



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΥΤΑΡΚΕΙΑ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΜΑΝΤΟΥΔΙΟΥ-ΛΙΜΝΗΣ-ΑΓΙΑΣ ΑΝΝΑΣ

Όλγα Λύρα

Επιβλέπων: Γ.-Φ. Σαργέντης, ΕΔΙΠ - Διδάκτορας

Νοέμβριος 2024

- Κατανόηση του πλέγματος νερού - ενέργειας και τροφίμων και της λειτουργίας του
- Αξιολόγηση της διαχείρισης νερού και ενέργειας με γνώμονα το πλέγμα στον εξεταζόμενο δήμο
- Αξιολόγηση της δυναμικότητας των διαθέσιμων φυσικών πόρων της περιοχής
- Ποσοτικοποίηση των συνολικών αναγκών του δήμου σε νερό και ενέργεια
- Αναζήτηση και εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών λύσεων που βασίζονται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η επίτευξη της κατά το δυνατόν μεγαλύτερης αυτάρκειας σε νερό & ενέργεια του δήμου Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας

ΤΟ ΠΛΕΓΜΑ (WEF NEXUS)

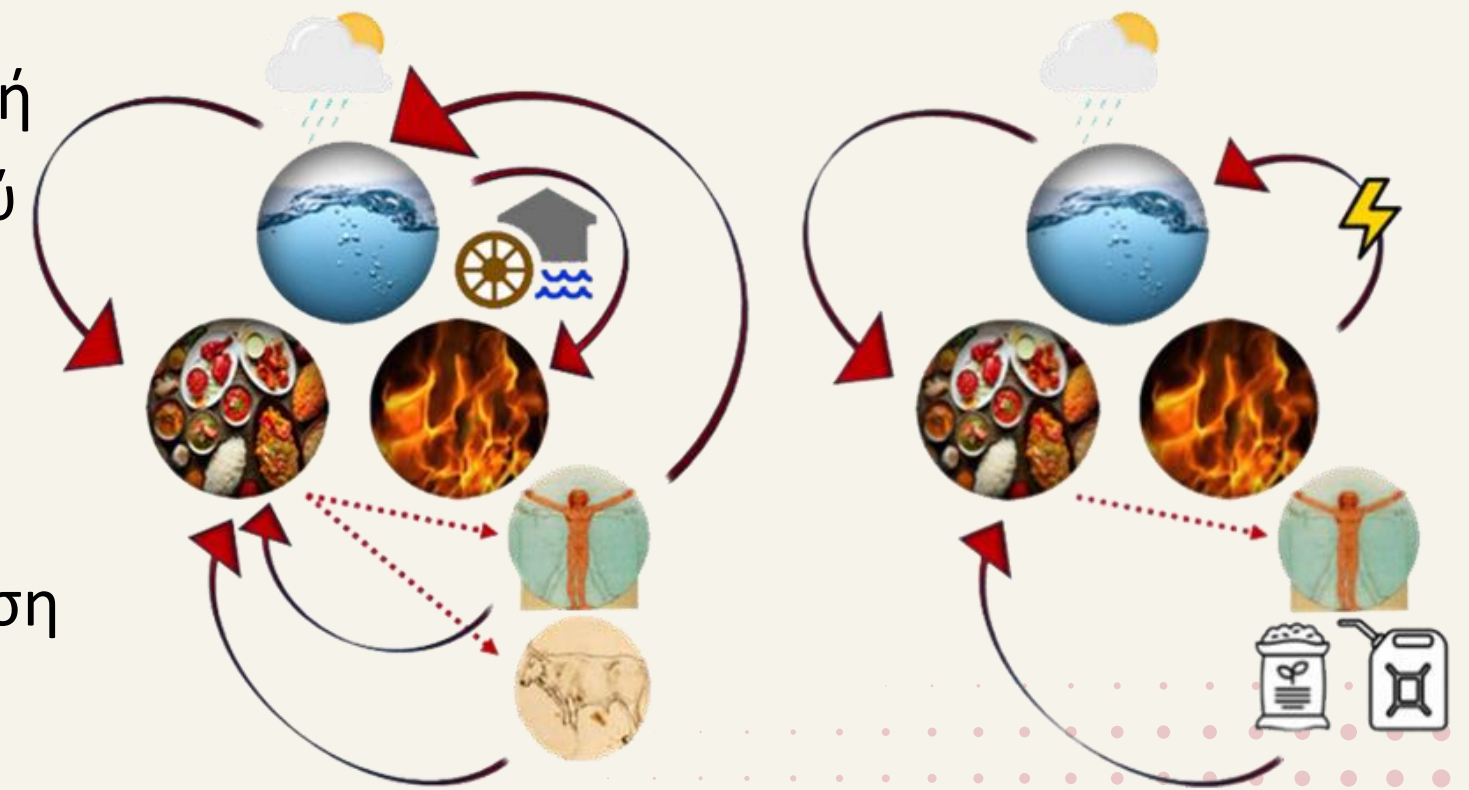
ΝΕΡΟ - ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΤΡΟΦΙΜΑ

2



- Αλληλεπίδραση και αλληλεξάρτηση του νερού, της ενέργειας και τροφίμων - τρεις πόροι απαραίτητοι για τις ανθρώπινες κοινωνίες
- Καθιερώθηκε ως έννοια το 2011 στο Συνέδριο της Βόννης
- Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού και η αστικοποίηση δημιουργούν την ανάγκη για ολοκληρωμένη διαχείριση των πόρων αυτών → ανάπτυξη στρατηγικών παγκοσμίως προς αυτή την κατεύθυνση

- Η αλληλεπίδραση των στοιχείων στο παρελθόν (προβιομηχανική εποχή) - παρόλο που δεν έχει καθιερωθεί ως έννοια - ήταν πολύ πιο έντονη
- Σήμερα, η διαχείριση και η λειτουργία του βασίζεται στην αφθονία ενέργειας
- Τονίζεται η ανάγκη για αλλαγές στη διαχείριση καθώς η εξάρτηση από την αφθονία ενέργειας δεν αποτελεί σταθερή βάση



Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΔΗΜΟΣ ΜΑΝΤΟΥΔΙΟΥ-ΛΙΜΝΗΣ-ΑΓΙΑΣ ΑΝΝΑΣ

3

- Έκταση **57.852 ha** με ιδιαίτερα ποικιλόμορφη γεωμορφολογία - Βουνά, θάλασσα, πεδιάδες, κοιλάδες, ποτάμια
- **12.235 κάτοικοι** (Απογραφή ΕΛΣΤΑΤ 2021) - Αραιοκατοικημένη περιοχή 0,2 κάτοικοι/ha
- Μεγάλη δασική έκταση - **48.510,5 ha** - Πυρκαγιά 2021, περίπου 72% δάσους κάηκε
- Αγροτική περιοχή - **9.300 ha** καλλιεργούμενων εκτάσεων - **2.800 ha** δενδρώδεις καλλιέργειες
- Κτηνοτροφία, μελισσοκομία, ρητινοκαλλιέργεια



	Σύνολο	Υψηλής γεωργικής εκμετάλλευσης	Χαμηλής γεωργικής εκμετάλλευσης	Δενδρώδεις καλλιέργειες (ελιές)	Δάση & άλλες χρήσεις
Εκτάρια (ha)	57.852	2.645,2	3.821,96	2.874,34	48.510,5
Ποσοστό (%)	100	4,6	6,6	5,0	83,9

Υδατικοί πόροι

Ποτάμια: Νηλέας και Κηρέας,
ελάχιστη παροχή $1\text{m}^3/\text{sec}$

→ **7.776.000 m^3**

Υπόγεια νερά: Υπόγειος
υδροφορέας μεταξύ 10-120 m

Ήλιος

Ετήσια ολική ηλιακή ενέργεια
= **1.600 kWh/m^2**

Ετήσια άμεση ηλιακή ενέργεια
= **1.730 kWh/m^2**

Άνεμος

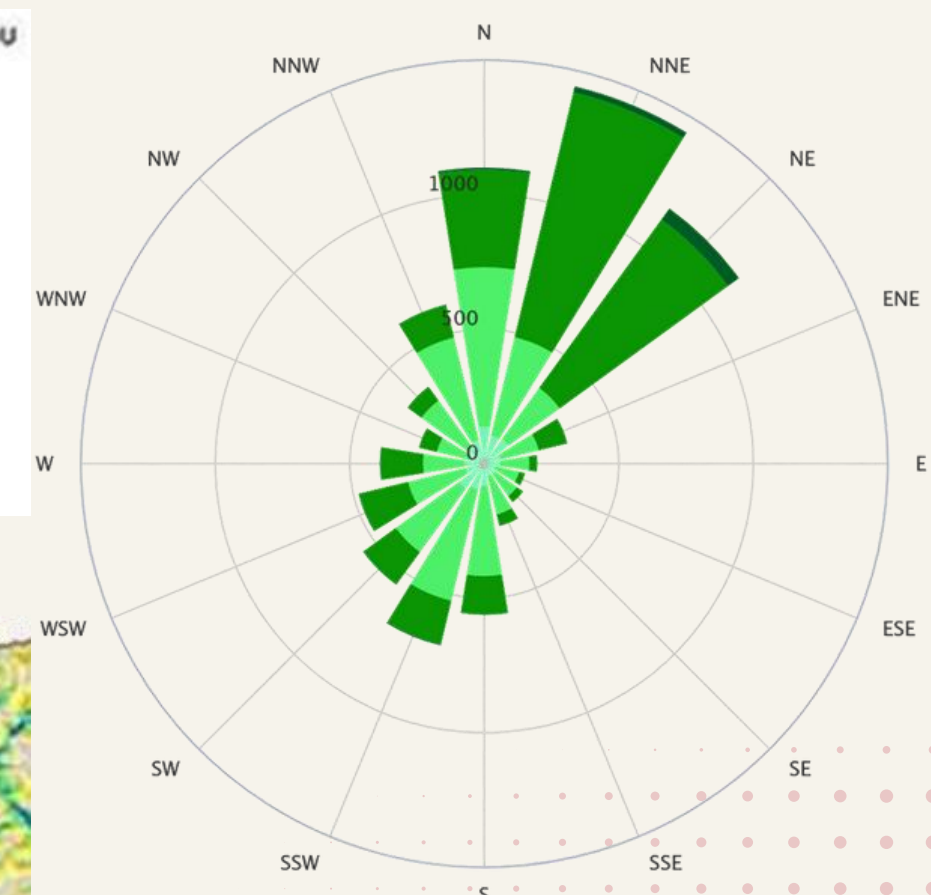
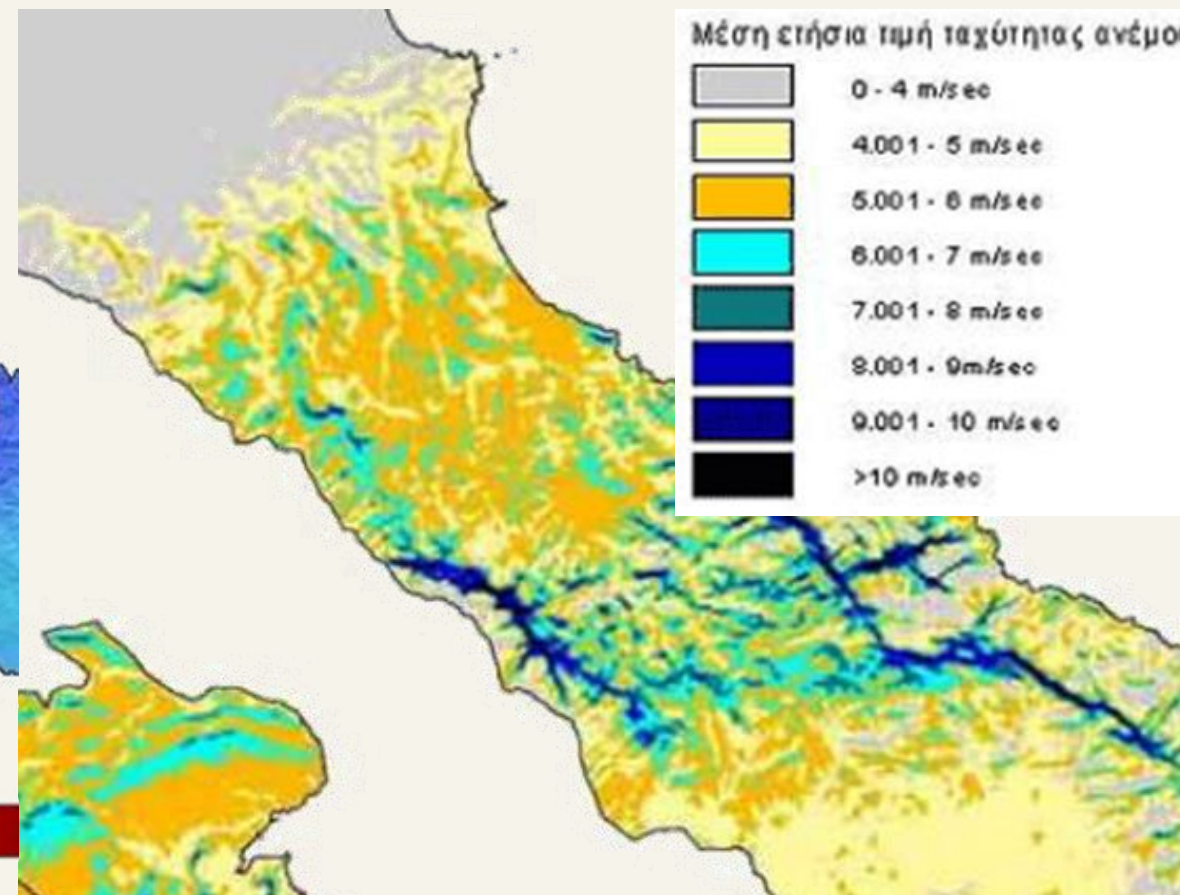
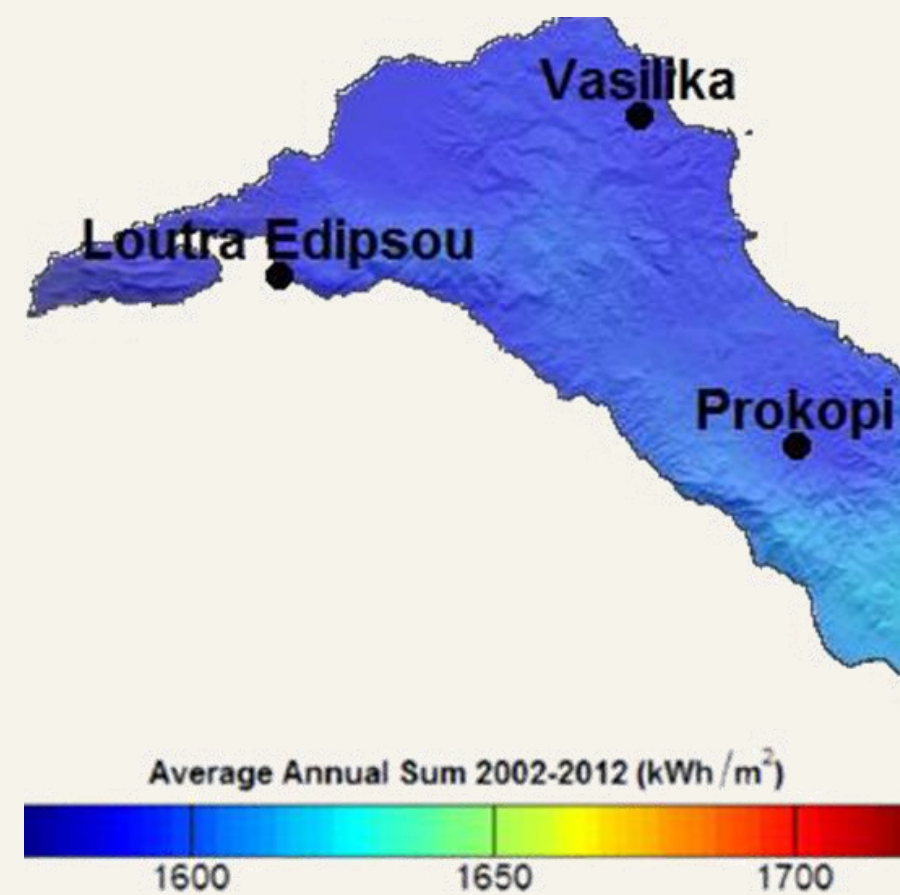
Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου
περίπου **6 m/s**

Διεύθυνση επικρατούντων
ανέμων **βόρειο-
βορειοανατολική**

Βιομάζα

Δάσος: Ξυλεία περίπου **70
τόνοι/ha**

Δενδρώδεις καλλιέργειες
(ελιές) **10 τόνοι/ha**



Κάτοικοι

- Νερό = 200 λίτρα/κάτοικο/ημέρα = 893.155 m³/έτος
- Άντληση νερού ύδρευσης = 162 MWh/έτος
- Ηλεκτρική ενέργεια νοικοκυριών = 63,4 GWh/έτος
- Μετακίνηση:
 - Πετρελαιοκίνητα Ι.Χ.= 2,14 εκατ. lt/έτος
 - Ηλεκτροκίνητα Ι.Χ.= 6,53 GWh/έτος
- Θέρμανση:
 - Πετρέλαιο = 3.600 lt/οικία/έτος = 11 εκατ. lt/έτος
 - Ξυλεία = 10 τόνοι/οικία/έτος = 30.590 τόνοι/έτος

Αγροτική παραγωγή

- Άρδευση:
 - Υψηλής εκμετάλλευσης = 6.000 m³/ha = 15.871.200 m³
 - Χαμηλής εκμετάλλευσης = 2.000 m³ /ha = 7.643.920 m³
- Άντληση νερού άρδευσης = 4,3 GWh/έτος
- Τρακτέρ:
 - Πετρελαιοκίνητα = 1.161.790 lt/έτος
 - Ηλεκτροκίνητα = 2,97 GWh/έτος

Συνολικές ετήσιες ανάγκες

Νερό (m ³)	24.408.275
Ηλεκτρική Ενέργεια (GWh)	77,5
Πετρέλαιο κίνησης (lt)	3.758.090
Πετρέλαιο θέρμανσης (lt)	11.012.400
Ξυλεία για θέρμανση (τόνοι)	30.590

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ & Η ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΥΤΑΡΚΕΙΑΣ

6

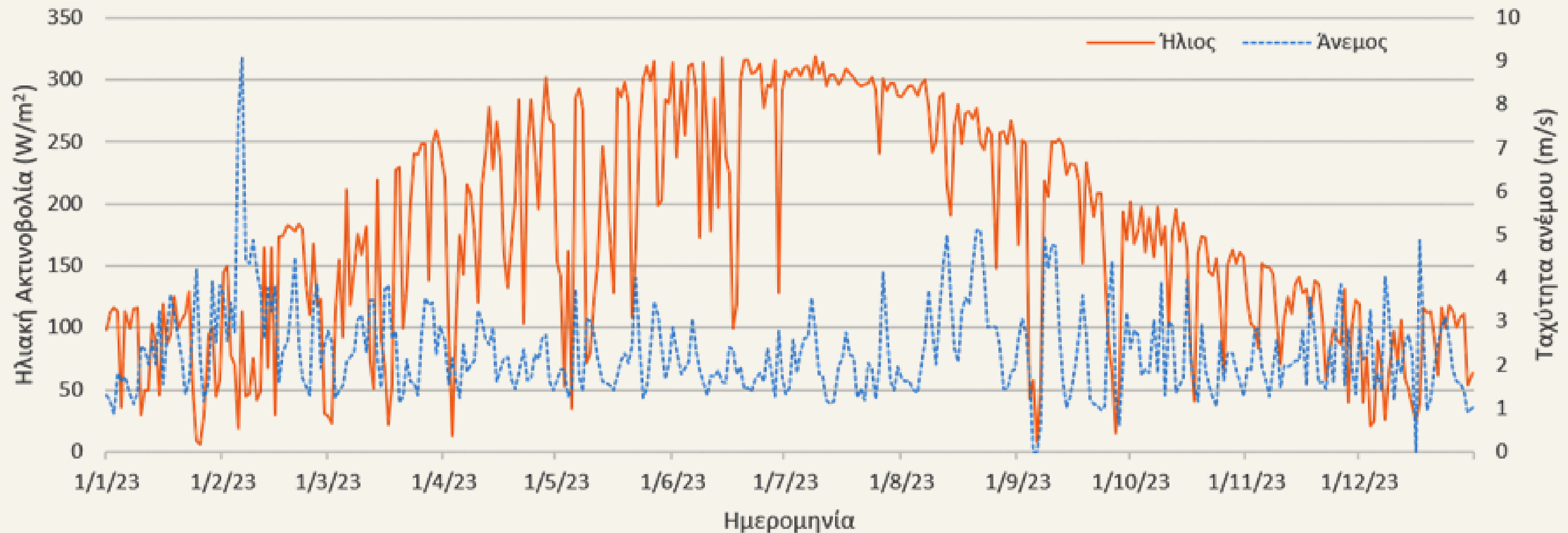
- **Κάλυψη των αναγκών του δήμου σχεδόν εξ ολοκλήρου από εισαγόμενους μη ανανεώσιμους πόρους**
Οχήματα και μηχανήματα αγροτικής παραγωγής → Βενζίνη και πετρέλαιο
Ύδρευση και άρδευση → Άντληση του νερού από τον υπόγειο υδροφόρα
Ηλεκτρική ενέργεια νοικοκυριών → Εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης
Εισαγωγή των απαιτούμενων λιπασμάτων της αγροτικής παραγωγής
- **Αστάθεια και μακροπρόθεσμη αβεβαιότητα**
Οποιαδήποτε παρεμπόδιση στην εισαγωγή των πόρων έχει άμεσες συνέπειες στη διαβίωση του δήμου
- **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**
Η υπερεκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων πόρων δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα
- **Η αυτάρκεια θα μπορούσε να επιφέρει πολλαπλά οφέλη στο δήμο**
Μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενους πόρους → σταθερότερη και λιγότερο ευάλωτη κοινωνία
Ενίσχυση της τοπικής οικονομίας
Μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και βελτίωση της ποιότητας ζωής

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΗΛ. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ & ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΓ. ΑΝΝΑΣ

7

- Ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) & ταχύτητα ανέμου (m/s)
- 52.560 μετρήσεις για το κάθε φαινόμενο (10λεπτα)
- Μέσος όρος κάθε ημέρας για το διάγραμμα



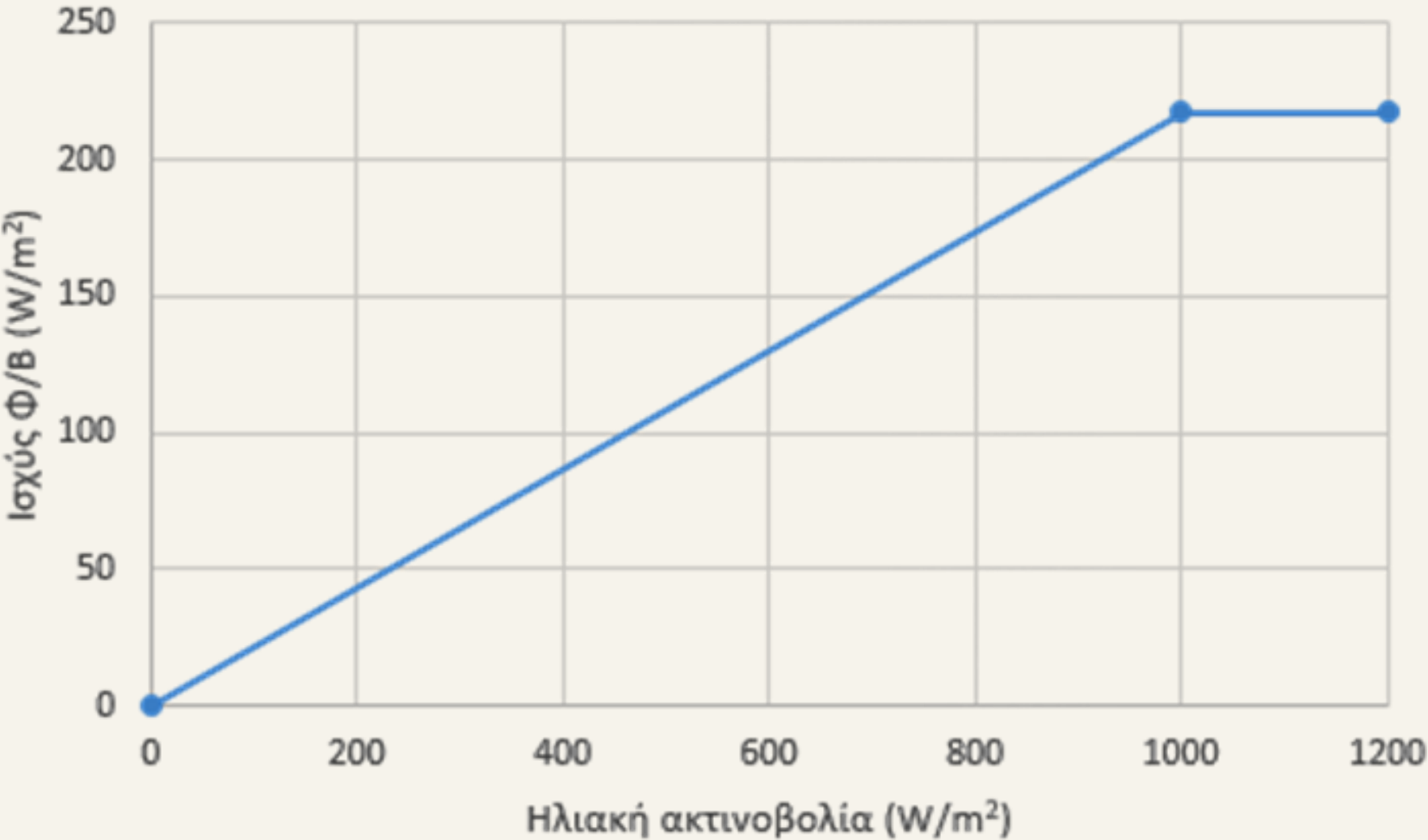
Με την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει:

- Διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια = **1.534,5 kWh/m²**
- Μέση ταχύτητα ανέμου = **8,4 m/s**

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική Ισχύς:	217 Wp
Τύπος:	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
Διαστάσεις πλαισίου (ΜxΠxΥ):	1640x990x42 mm
Διαστάσεις κυττάρου:	156x156 mm
Πλήθος κυττάρων:	60
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος:	-0.42 %/°C

Διάγραμμα αποδιδόμενης ισχύος Φ/Β πλαισίου

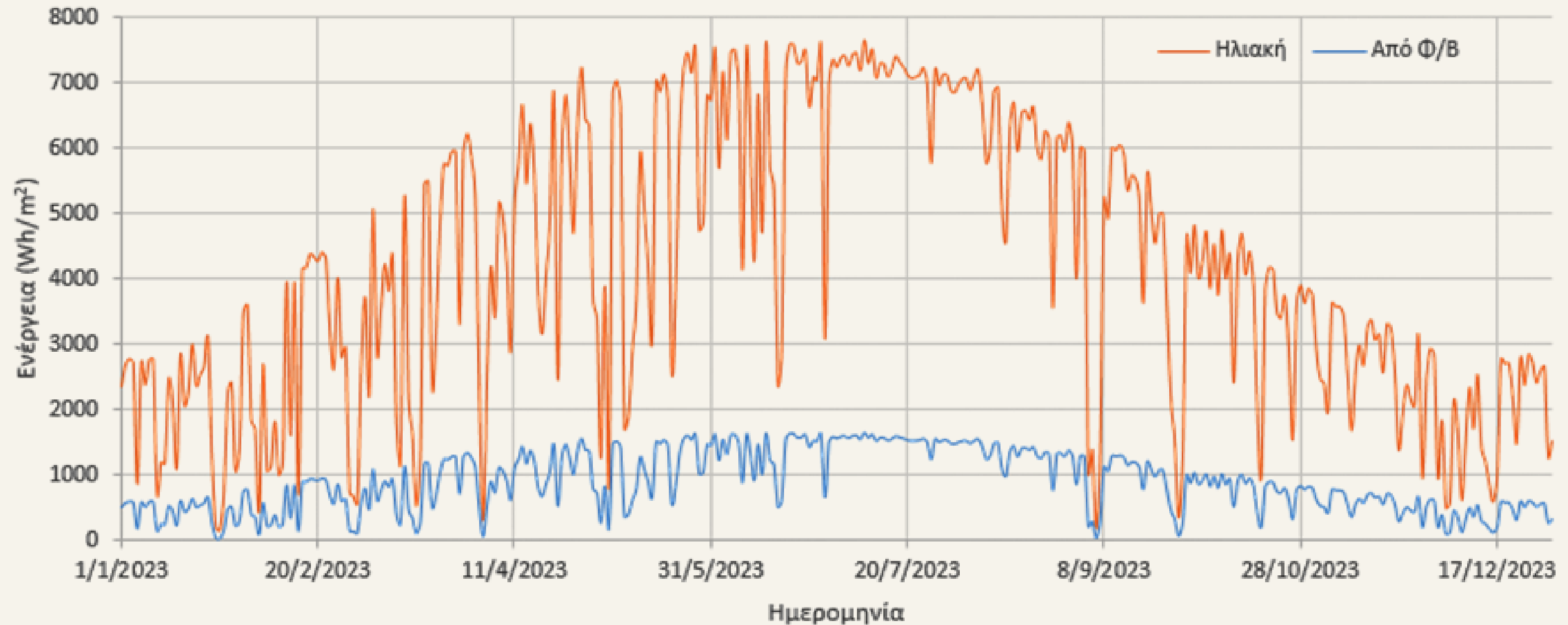


ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

9

Υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας ανά τ.μ. Φ/Β



Απόδοση **333 kWh/m²** για το 2023

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ

10



Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου στον κάμπο:

Σύμφωνα με τις μετρήσεις, προκύπτει ετήσια παραγωγή **333 kWh** ανά τετραγωνικό μέτρο συνολικής εγκατάστασης Φ/Β.

Για εγκατάσταση **20 εκταρίων** – συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου **20 MW** - μπορεί να προκύψει συνολική παραγωγή **33,3 GWh** ηλεκτρικής ενέργειας εντός ενός έτους.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

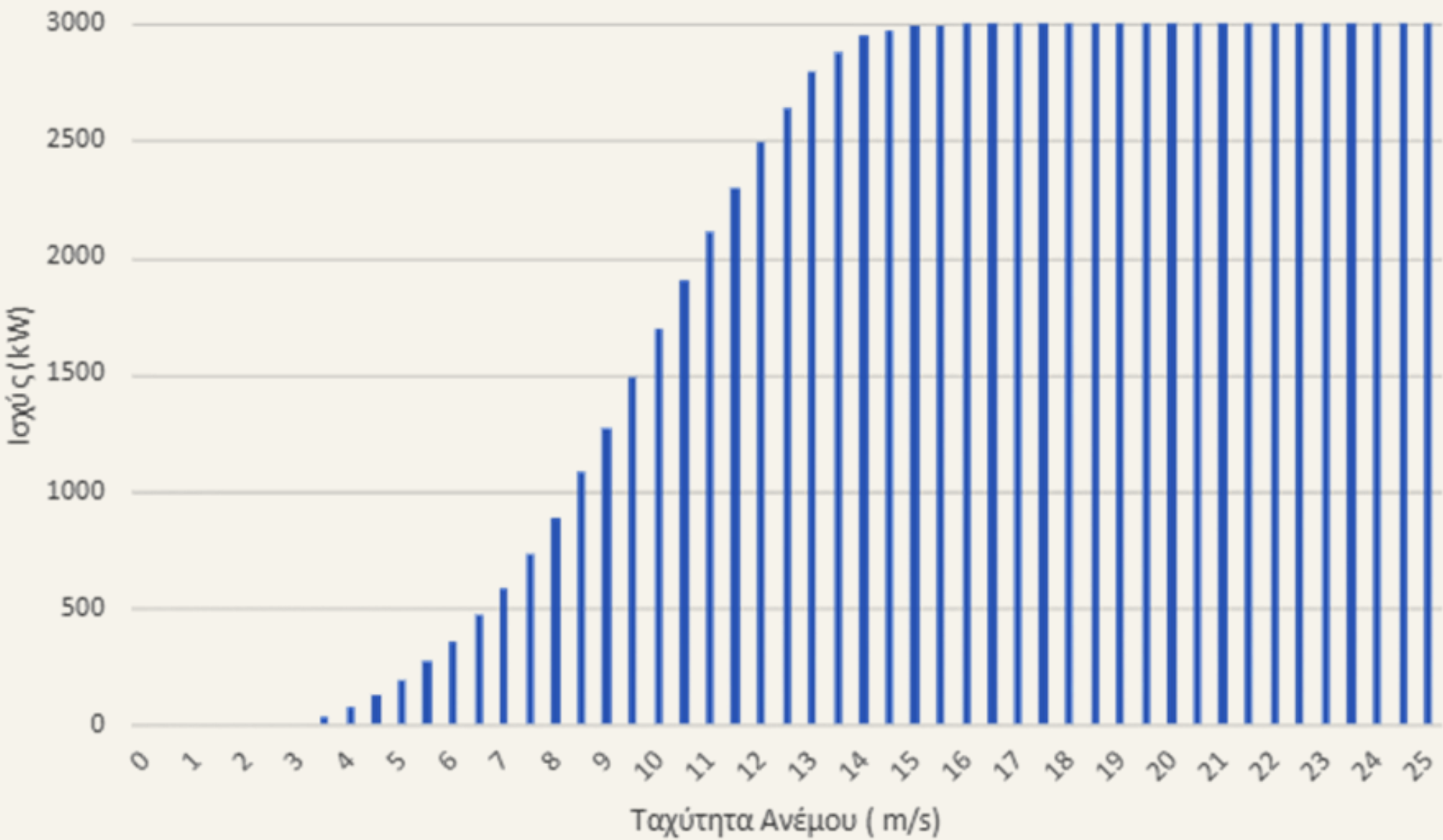
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ VESTAS 90/3000

11

Τεχνικά χαρακτηριστικά Α/Γ

Ονομαστική Ισχύς, P (MW)	3
Διάμετρος Ρότορα, D (m)	90
Αριθμός πτερυγίων	3
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut-in speed) (m/s)	3,5
Ονομαστική Ταχύτητα (m/s)	17
Ταχύτητα παύσης λειτουργίας (cut-out speed) (m/s)	25
Μέγιστο ύψος πλήμνης, H (m)	105

Καμπύλη Ισχύος Α/Γ



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

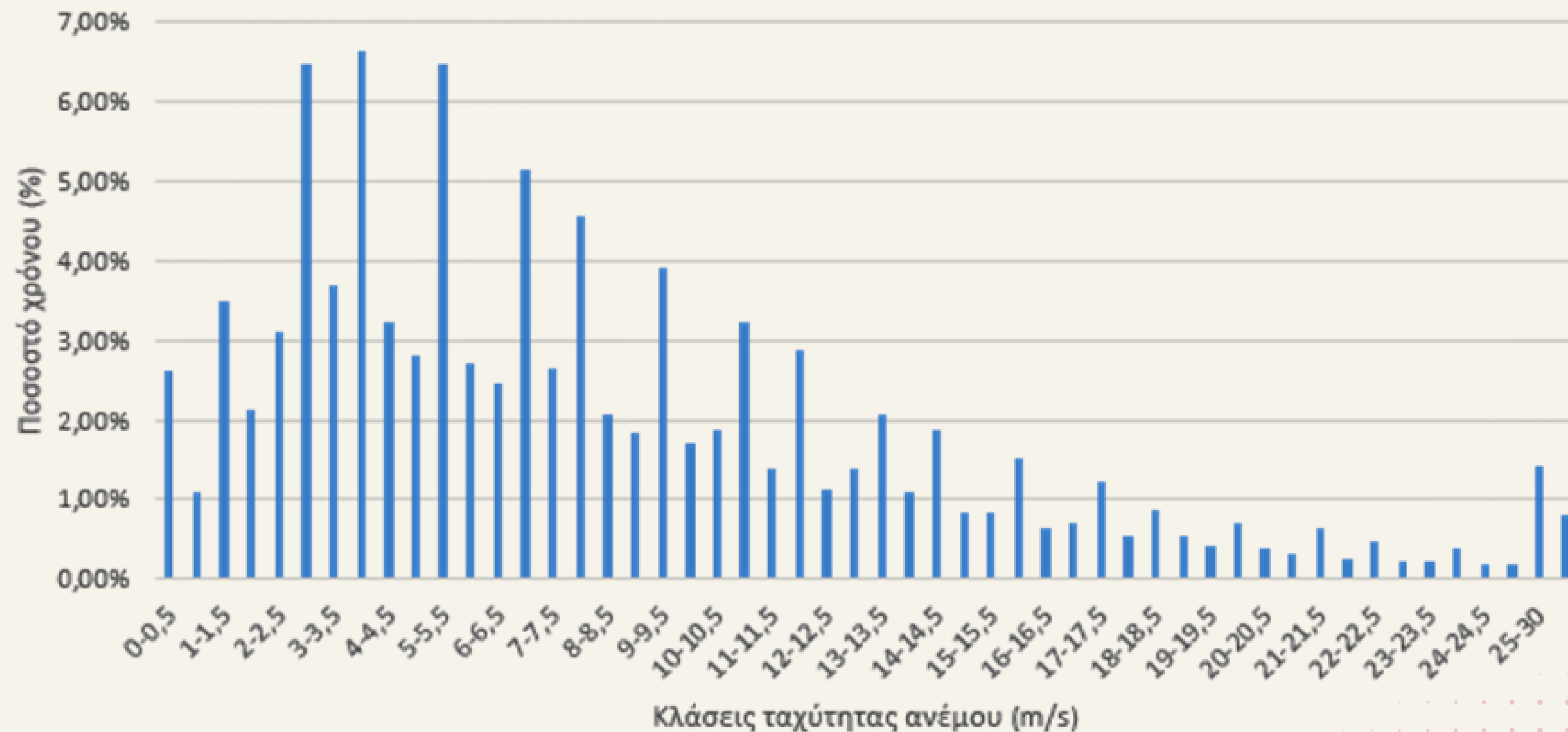
ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (1)

12

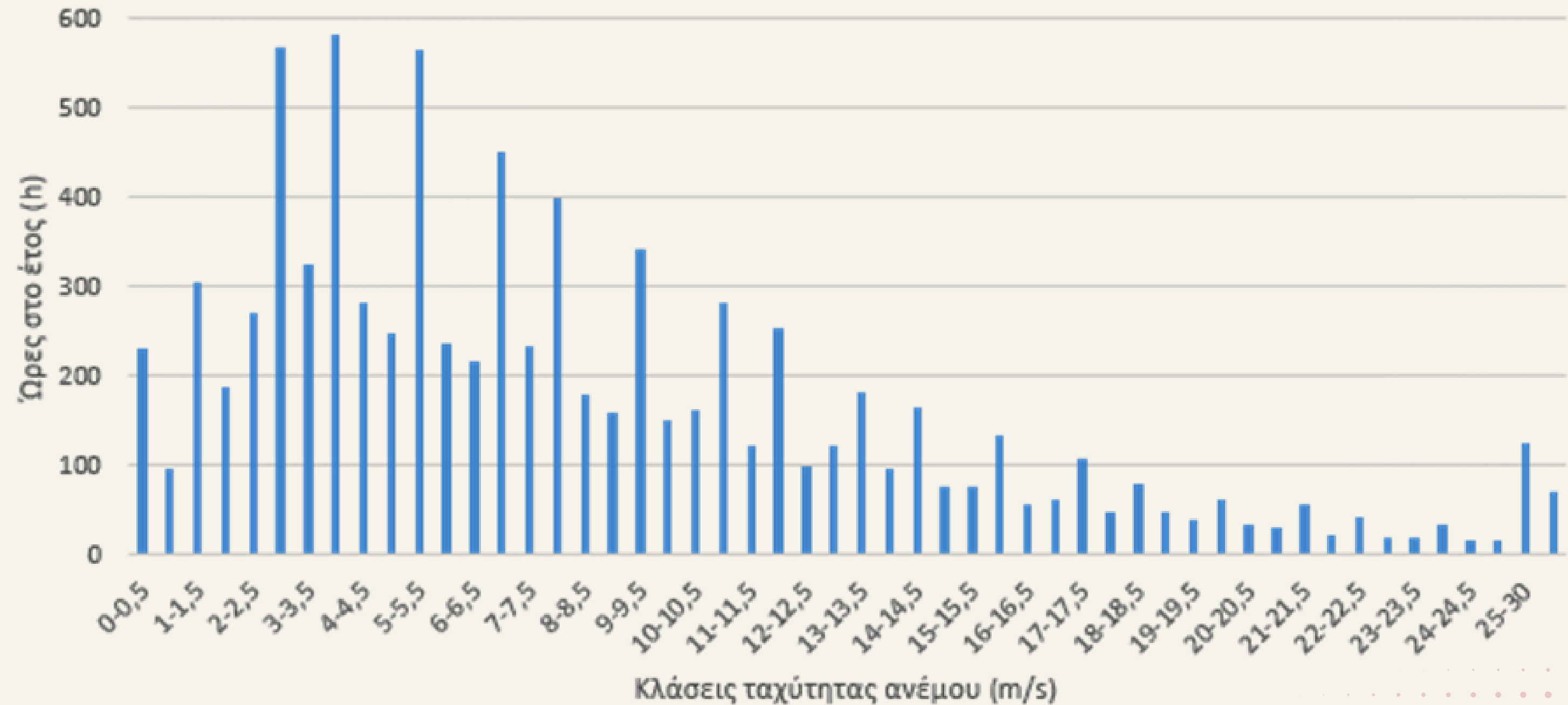
Αναγωγή των ταχυτήτων στο ύψος της Α/Γ: $u_2 = u_1 \cdot \ln(z_2/z_0) / \ln(z_1/z_0)$

Ομαδοποίηση των δεδομένων σε κλάσεις της ταχύτητας του ανέμου

Ποσοστό του χρόνου που εμφανίζεται η κάθε ταχύτητα



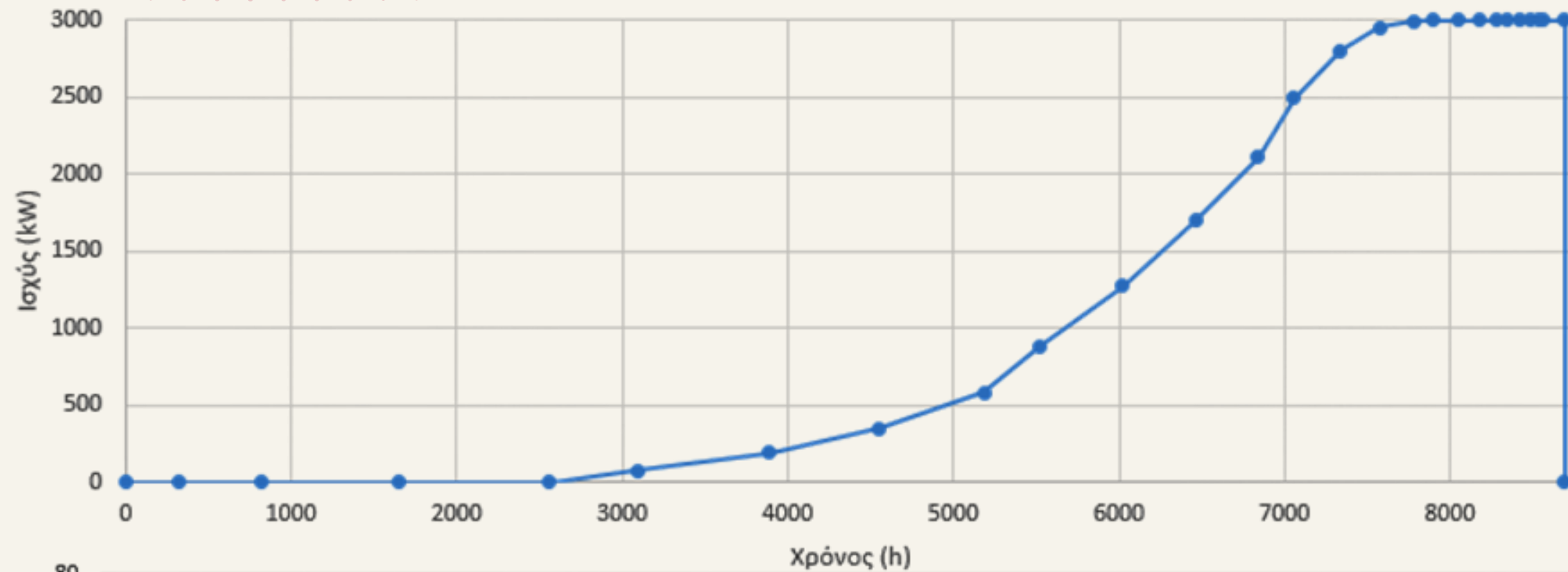
Αναγωγή των ποσοστών σε ώρες στο έτος



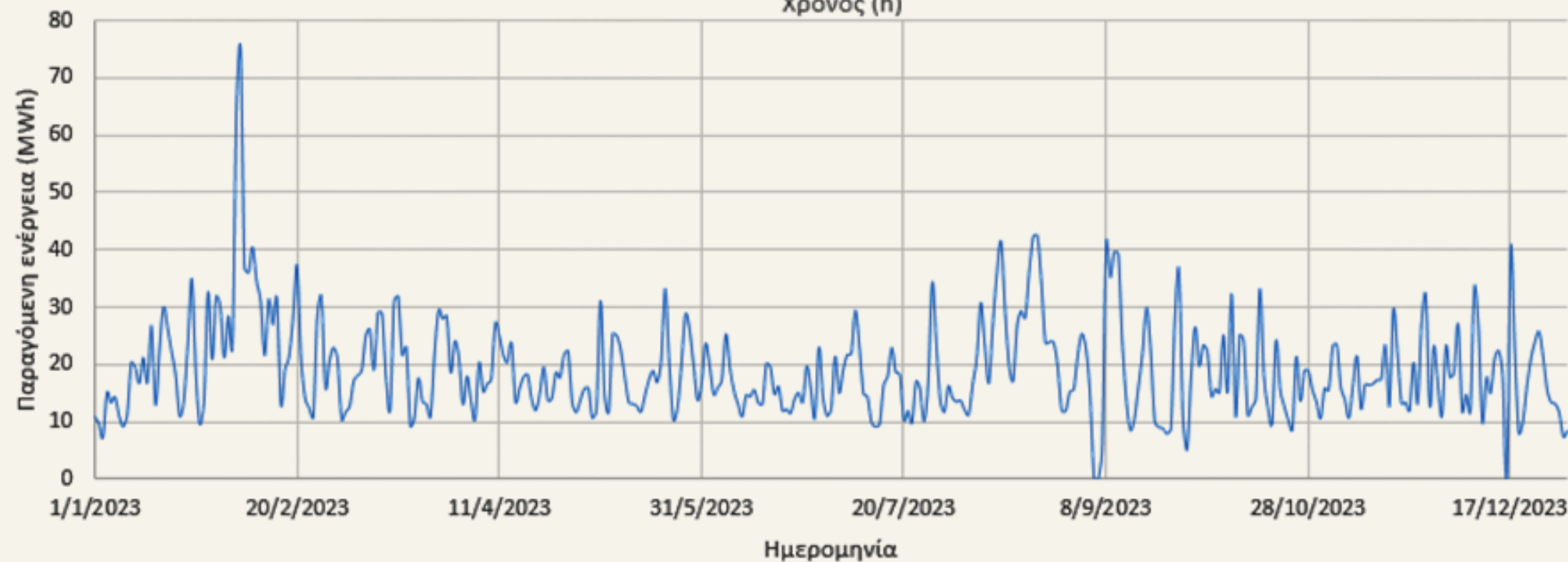
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ Α/Γ

14



Από το εμβαδόν του διαγράμματος Ισχύς-Χρόνος υπολογίζεται η συνολική ετήσια παραγόμενη ενέργεια, ίση με **8.670,4 MWh**



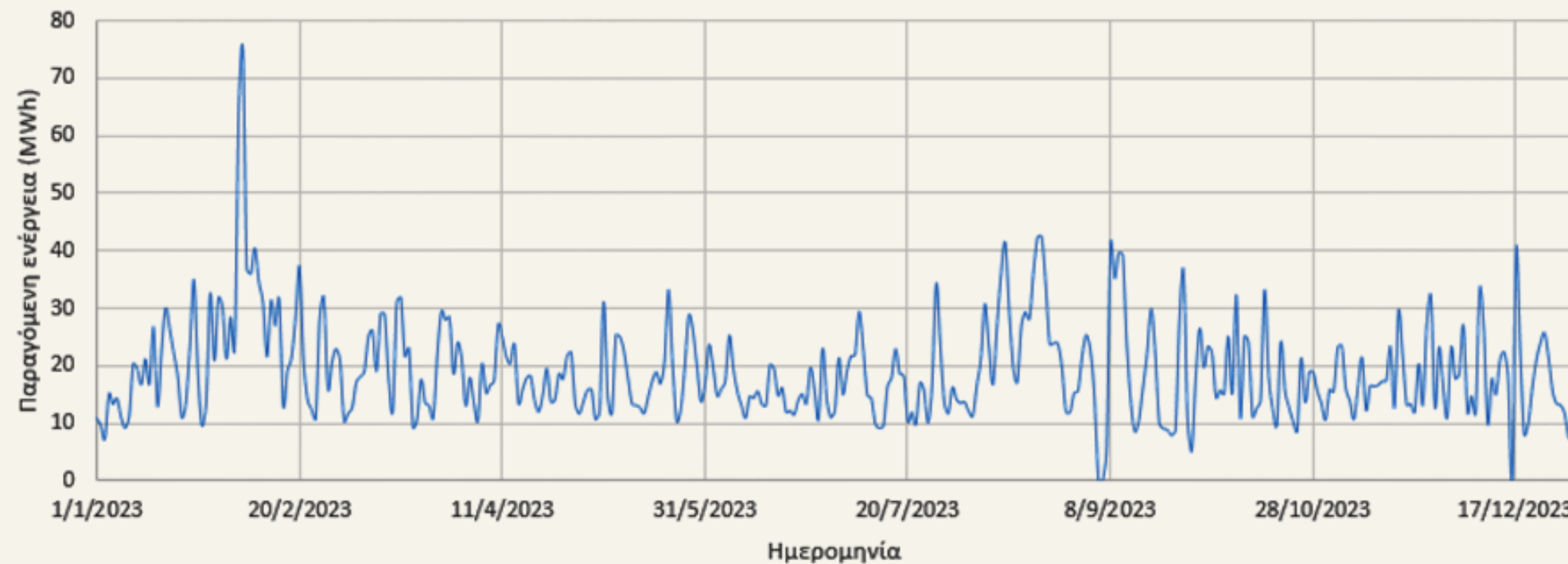
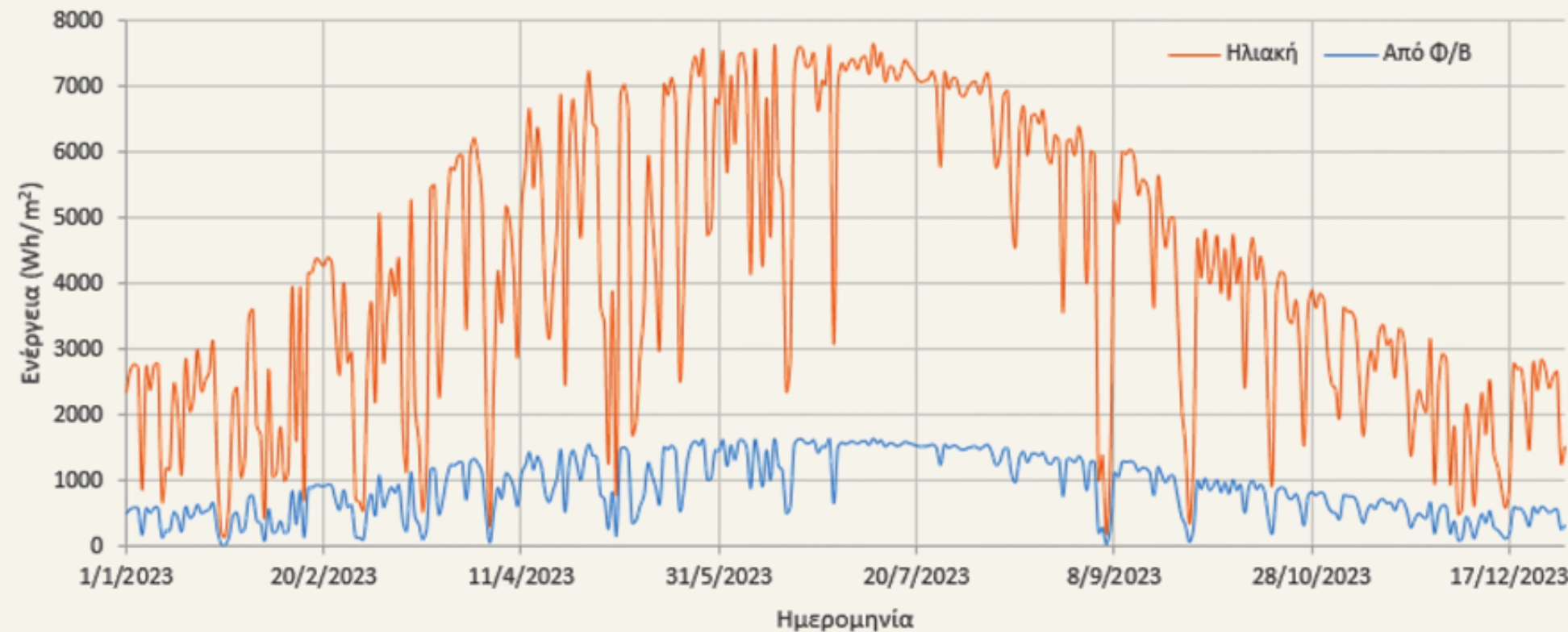
Διάγραμμα παραγόμενης ενέργειας Α/Γ για κάθε ημέρα του 2023



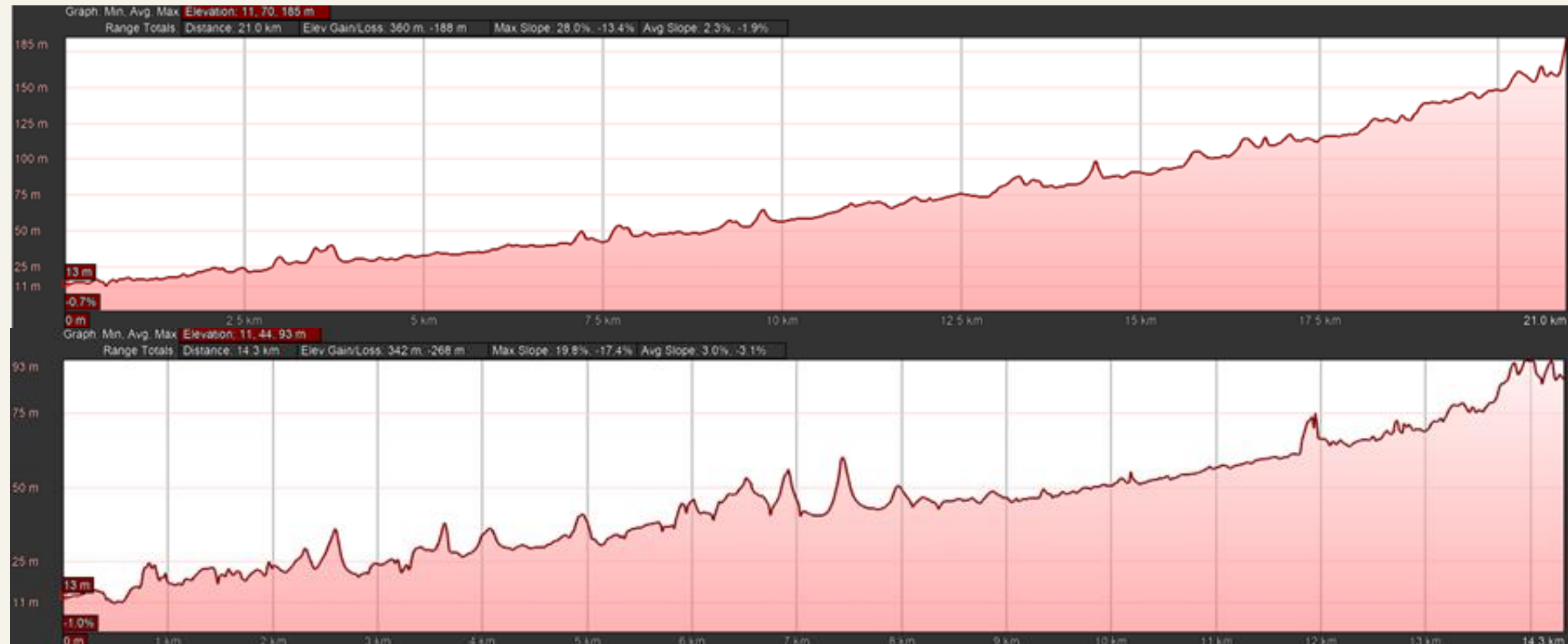
Εγκατάσταση αιολικού πάρκου στο δήμο:

Η Α/Γ που επιλέχθηκε μπορεί να παράγει **8.670,4 MWh/έτος**, όπως υπολογίστηκε για τα δεδομένα του ανέμου του έτους 2023.

Ένα αιολικό πάρκο αποτελούμενο από πέντε (5) τέτοιες ανεμογεννήτριες, μπορεί θεωρητικά να παράξει συνολικά **43,4 GWh** εντός ενός έτους.



- Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β και Α/Γ είναι **διαλείπουσα**.
- Η φυσική αστάθεια της ηλιοφάνειας και του ανέμου κάνει την παραγόμενη ενέργεια να είναι έντονα μεταβλητή και δύσκολα προβλέψιμη.
- Έργα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας θα μπορούσαν να καταστήσουν το σύστημα πολύ πιο σταθερό.



- Νηλέας (πάνω) & Κηρέας (κάτω) - Μέση παροχή $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, χωρίς σημαντικές πτώσεις.
- Τελευταία 10 km κλίση 1% και 0,5% αντίστοιχα - βάθος κοιτών 3-4 m
- Εφαρμογή μικρών Υδροηλεκτρικών μονάδων για την παραγωγή ενέργειας:
 - Θυροφράγματα ύψους 2 μέτρων - δημιουργία ύψους πτώσης
 - Εγκατάσταση τουρμπίνας δυναμικότητας 15 kW
 - $P = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \cdot \eta = 22.072 \text{ W}$
 - $E_{\text{year}} = P \cdot T = 193.350 \text{ kWh}$

10 σε κάθε ποταμό = 3,9 GWh/έτος



- Δάσος **48.510,5 ha** - Έπειτα από την πυρκαγιά του 2021 **13.583 ha** (28%)
- **70 τόνοι ξύλο/ha** → συνολικά **950.000 τόνοι**
- Ειδικό μηχάνημα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ξυλεία, αποδίδει 1 kWh για κάθε κιλό στεγνού ξύλου
- Με τη διάθεση **7.000 τόνων ξύλου** σε ένα έτος για το σκοπό αυτό, μπορούν να παραχθούν **7 GWh/έτος**



Ελαιοκράμβη:

- Το χειμώνα αρκείται στη βροχόπτωση για πότισμα, ενώ το καλοκαίρι απαιτεί ελάχιστη άρδευση.
- Απόδοση:
 - Χωρίς άρδευση 120-250 kg/στρέμμα
 - Με άρδευση έως και 400 kg/στρέμμα

Ηλιοτρόπια:

- Ευδοκιμούν σε ζεστό και ξηρό κλίμα και απαιτούν αραιό πότισμα
- Απόδοση:
 - Άγωνα χωράφια 100-250 kg/στρέμμα
 - Γόνιμα χωράφια 300-500 kg/στρέμμα

Και οι δύο καλλιέργειες αποδίδουν περίπου **60-115 λίτρα** βιοντίζελ/στρέμμα = **600-1.150 λίτρα/ha**

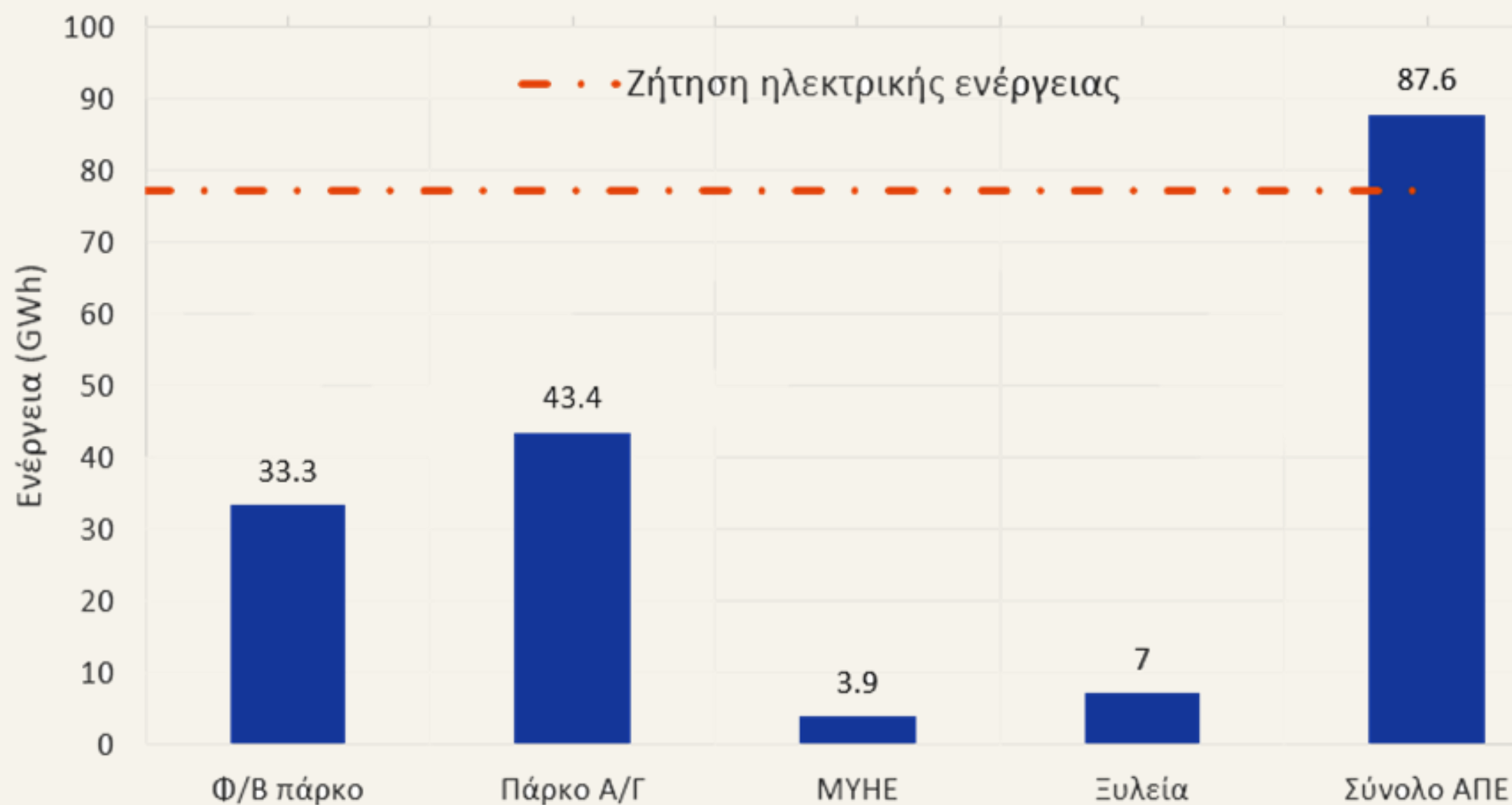
Για καλλιέργεια 500 ha στο καθένα, η περιοχή μπορεί να παράγει έως και **1.150.000 λίτρα**

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

20

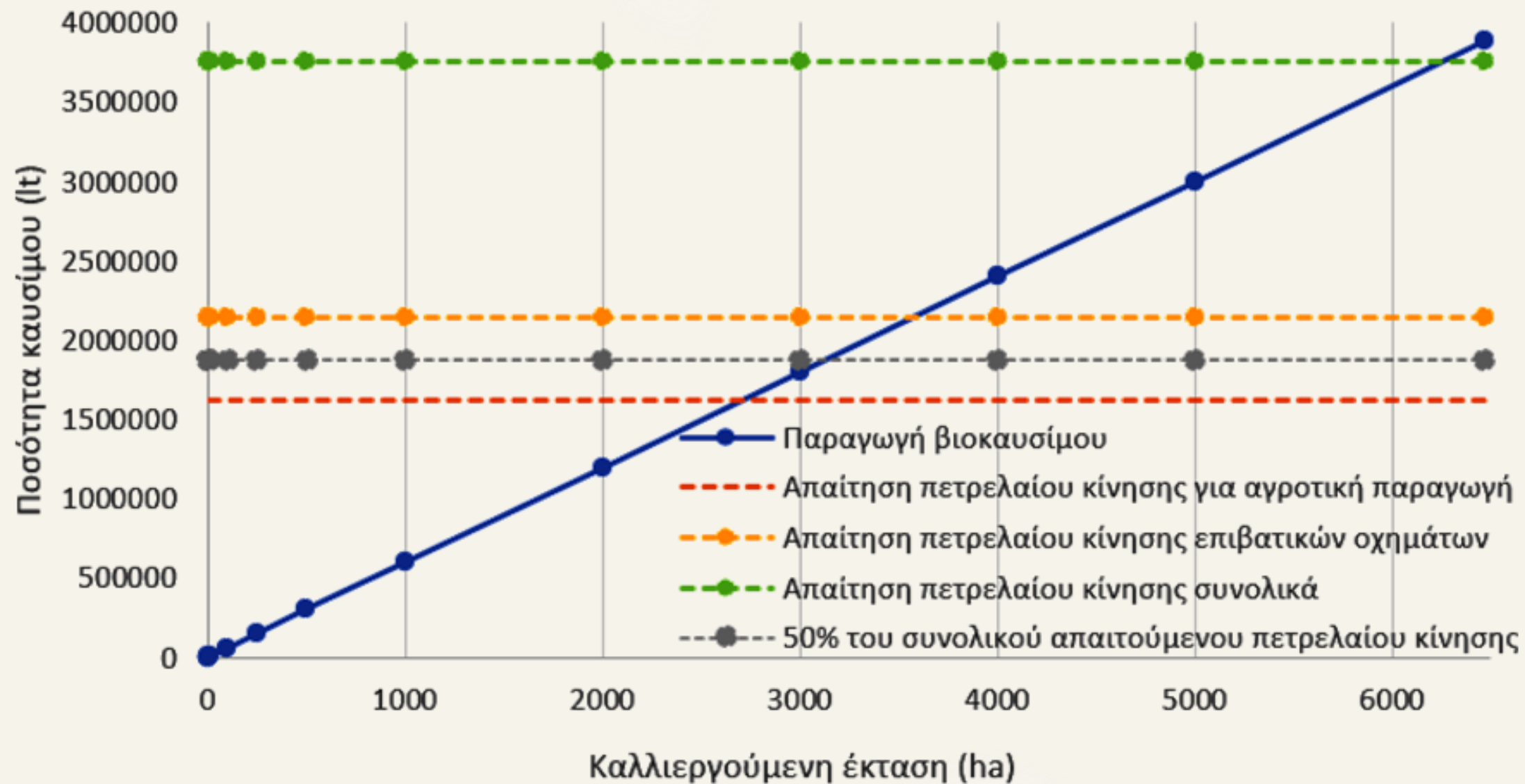
Με την εγκατάσταση των λύσεων ΑΠΕ που εξετάστηκαν, η συνολική ετήσια απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καλυφθεί **ex oloκλήρου** – Πάντα με έργα αποθήκευσης ενέργειας.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

21



-Αρκετά μικρή παραγωγή βιοκαυσίμου - απαίτηση κάλυψης των καλλιεργούμενης έκτασης

-1.000 εκτάρια ενεργειακών καλλιεργειών - κάλυψη έως και το **31%** της απαίτησης πετρελαίου κίνησης.

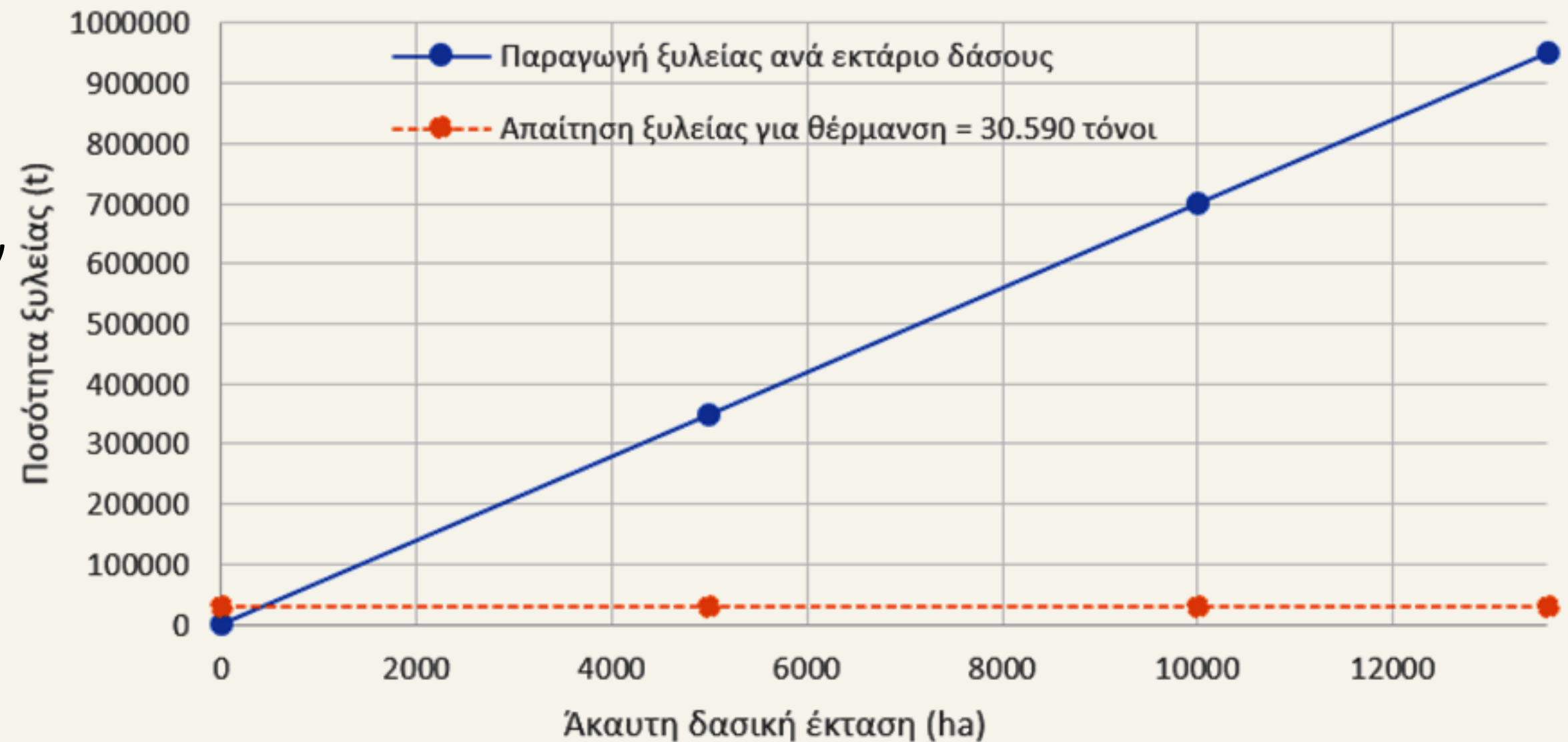
-Αντικατάσταση του 50% των οχημάτων του δήμου από ηλεκτροκίνητα - κάλυψη του **61%** της συνολικής απαίτησης πετρελαίου κίνησης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

22

Η απαίτηση για θέρμανση στο δήμο μπορεί να καλυφθεί από την ξυλεία του δάσους - τζάκια και ξυλόσομπες - με την υλοτόμηση **437** εκταρίων δάσους = 30.590 t



Η περιοχή διαθέτει πολύτιμα φυσικά χαρακτηριστικά ώστε να μπορέσει να καλύψει ένα ικανοποιητικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών της

- Τα επιφανειακά νερά μπορούν να αξιοποιηθούν για να καλύψουν μαζί με την άντληση του υπόγειου υδροφορέα (ενεργοβόρα διαδικασία) τις ανάγκες νερού αλλά και για παραγωγή ενέργειας
- Εξ ολοκλήρου κάλυψη της απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού και αιολικού πάρκου, μικρών Υδροηλεκτρικών έργων και την εκμετάλλευση της ξυλείας του δάσους
 - Φ/Β πάρκο (20 ha): **43%**
 - Αιολικό πάρκο (5 Α/Γ): **56%**
 - ΜΥΗΕ: **5%**
 - Ξυλεία δάσους: **9%**
- Σχετικά μικρή δυναμική παραγωγής βιοκαυσίμων μέσω ενεργειακών καλλιεργειών - 1.000 ha συνολικά μπορούν να αποδώσουν κάλυψη:
 - 31%** πετρελαίου κίνησης
 - 61%** με αντικατάσταση οχημάτων
- Κάλυψη αναγκών θέρμανσης του δήμου μέσω της ξυλείας του δάσους (τζάκια και ξυλόσομπες) - απαίτηση υλοτόμησης 437 ha/έτος.

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

24

- **Τεχνολογίες ΑΠΕ:** Απαιτούνται εκτενείς και λεπτομερείς μελέτες
Κοινωνικός αντίκτυπος και συναίνεση τοπικού πληθυσμού
Υπολογισμός απαίτησης ενεργειακών πόρων για τη λειτουργία τους
Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων
Αποθήκευση ενέργειας
- **Υψηλό απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο και μεγάλη οικονομική επένδυση**
Ανάλυση κόστους-οφέλους για επιλογή βέλτιστου ενεργειακού μείγματος με μικρότερο κόστος
- **Φ/Β πάρκο και ενεργειακές καλλιέργειες** —————> ανταγωνισμός με την παραγωγή τροφίμων
Απαίτηση γης για την εγκατάσταση τους
Εκμετάλλευση γεωργικών υπολειμμάτων για την παραγωγή βιοκαυσίμων
- **Παραγωγή λιπασμάτων** —————> η μεγαλύτερη ενεργειακή απαίτηση της αγροτικής παραγωγής
Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης βιοαποβλήτων και κομποστοποίηση για παραγωγή βιολιπασμάτων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΣΑΣ!