

Χτίζοντας το ενεργειακό μέλλον της Ελλάδας

Υπεράκτια αιολική ενέργεια

Μελέτη αγοράς συστήματος

σε συνεργασία με την **exergia**
CLIMATE CHANGE CONSULTANTS



Οι προκλήσεις του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Τέσσερις προκλήσεις που πλαισιώνουν τον ρόλο της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας:

Υψηλές τιμές ενέργειας

Το (εισαγόμενο) φυσικό αέριο εξακολουθεί να καθορίζει την τιμή ηλεκτρισμού σε πολλές ώρες.

Έκθεση στις διεθνείς αγορές

Οι διεθνείς κλυδωνισμοί των τιμών του φυσικού αερίου, όπως αυτοί του 2022, μετακυλίνουν απευθείας στις εγχώριες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.

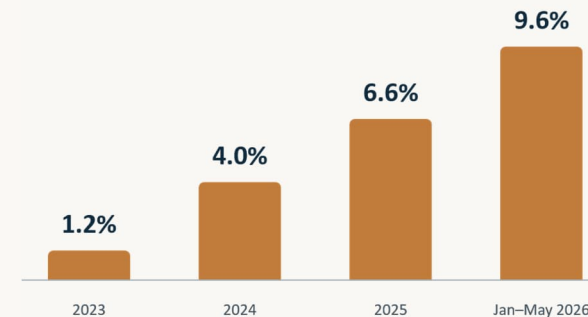
Μη ισορροπημένο σύστημα

Η νέα δυναμικότητα είναι κυρίως ηλιακή, παράγοντας τις ίδιες ώρες της ημέρας.

Περιορισμοί στην περαιτέρω ανάπτυξη υπαρχόντων τεχν. ΑΠΕ

Περιορισμένη χωρητικότητα δικτύου για νέες συνδέσεις και χαμηλότερη τιμή για κάθε επιπλέον MWh ηλιακής ενέργειας.

Οι περικοπές αυξάνονται γρήγορα



Μερίδιο της παραγωγής ΑΠΕ από ΦΒ και χερσαία αιολικά που περικόπηκε, 2023 – 1ο εξάμηνο 2026

Πώς μπορεί η υπεράκτια αιολική ενέργεια να βοηθήσει την αγορά να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις;

Πεδίο εφαρμογής της μελέτης και βασικές παραδοχές

Ανάλυση εναλλακτικών σεναρίων για τη μελέτη των οφελών της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας για το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το 2035.

Συνολική προσέγγιση

Αξιολόγηση και σύγκριση δύο Εναλλακτικών Σεναρίων ανάπτυξης του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας το 2035 με το μοντέλο PyPSA:

- **Με υπεράκτια αιολική ενέργεια:** ανάπτυξη ΕΣΕΚ, συμπεριλαμβανομένων 3.9 GW υπεράκτιας αιολικής ενέργειας.
- **Χωρίς υπεράκτια αιολική ενέργεια:** η ίδια ετήσια ανανεώσιμη ενέργεια από περισσότερη ηλιακή και χερσαία αιολική ενέργεια, όπως Alt. A (66.7% ηλιακή, 33.3% χερσαία αιολική) και η Alt. B (90% ηλιακή, 10% χερσαία αιολική).

Ανάλυση Ευαισθησίας σε μια κρίση τιμών τύπου 2022, 15% υψηλότερη ζήτηση, υψηλότερη ή χαμηλότερη υπεράκτια αιολική ενέργεια και περισσότερες μπαταρίες.

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Υποθέσεις: σε όλα τα σενάρια — με βάση το ΕΣΕΚ.

Ένα αντιπροσωπευτικό έτος: 2035, ωριαία λειτουργία, ένα κλιματικό έτος.

Απλοποιημένη απεικόνιση δικτύου και διασυνδεδεμένων αγορών: δίκτυο 400 kV χωρίς N-1· γειτονικά συστήματα που αντιπροσωπεύονται από ιστορικές καμπύλες τιμών.

Λειτουργικά έξοδα: κόστη καυσίμων, CO₂ και καθαρών εισαγωγών· δεν περιλαμβάνονται οι επενδυτικές δαπάνες.

Τιμές: Μοντελοποίηση οριακού κόστους, όχι προβλέψεις τιμών αγοράς.

Τα αποτελέσματα συγκρίνουν σενάρια. Δεν είναι προβλέψεις τιμών, κόστους ή πληρωμών.

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια σε συνδυασμό με την αποθήκευση ενισχύει τα οφέλη για το κλίμα

Η συμπερίληψη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα στηρίζει i) **μειωμένες περικοπές ΑΠΕ**, ii) **μειωμένες απαιτήσεις παραγωγής με καύση αερίου** και iii) **μειωμένες εκπομπές CO₂** σε σύγκριση με άλλα σενάρια μείγματος ΑΠΕ που εξετάστηκαν.

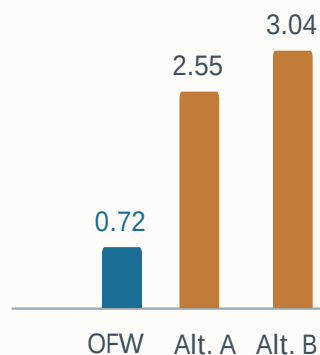
■ Με υπεράκτια αιολική ενέργεια (OFW)
(2035 ΕΣΕΚ, 3.9 GW)

■ Alt. A / Alt. B: ίδια ενέργεια από επιπλέον ηλιακή + χερσαία, χωρίς υπεράκτια αιολική ενέργεια (Alt A: 67/33, Alt B: 90/10)

Περικοπές ΑΠΕ

3.5–4.0× λιγότερες TWh

έτος 2035



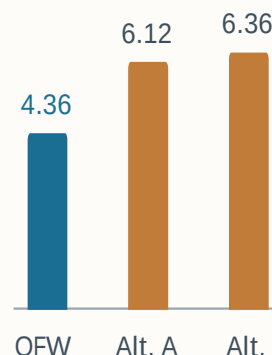
3× Μπαταρίες (δηλ. επιπλέον ~14 GW) για την εξισορρόπηση της περικοπής



Παραγωγή με Φ.Α., TWh

-29 to -31%

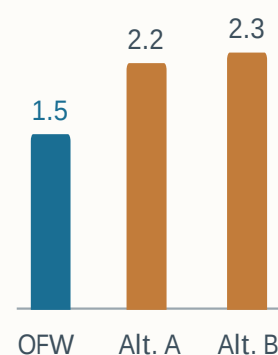
έτος 2035



Εκπομπές CO₂, Mt

-0.65 to -0.75 Mt

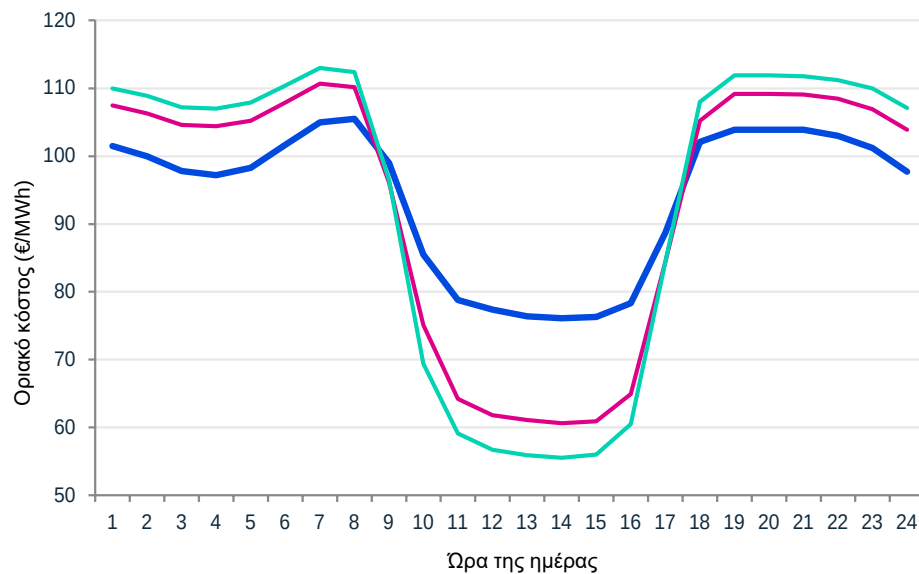
έτος 2035



Τα υπεράκτια αιολικά ενισχύουν τη θέση των ΑΠΕ στην αγορά

Παράγοντας ενέργεια εκτός της μεσημεριανής ηλιακής αιχμής, η υπεράκτια αιολική ενέργεια αυξάνει την αξία κάθε MWh ηλιακής και χερσαίας αιολικής παραγωγής, ενώ μειώνει τις περικοπές ΑΠΕ και τις ώρες μηδενικής τιμής.

Μέσο ωριαίο οριακό κόστος, 2035 (€/MWh)



— Με OFW — Alt. A (PV + χερσαία) — Alt. B (κυρίως PV)

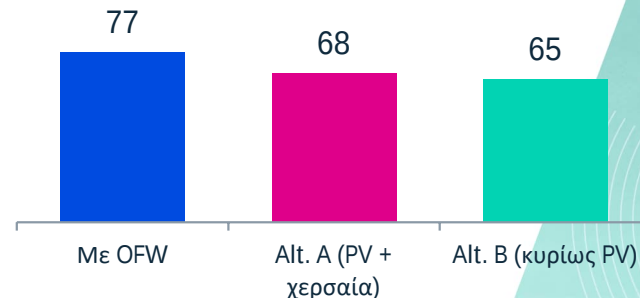
Στόχοι ΕΣΕΚ: 18.5 GW ηλιακή ενέργεια και 9.5 GW χερσαία αιολική, παρούσα σε όλα τα σενάρια.

Alt. A : +6.8 GW ηλιακή ενέργεια και +2.2 GW χερσαία αιολική.

Alt. B: +9.2 GW ηλιακή ενέργεια και +0.6 GW χερσαία αιολική.

Αξία ηλιακής και χερσαίας παραγωγής, 2035 (€/MWh)

Μέση τιμή ανά MWh παραγωγής: η παραγωγή κάθε ώρας αποτιμάται στο οριακό κόστος της συγκεκριμένης ώρας



+14%

αγοράιας αξίας κάθε MWh ηλιακής και χερσαίας αιολικής ενέργειας (77 έναντι 68 €/MWh)

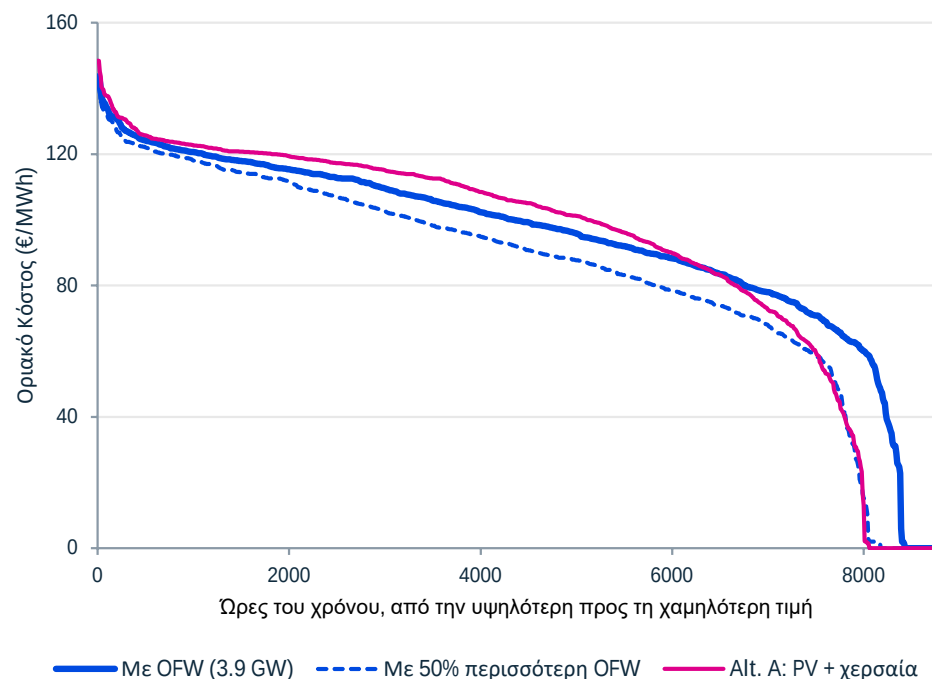
~€0.5 δις

ανά έτος περισσότερα έσοδα από την αγορά για την εγκατεστημένη ηλιακή και χερσαία αιολική ενέργεια του ΕΣΕΚ

Το κόστος του συστήματος γίνεται λιγότερο ευμετάβλητο

Το συνολικό κόστος λειτουργίας του συστήματος μειώνεται περίπου στο μισό και οι τιμές έχουν λιγότερες ακραίες τιμές κατά τη διάρκεια του έτους.

Καμπύλη διάρκειας τιμής, 2035



~ 1/2

συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας του συστήματος: €0.32 δισ. με την OFW, έναντι €0.66 δισ. στο Alt. A και €0.74 δισ. στο Alt. B

~ 1/2

ώρες μηδενικής τιμής (323 έναντι 704), όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν κερδίζουν τίποτα στην αγορά

~ €94

μέσο οριακό κόστος πρακτικά αμετάβλητο έναντι του Alt. A: μικρότερο πλήθος ακραίων τιμών

~ -20%

μεταβλητότητα τιμών (τυπική απόκλιση ωριαίων τιμών: 29 έναντι 36 €/MWh)

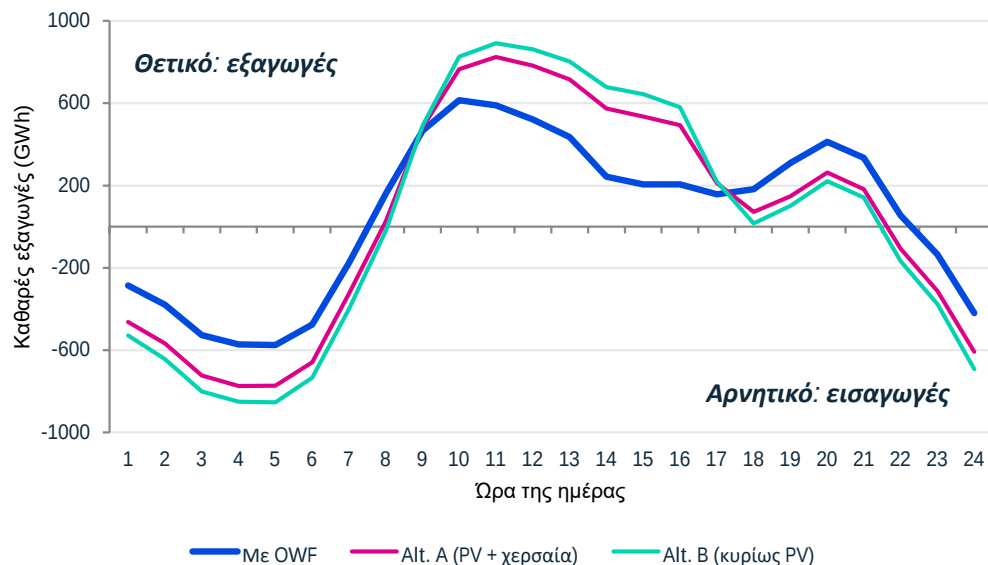
-€9/MWh

μέσο οριακό κόστος με 50% περισσότερη υπεράκτια αιολική ενέργεια (94 → 85 €/MWh)

Περισσότερες εξαγωγές, λιγότερες εισαγωγές, μειωμένη υπερφόρτωση του δικτύου

Με τις διασυνδέσεις, η υπεράκτια αιολική ενέργεια ενισχύει το εμπόριο και διευκολύνει τις κύριες γραμμές μεταφοράς.

Καθαρές εξαγωγές ανά ώρα ημέρας, 2035



1.34 TWh

καθαρές εξαγωγές, έναντι 0.76 TWh στο Alt. A και 0.40 TWh στο Alt. B

~3x

υψηλότερο καθαρό εμπορικό ισοζύγιο (207 εκατ. ευρώ έναντι €72 εκατ. και €25 εκατ.)

-10% έως -13%

εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως το βράδυ και τη νύχτα

~1/4

λιγότερες ώρες με γραμμές 400 kV με μεγάλο φορτίο (πάνω από το 90% των ονομαστικών τους μεγεθών)

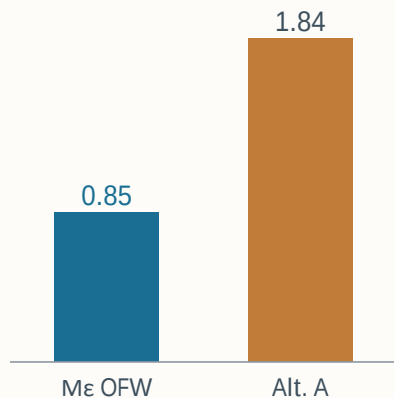
Οι διασυνδέσεις (κυρίως οι νέες) αποτελούν βασική προϋπόθεση για τις εξαγωγές. Οι τελικές επιπτώσεις στο δίκτυο εξαρτώνται από τη χωροθέτηση και τα σημεία σύνδεσης του ΑΔΜΗΕ.

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια μειώνει τον αντίκτυπο των κλυδωνισμών των τιμών και της ζήτησης

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια καθιστά το σύστημα πιο ανθεκτικό: μέσω ανάλυσης ευαισθησίας βρέθηκε να επηρεάζεται λιγότερο από κλυδωνισμούς τιμών και ζήτησης.

Κρίση τιμών αερίου και εισαγωγών παρόμοια με το 2022

Αύξηση του ετήσιου κόστους του συστήματος που προκαλείται από το σοκ, € bn



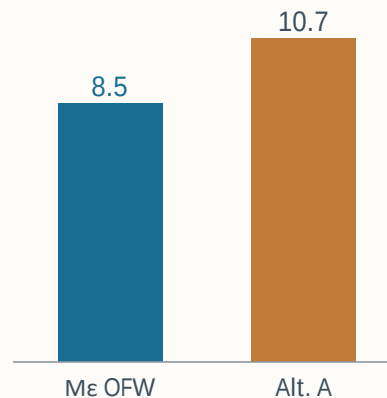
Μειωμένο >50%

το κόστος του συστήματος συγκριτικά με ανάπτυξη ΑΠΕ χωρίς υπεράκτια αιολική ενέργεια

~30% λιγότερη κατανάλωση Φ.Α. και αντίστοιχα χαμηλότεροι όγκοι εισαγωγών καυσίμου

Ζήτηση 15% υψηλότερη

Εξηλεκτρισμός, νέοι μεγάλοι καταναλωτές · παραγωγή με φυσικό αέριο, TWh



~20% λιγότερο Φ.Α.

~20% χαμηλότερο λειτουργικό κόστος

~1/5 των περικοπών ΑΠΕ

Και στις δυο περιπτώσεις, το σύστημα γίνεται καθαρά εισαγωγικό. Με OFW, χρειάζονται λιγότερες εισαγωγές.

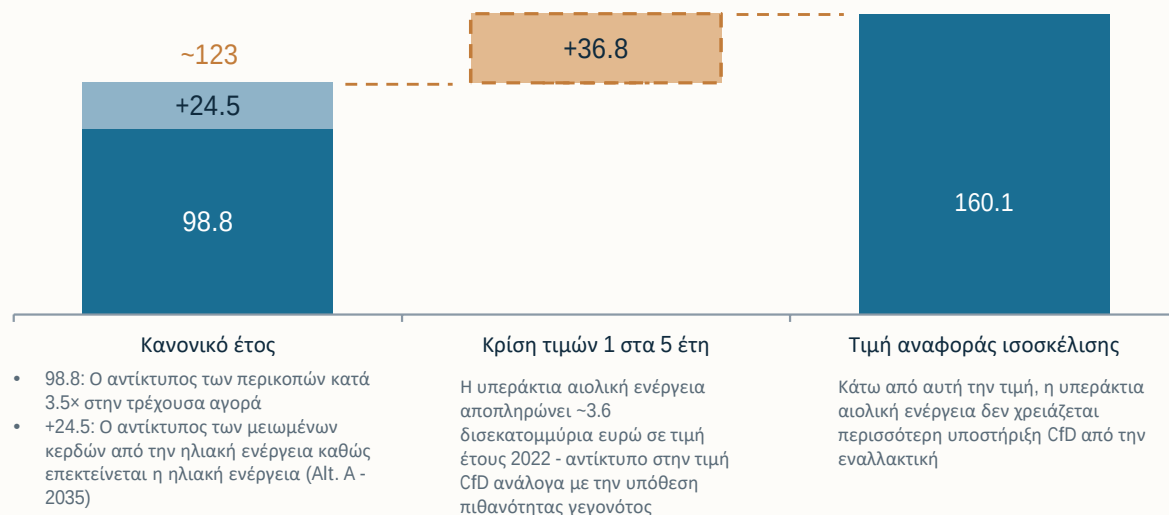
Alt. A: χωρίς υπεράκτια αιολική ενέργεια, ίδια ετήσια ενέργεια από 2/3 PV + 1/3 χερσαία αιολική. Το λειτουργικό κόστος δεν περιλαμβάνει επενδύσεις.

Σημαντικό περιθώριο στο κόστος ανάπτυξης υπεράκτιων αιολικών

Λαμβάνοντας υπόψη τις οριακές τιμές κατά τη στιγμή της παραγωγής, τις περικοπές και την ασφάλιση έναντι των κλυδωνισμών των τιμών, το κόστος ανάπτυξης της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας ισοσκελίζεται με τα φωτοβολταϊκά και την χερσαία εναλλακτική λύση σε τιμές 123-160 €/MWh.

Τιμή αναφοράς ισοσκέλισης υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, €/MWh

Τιμή υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην οποία και οι δύο εναλλακτικές (ΕΣΕΚ έναντι Alt. A) κοστίζουν το ίδιο σε στήριξη CfD



123 – 160

€/MWh: τιμή αναφοράς υπεράκτιας αιολικής ενέργειας έναντι εναλλακτικής λύσης με ηλιακά και χερσαία αιολικά

€0.34 δις

ετησίως χαμηλότερο λειτουργικό κόστος του συστήματος με την υπεράκτια αιολική ενέργεια (καύσιμα, CO₂, καθαρές εισαγωγές)¹

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια παραμένει ανταγωνιστική: Η εναλλακτική λύση χρειάζεται επίσης υποστήριξη CfD και περιορίζει 3.5× περισσότερη ενέργεια, τα ηλιακά κερδίζουν λιγότερα σε ένα σύστημα με πολλή μεγάλη διείσδυση και η υπεράκτια αιολική ενέργεια αποπληρώνει σε κρίσεις τιμών.

¹ Δεν συμψηφίζεται με το κόστος CfD.

Καθαρή ενέργεια όταν το ελληνικό σύστημα τη χρειάζεται περισσότερο

Σε σύγκριση με εναλλακτικά σενάρια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η υπεράκτια αιολική ενέργεια στο ελληνικό σύστημα του 2035 παρέχει:

3.5 – 4.0×

λιγότερη περικοπτόμενη ενέργεια από ΑΠΕ, που χωρίς υπεράκτια αιολική ενέργεια απαιτεί 3 φορές τον στόχο αποθήκευσης του ΕΣΕΚ για εξισορρόπηση

~30%

λιγότερη κατανάλωση φυσικού αερίου και εκπομπές CO₂ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής

~50%

χαμηλότερο ετήσιο κόστος λειτουργίας του συστήματος¹

> 50% μείωση

στο συνολικό κόστος συστήματος, συγκριτικά με ανάπτυξη χωρίς υπεράκτια αιολική ενέργεια, σε περίπτωση κρίσης τύπου 2022

2–3×

υψηλότερες καθαρές εξαγωγές, που λαμβάνουν χώρα σε ώρες υψηλότερης αξίας

+14%

υψηλότερη αγοραία αξία ηλιακής και χερσαίας αιολικής παραγωγής²

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια δρα συμπληρωματικά προς τον υπόλοιπο στόλο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την αποθήκευση.

¹Καύσιμα, CO₂ και εισαγωγές χωρίς τα έσοδα από εξαγωγές· δεν περιλαμβάνονται οι επενδυτικές δαπάνες.

²Μέσο σταθμισμένο οριακό κόστος παραγωγής ηλιακής και χερσαίας αιολικής ενέργειας, 77 έναντι 68 €/MWh.



Disclaimer

These materials, including any updates to them, are published by and remain subject to the copyright of the Hellenic Hydrocarbons and Energy Resources Management Company ("HEREMA S.A."), or its third-party licensors ("Licensors") as relevant, and are made available to clients of HEREMA under terms agreed between HEREMA and those clients.

The use of these materials is governed by the terms and conditions of the agreement under which they were provided. The content and conclusions contained are confidential and may not be disclosed to any other person without HEREMA's prior written permission.

HEREMA makes no warranty or representation about the accuracy or completeness of the information and data contained in these materials, which are provided 'as is'. The opinions expressed in these materials are those of HEREMA, and do not necessarily represent our licensors'/stakeholder position or views.

Nothing contained in them constitutes an offer to buy or to sell securities or investment advice. HEREMA's products do not provide a comprehensive analysis of the financial position or prospects of any company, entity or exploration block and nothing in any such product should be taken as comment regarding the value of the securities of any entity. If, notwithstanding the foregoing, you or any other person relies upon these materials in any way, HEREMA does not accept, and hereby disclaims to the extent permitted by law, all liability for any loss and damage suffered arising in connection with such reliance.

Copyright © 2026, HEREMA S.A.. All rights reserved. HEREMA is a state-owned company with the Hellenic State being the sole stakeholder (100%).



ΕΔΕΥΕΠ

Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία
Υδρογονανθράκων και Ενεργειακών Πόρων

Ευχαριστούμε!