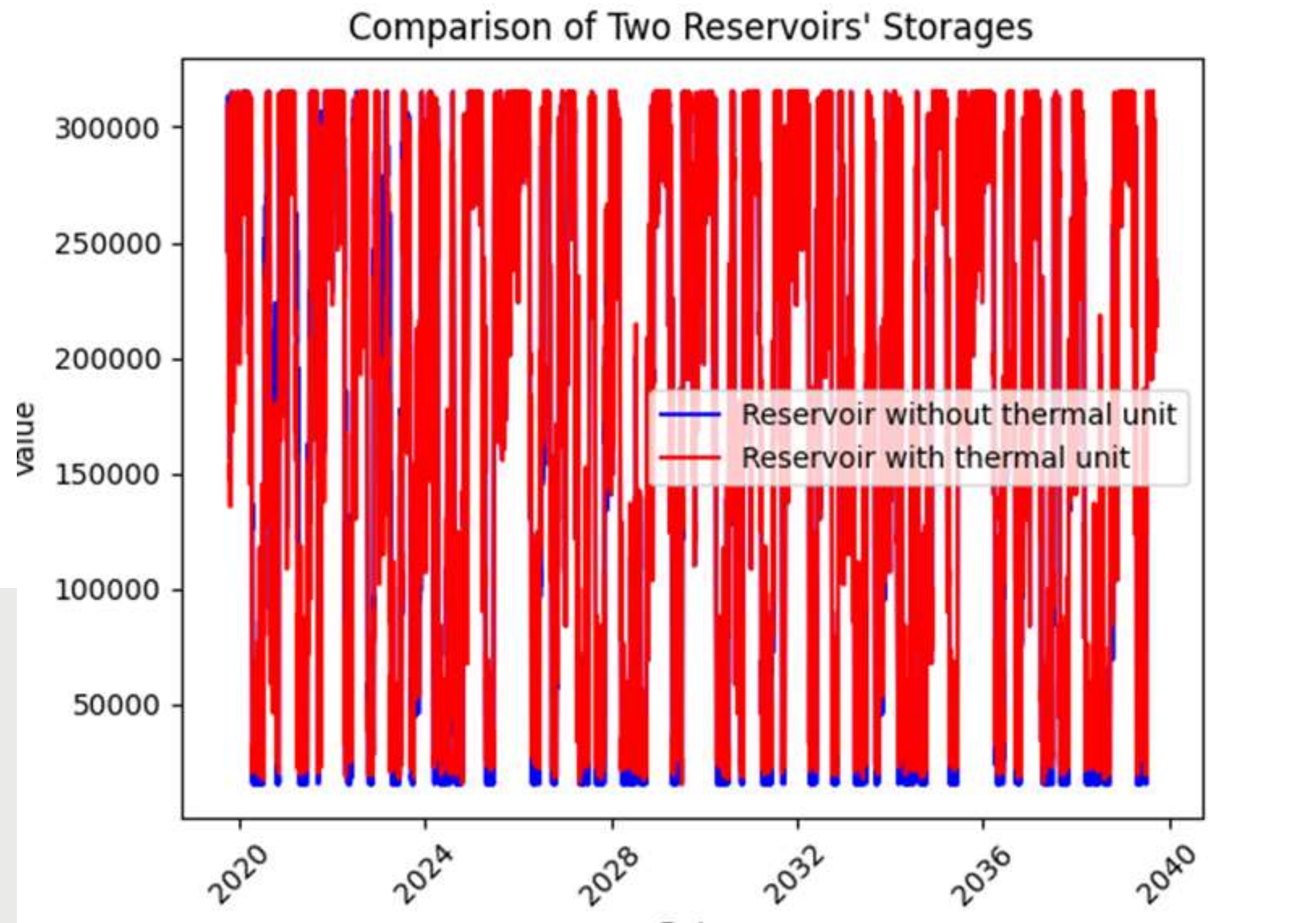
Μέση ετήσια ενέργεια από ΑΠΕ (GWh)	19.5
Μέση ετήσια ενέργεια από σύστημα αντλησοταμίευσης (GWh)	5.7
Μέση ετήσια ζήτηση (GWh)	15.7
Μέσο ετήσιο έλλειμμα (GWh)	0



Αξιοπιστία

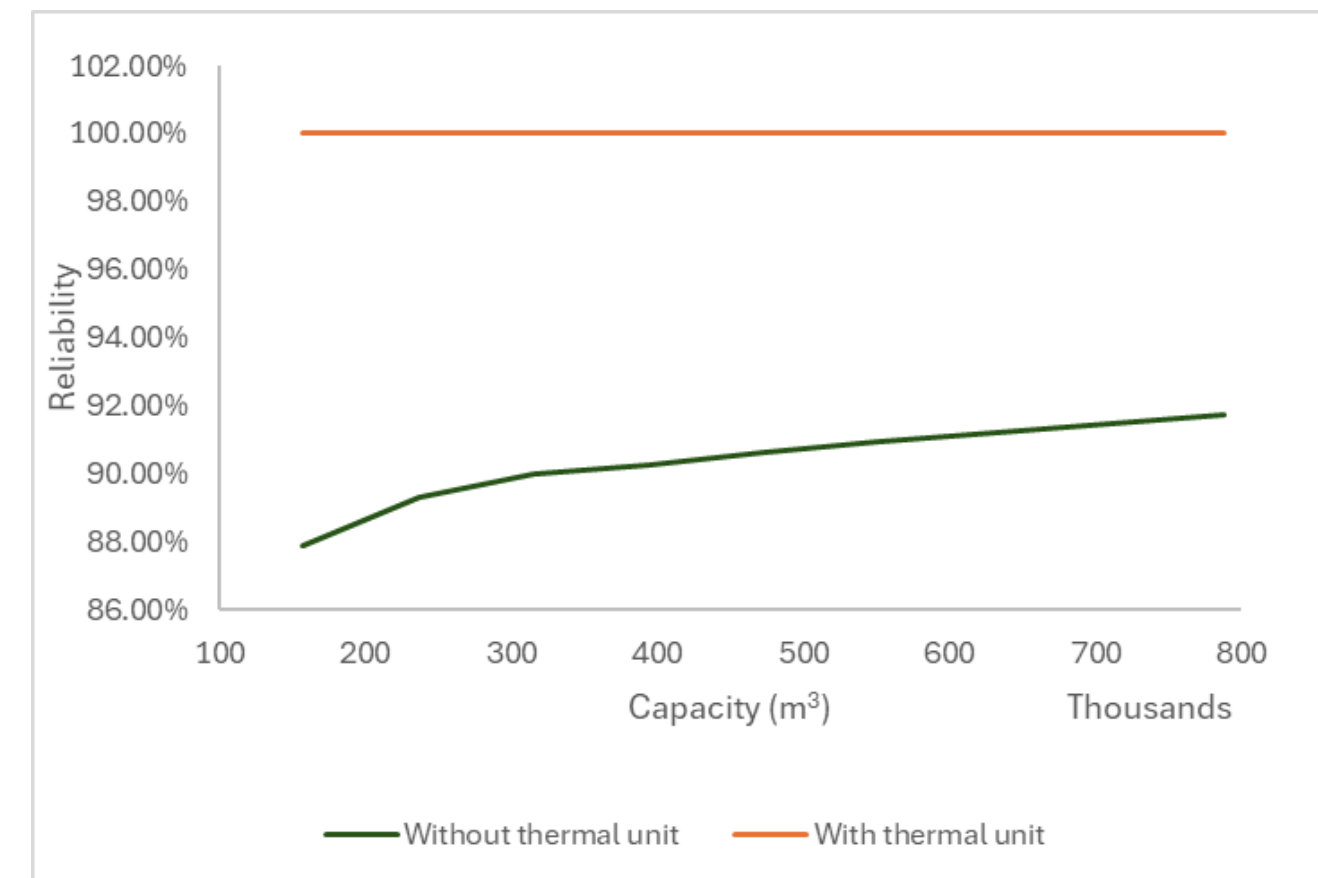
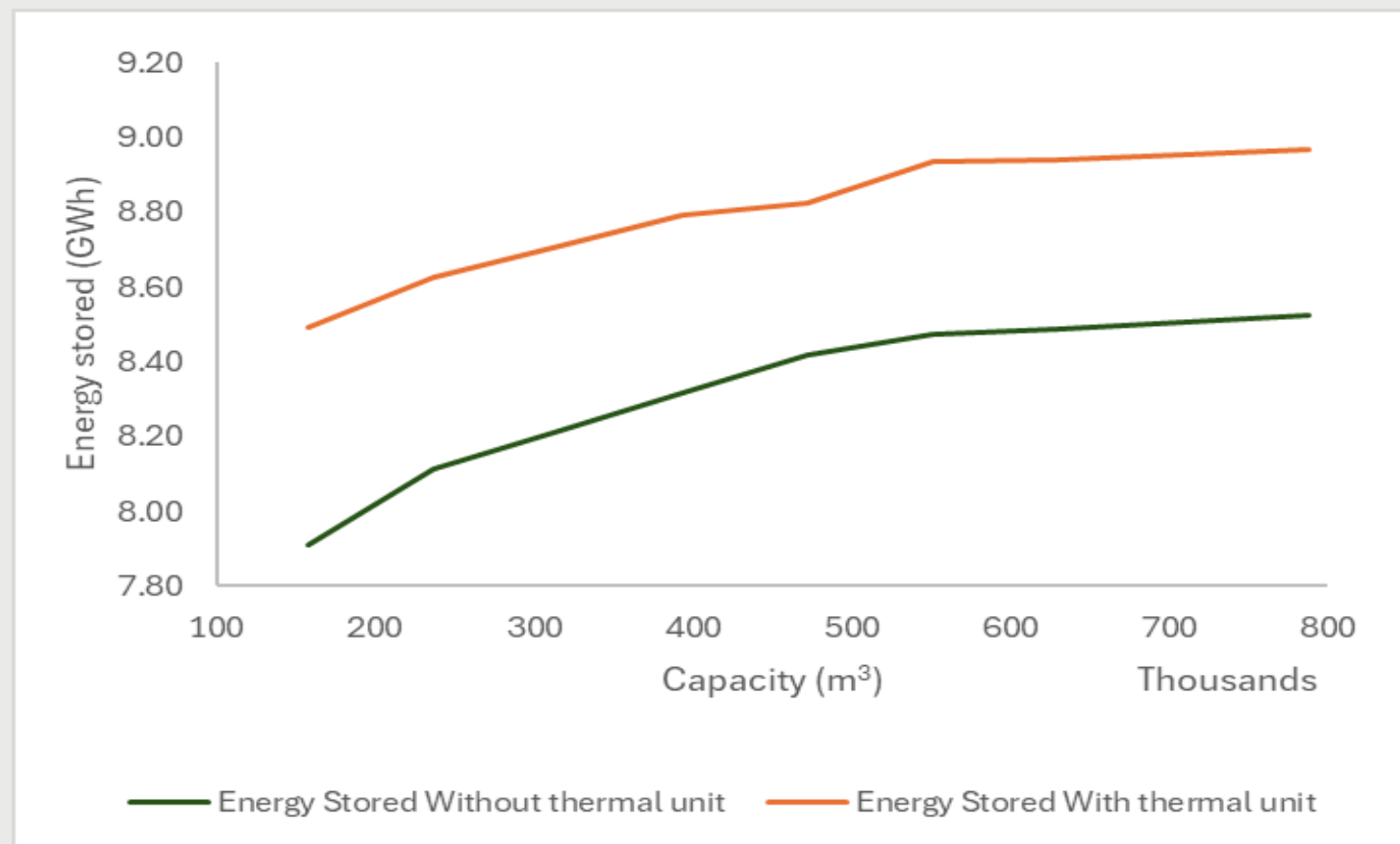
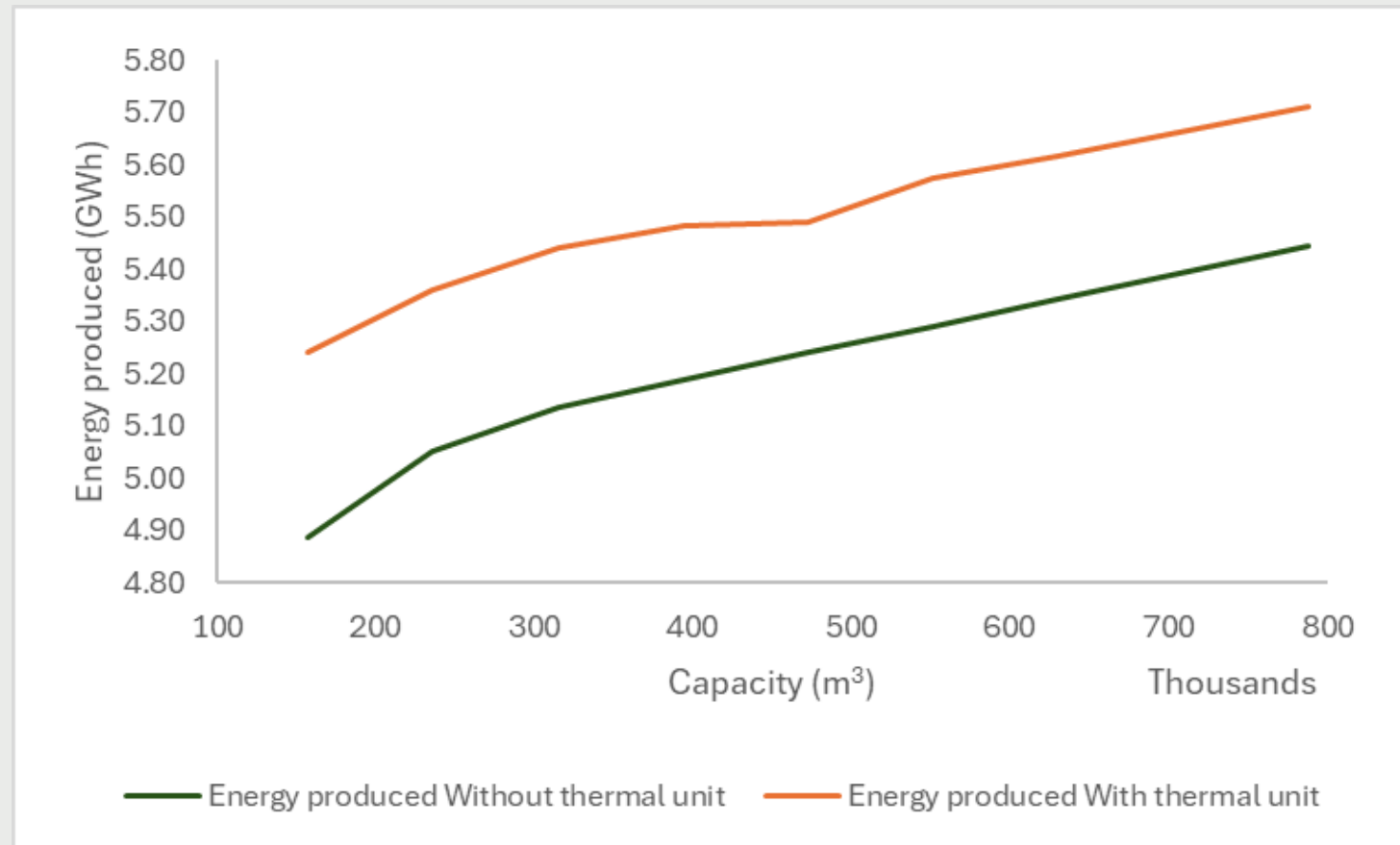


Αποτελέσματα



- Υψηλότερα αποθέματα ταμιευτήρα
- Περίσσεια λόγω θερμικών μονάδων

Μεταβολές στην χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα



Σύνοψη και Προοπτικές

Διττή χρησιμότητα:

- Μακροπρόθεσμος σχεδιασμός υβριδικών ενεργειακών συστημάτων και των κρίσιμων υποδομών τους
- Βέλτιστη κατανομή ροών ενέργειας βραχυπρόθεσμα (day - ahead) παρέχοντας έγκυρη πρόβλεψη των ενεργειακών πλεονασμάτων και ελλειμμάτων

Μελλοντικά:

- Βελτιστοποίηση κώδικα
- Καλύτερος επιλυτής γραμμικής βελτιστοποίησης
- Ενσωμάτωση στοιχείων σχεδιασμού αλλά και κανόνων διαχείρισης, εργαλείο λήψης αποφάσεων
- Εισαγωγή συνιστωσών νερού-ενέργειας



**ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!**

