



SENTINEL

SUSTAINABLE ENERGY TRANSITIONS



Διερευνητική μελέτη μίγματος ΑΠΕ και αποθήκευσης

Σεραφείμ Μίχας & Δρ. Αλέξανδρος Φλάμος
Διευθυντής Εργαστηρίου Τεχνοοικονομικής Ενεργειακών
Συστημάτων - Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς



Το Ελληνικό Σχέδιο

Από το 2019 και την έκδοση του 1^{ου} ΕΣΕΚ:

- Στόχος για **200% αύξηση*** ισχύος ΑΠΕ έως το 2030
- **61-64%** ΑΠΕ στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής
- Χρήση φυσικού αερίου ως **μεταβατικό καύσιμο**



Οι στόχοι είναι αυξημένοι στην πρόταση για το νέο ΕΣΕΚ:

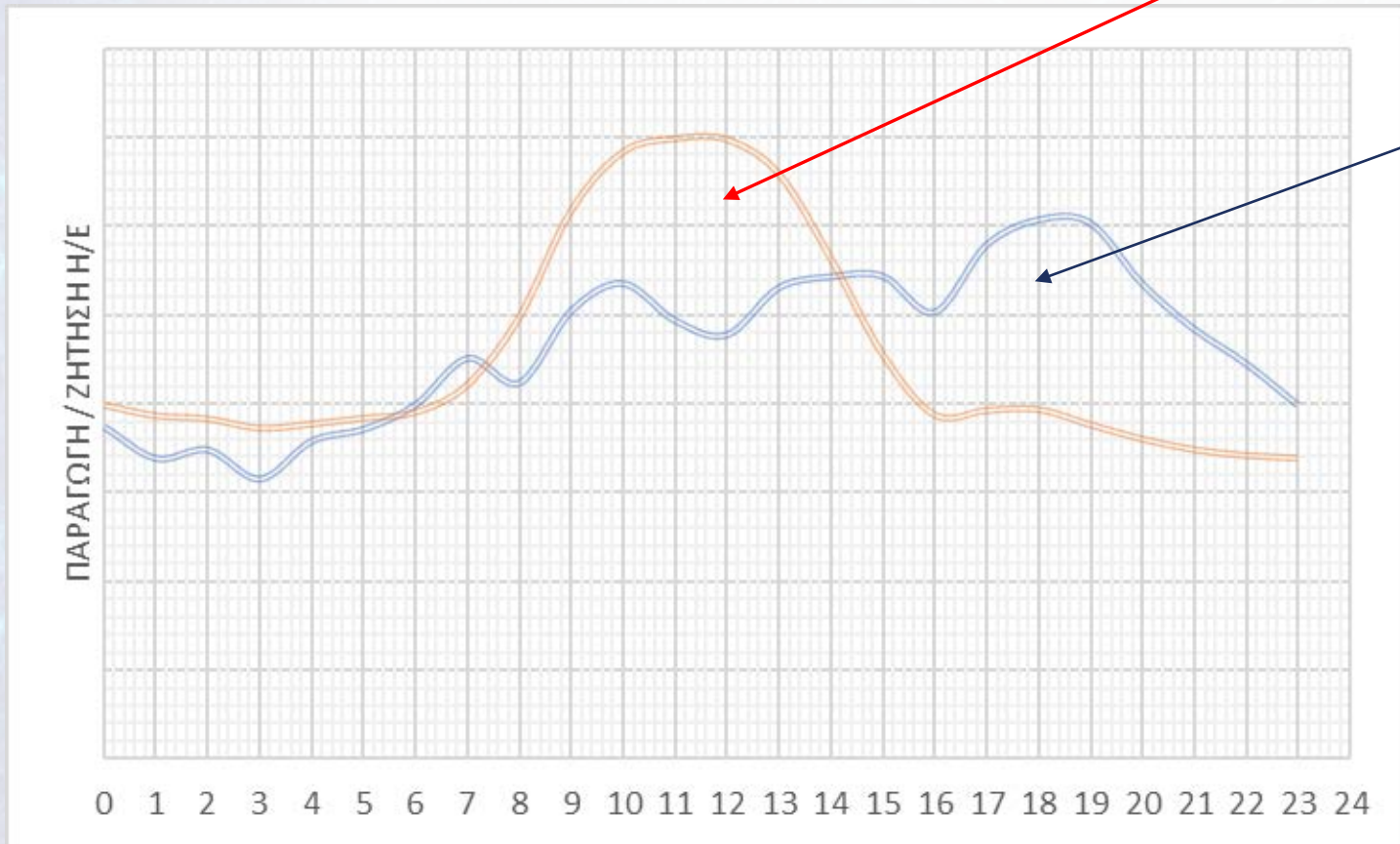
- Στόχος για **400% αύξηση*** ισχύος ΑΠΕ έως το 2030
- **80%** ΑΠΕ στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής
- **Ελαχιστοποίηση** χρήσης φυσικού αερίου



*Σε σχέση με το 2019: 4.8GW

Πρόκληση

Η **στοχαστικότητα** της παραγωγής ΑΠΕ:



Απώλεια **περίσσειας ενέργειας** που θα ήταν ωφέλιμη σε άλλες χρονικές περιόδους.



Λύση;

- Βέλτιστος **συνδυασμός** τεχνολογιών παραγωγής
- **Αποθήκευση** ενέργειας

Ερευνητικό ερώτημα

«...τα μερίδια εγκατεστημένης ισχύος των τεχνολογιών παραγωγής [...] πρέπει να θεωρηθούν ενδεικτικά και πιθανά αλλά όχι δεσμευτικά.» (ΕΣΕΚ, 2019)

Πως αλλάζουν οι ανάγκες αποθήκευσης (για ελαχιστοποίηση περικοπών ενέργειας), η διείσδυση ΑΠΕ και το κόστος διείσδυσης ΑΠΕ με διαφορετικές κατανομές της ισχύος ΑΠΕ σε αιολικά και φωτοβολταϊκά?



Μελέτη για το υφιστάμενο ΕΣΕΚ

Impact Factor: 7.6



Energy Policy
Volume 174, March 2023, 113455



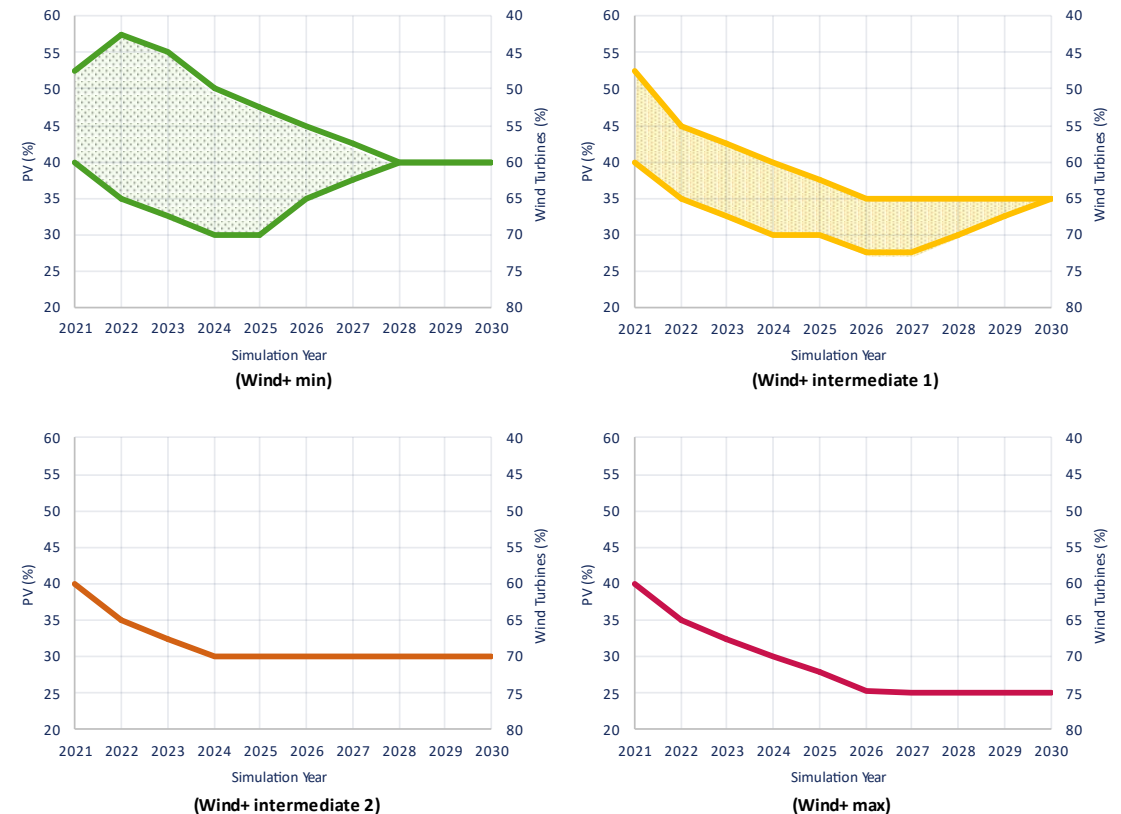
Are there preferable capacity combinations of renewables and storage? Exploratory quantifications along various technology deployment pathways

Serafeim Michas, Alexandros Flamos



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142152300040X?dgcid=coauthor>

Ετήσια ανάλυση **μίγματος ΑΠΕ και αποθήκευσης** για το διάστημα 2021-2030.



Σχεδιασμός σεναρίων



- ❖ Μπαταρίες τεχνολογίας Ιόντων Λιθίου (Li-Ion)
- ❖ 4-ωρα συστήματα
- ❖ Βαθμός απόδοσης 85%
- ❖ Βάθος εκφόρτισης 88%

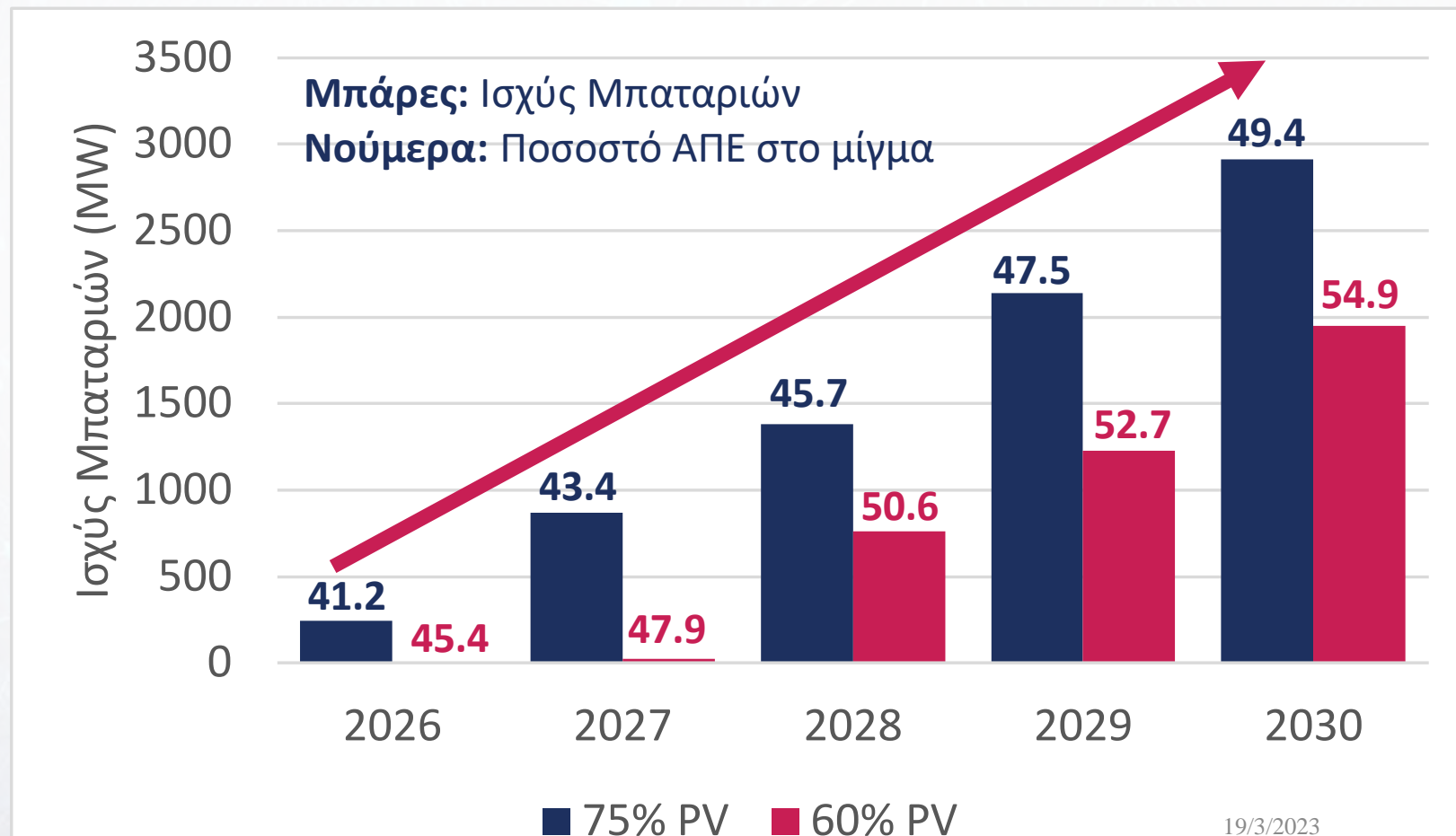
Μοντελοποίηση σεναρίων



- ❖ Προσομοιώνει την ωριαία λειτουργία συστημάτων αποθήκευσης
- ❖ Υπολογίζει την αποθηκευτική ικανότητα που ελαχιστοποιεί τις περικοπές/μεγιστοποιεί την διείσδυση ΑΠΕ
- ✓ Υποστηρίζει διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης
- ✓ Διαφοροποιεί μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη αποθήκευση
- ✓ Εφαρμόζεται από επίπεδο σπιτιού και ενεργειακή κοινότητα έως επίπεδο χώρας


Αποτελέσματα cluster PV+ (1/5)

Οι ανάγκες για αποθήκευση αυξάνονται κατά **275-325 MW (1,1-1,3 GWh)** για κάθε επιπλέον **1% ΑΠΕ** στο δίκτυο, ξεκινώντας από το **2026-2028**.

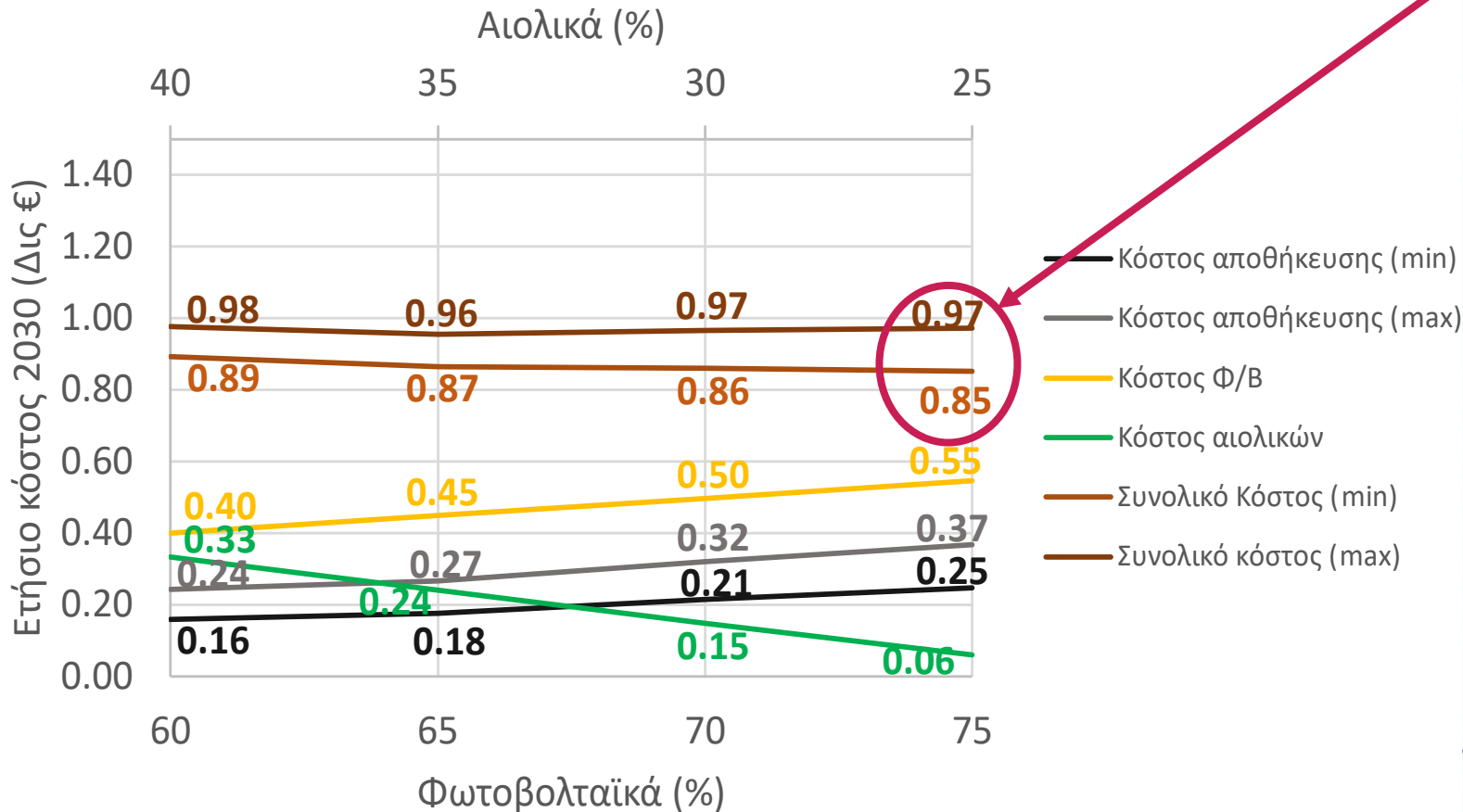


Αποτελέσματα cluster PV+ (2/5)

2030:  8,8-11,0 GW

 1,9-2,9 GW
7,6-11,7 GWh
(13-20% της ισχύος ΑΠΕ)

 3,7-5,9 GW



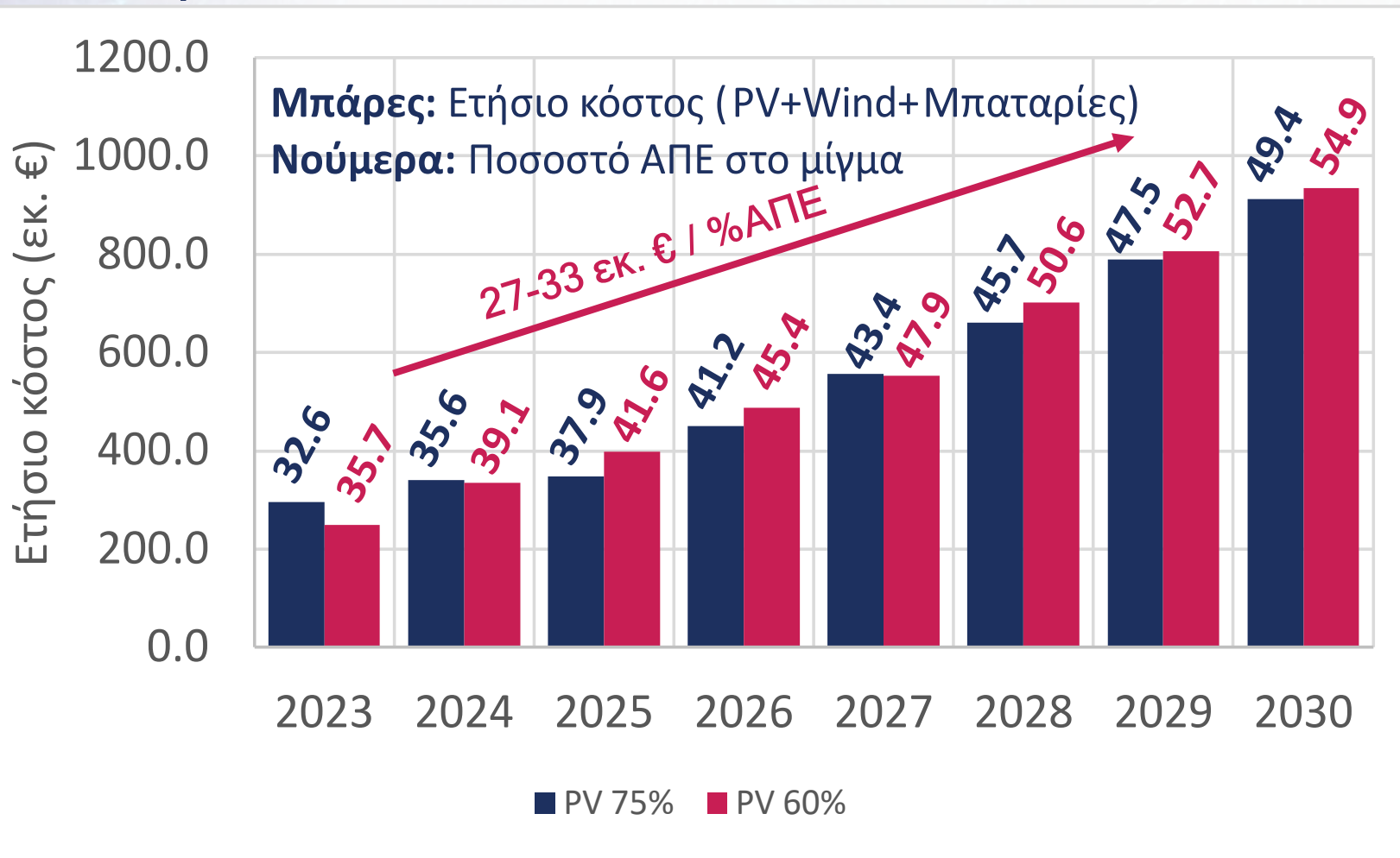
Με αυξανόμενα % PV στο μίγμα ΑΠΕ:

- Το ισοδύναμο ετήσιο κόστος μπαταριών αυξάνεται
- **Όμως:** Το συνολικό ετήσιο κόστος παραμένει σταθερό ή μειώνεται

Αντιστάθμιση κόστους αποθήκευσης από την ΜΗ εγκατάσταση ανεμογεννητριών.

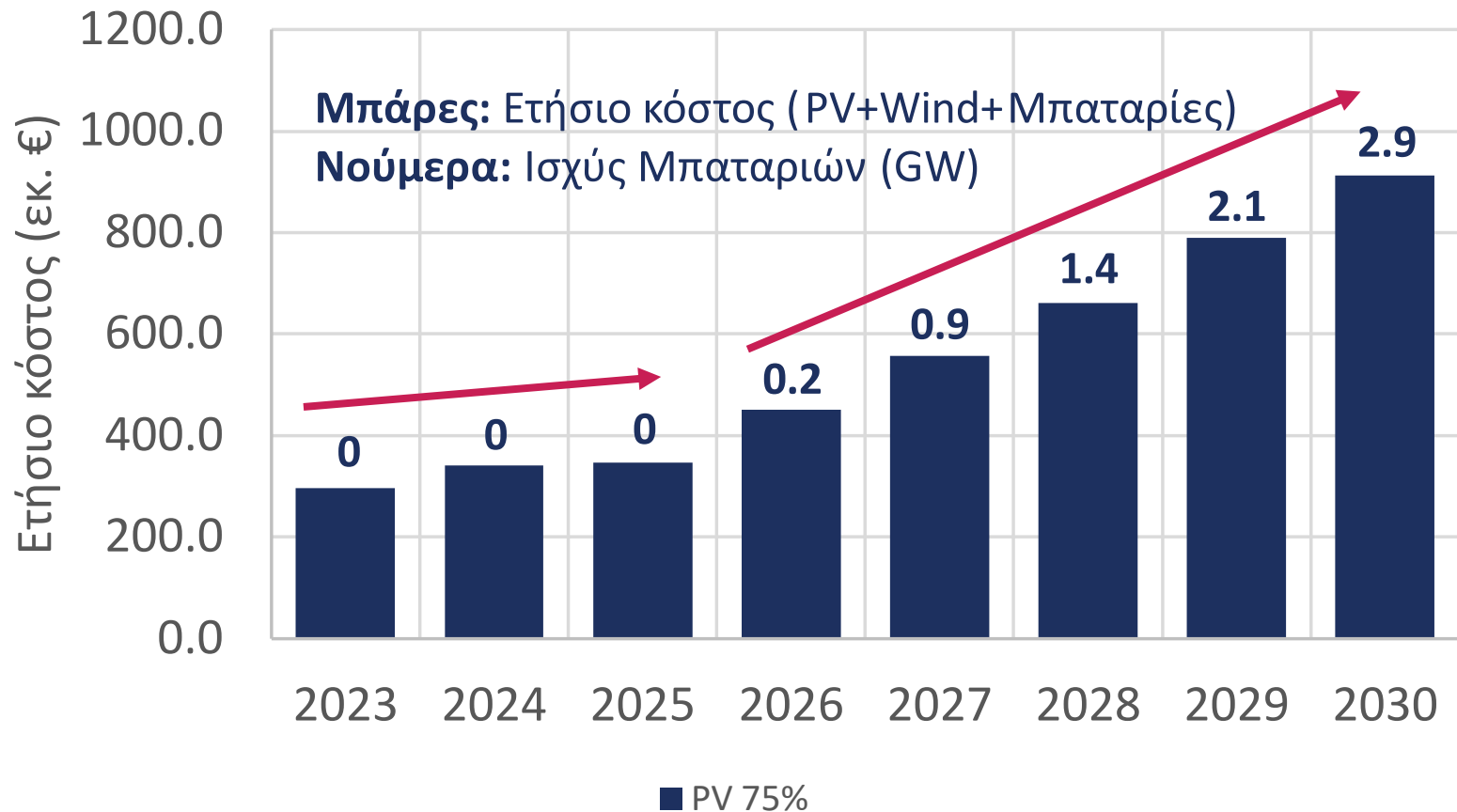
Αποτελέσματα cluster PV+ (3/5)

Η μέση αύξηση ετήσιου κόστους για κάθε επιπλέον 1% διείσδυση ΑΠΕ ισούται με **27-33 εκ. €**.



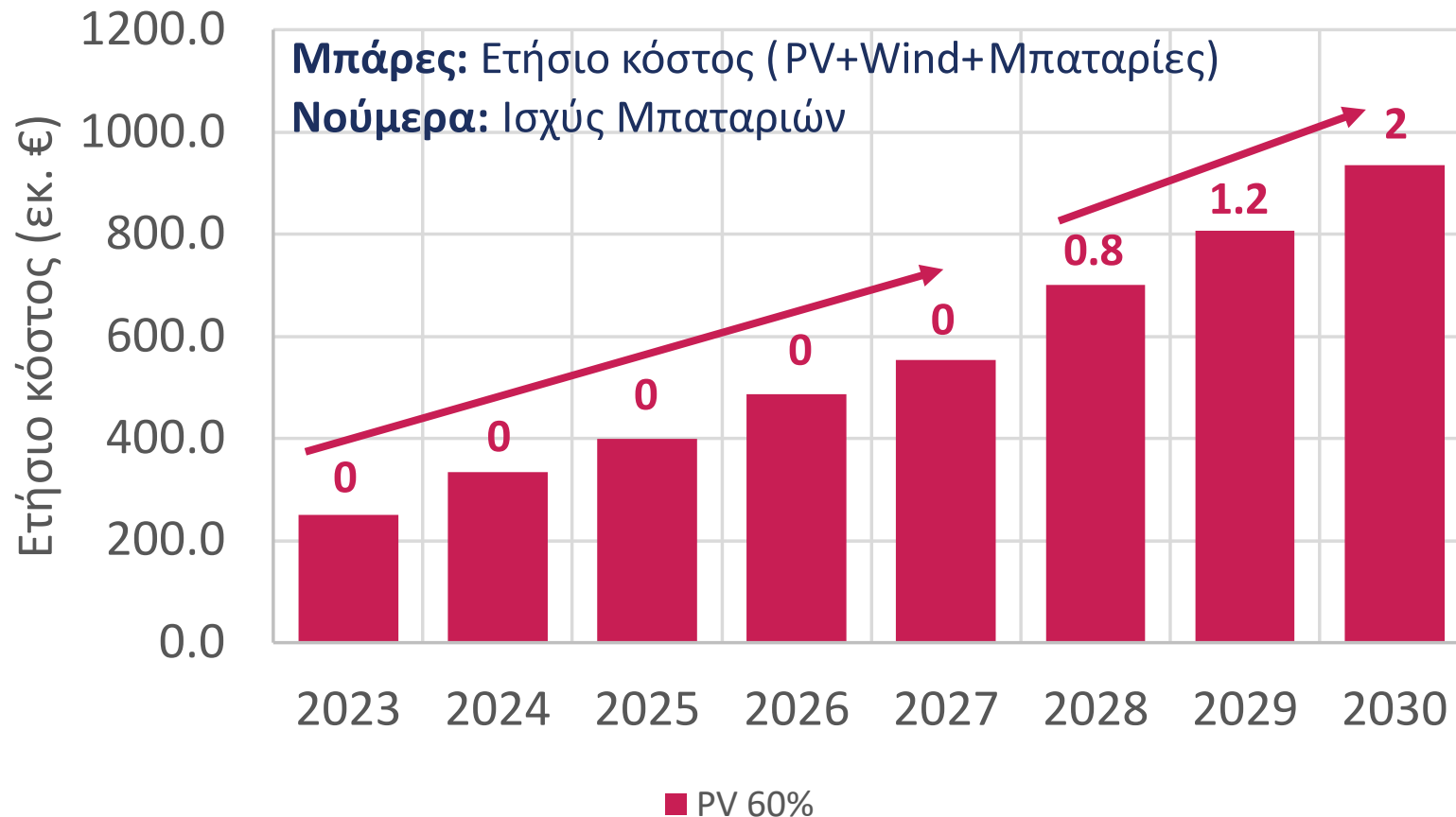
Το συνολικό επενδυτικό κόστος έως το 2030 ισούται με **4,7-5 δις. €**

Αποτελέσματα cluster PV+ (4/5)



Με **75% PV**, από το **2026** γίνεται οικονομικά εμφανής η έναρξη της ανάγκης για αποθήκευση...

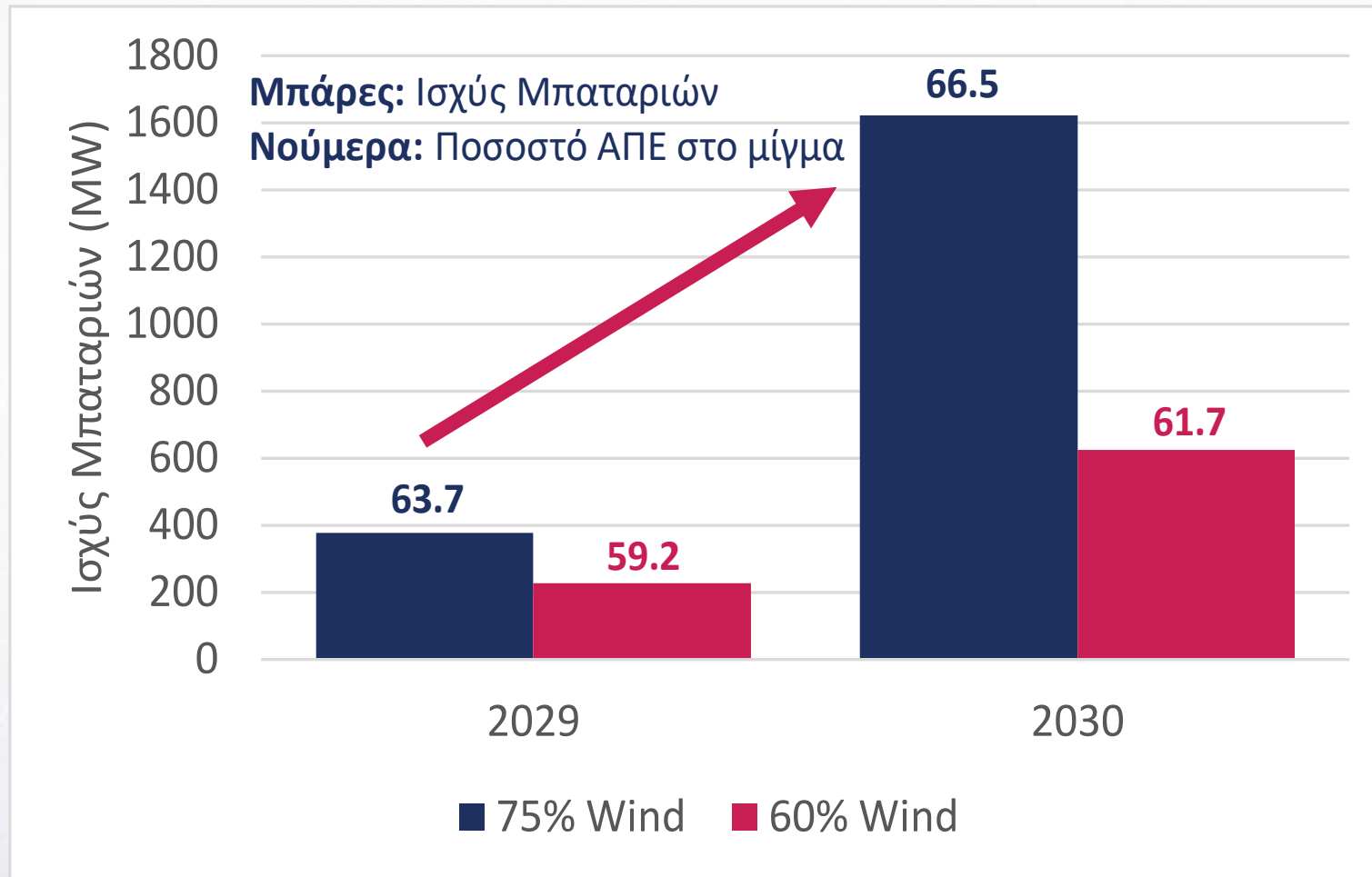
Αποτελέσματα cluster PV+ (5/5)



... ενώ με **60% PV** είναι **λιγότερο εμφανής** και **2 χρόνια αργότερα**, λόγω μειωμένων αναγκών αποθήκευσης και αυξημένου κόστους αιολικών.

Αποτελέσματα cluster Wind+ (1/5)

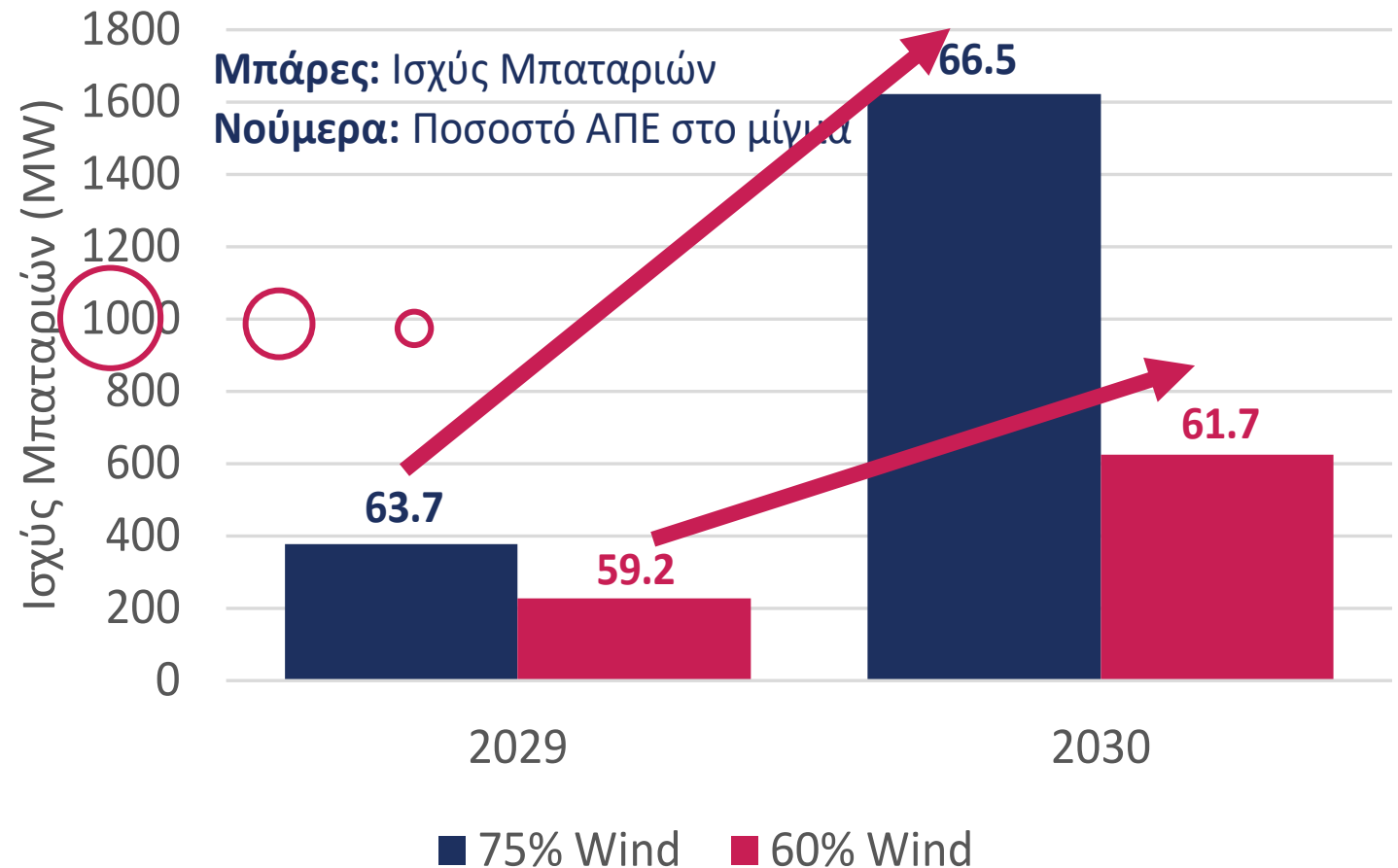
Οι ανάγκες για αποθήκευση αυξάνονται κατά **150-450 MW (0,6-1,8 GWh)** για κάθε επιπλέον **1% ΑΠΕ** στο δίκτυο από το **2029**.




Αποτελέσματα cluster Wind+ (2/5)

Στην περίπτωση των αιολικών, **μεγάλη πλειοψηφία τους** στο μίγμα ΑΠΕ σημαίνουν **ραγδαία αύξηση** του ρυθμού για ανάγκη αποθήκευσης.

Για **περίπου ίδια** αύξηση %ΑΠΕ στο μίγμα ηλεκτρισμού → **3-πλάσια** αύξηση αποθήκευσης



Αποτελέσματα cluster Wind+ (3/5)

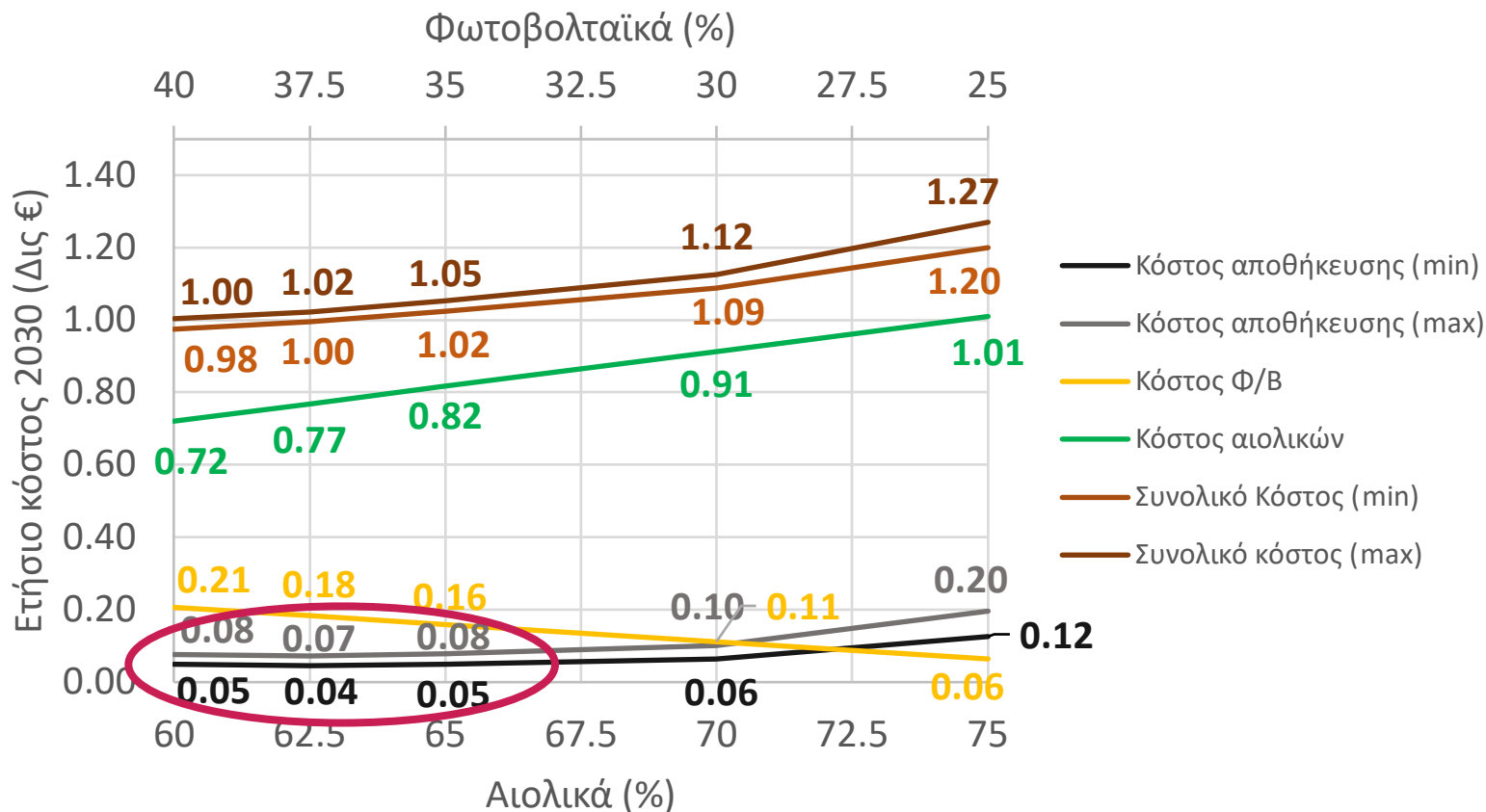
2030:  3,7-5,9 GW



0,6-1,6 GW
2,4-6,5 GWh
(4-11% της ισχύος ΑΠΕ)




8,8-11,0 GW



Με **60-65% αιολικά** στο μίγμα ΑΠΕ παρατηρούνται **οι ελάχιστες ανάγκες αποθήκευσης** λόγω βέλτιστης συμπληρωματικότητας αιολικής και Φ/Β παραγωγής

Αποτελέσματα cluster Wind+ (4/5)

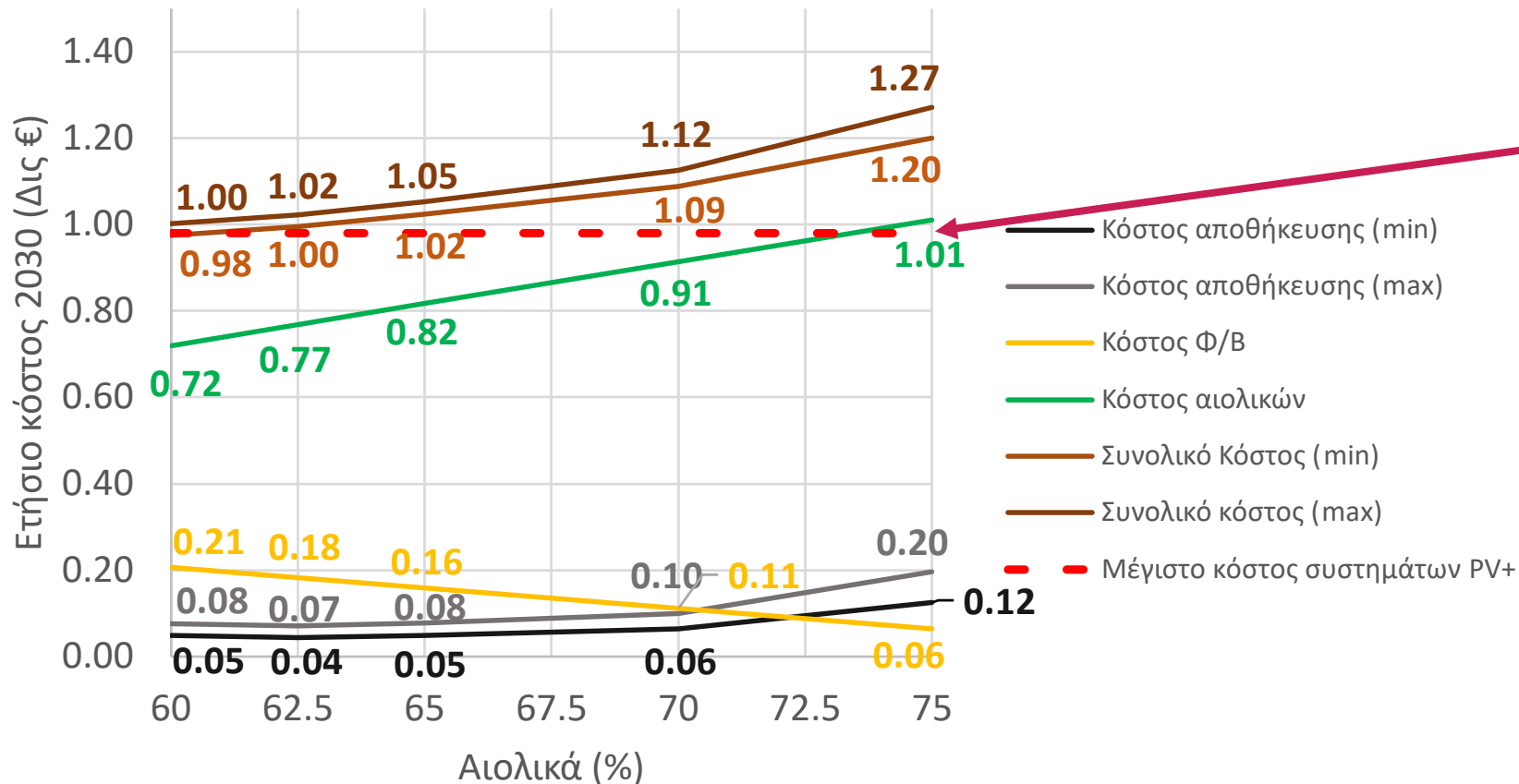
2030:  3,7-5,9 GW



0,6-1,6 GW
2,4-6,5 GWh
(4-11% της ισχύος ΑΠΕ)



8,8-11,0 GW



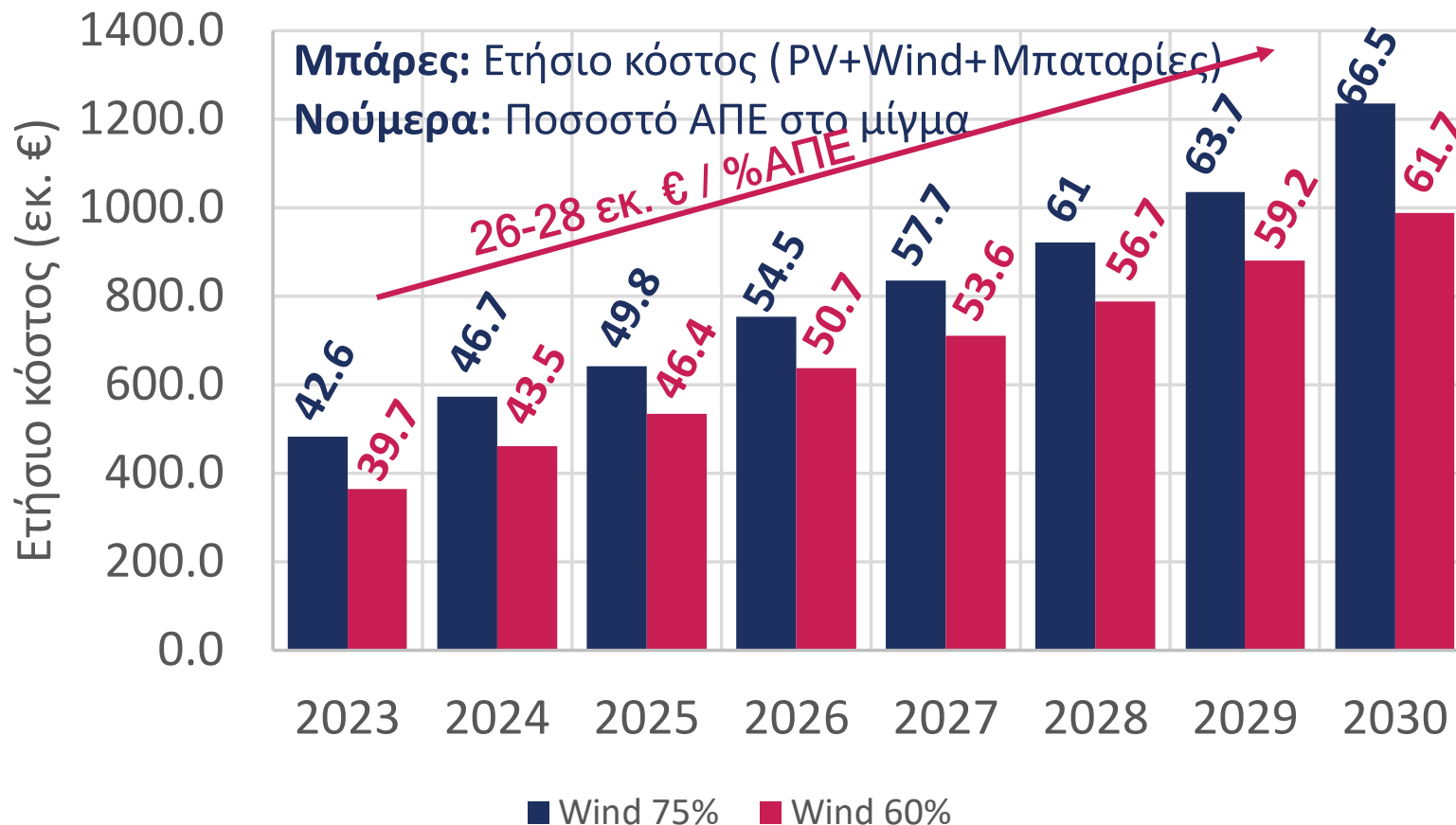
...ΤΟ **συνολικό ετήσιο κόστος με 60% αιολικά** είναι περίπου ίδιο με το κόστος συστημάτων με **60% Φ/Β**



Τα συστήματα με 40-60% από κάθε τεχνολογία έχουν **περίπου το ίδιο κόστος**

Αποτελέσματα cluster Wind+ (5/5)

Η μέση αύξηση ετήσιου κόστους για κάθε επιπλέον 1% διείσδυση ΑΠΕ ισούται με **26-28 εκ. €***



Το συνολικό επενδυτικό κόστος έως το 2030 ισούται με **5,8-7,2 δις. €***

***PV+:** 27-33 εκ. €/ΑΠΕ
4,7-5 δις. € έως το 2030

Συγκριτική Αξιολόγηση (1/4)

Cluster	75% PV PV+	75% WT Wind+
Αποθήκευση 2030	1,9-2,9 GW	0,6-1,6 GW
Ανάγκη αποθήκευσης για κάθε επιπλέον 1% ΑΠΕ	275-325 MW	150-450 MW
Έναρξη ανάγκης αποθήκευσης (% ΑΠΕ)	41-48 %	59-64 %

Μεγάλα ποσοστά οποιασδήποτε τεχνολογίας στο μίγμα, οδηγούν σε συγκριτικά **μεγάλη ανάγκη** για αποθήκευση έως το 2030

Πιο εμφανές γίνεται στην περίπτωση των **Φωτοβολταϊκών** λόγω της **αδράνειάς τους κατά την διάρκεια της νύχτας.**

Συγκριτική Αξιολόγηση (2/4)

Cluster	PV+	Wind+
Αποθήκευση 2030	1,9-2,9 GW	0,6-1,6 GW
Ανάγκη αποθήκευσης για κάθε επιπλέον % ΑΠΕ	275-325 MW	150-450 MW
Έναρξη ανάγκης αποθήκευσης (% ΑΠΕ)	41-48 %	59-64 %

75% WT

Στην περίπτωση των **πολλών αιολικών**, καθυστερεί η ανάγκη για αποθήκευση, αλλά ο **ρυθμός αύξησης της απαιτούμενης αποθήκευσης είναι μεγαλύτερος** εφόσον εμφανιστεί η ανάγκη.

Συγκριτική Αξιολόγηση (3/4)

62.5% WT
από 60% ΑΠΕ

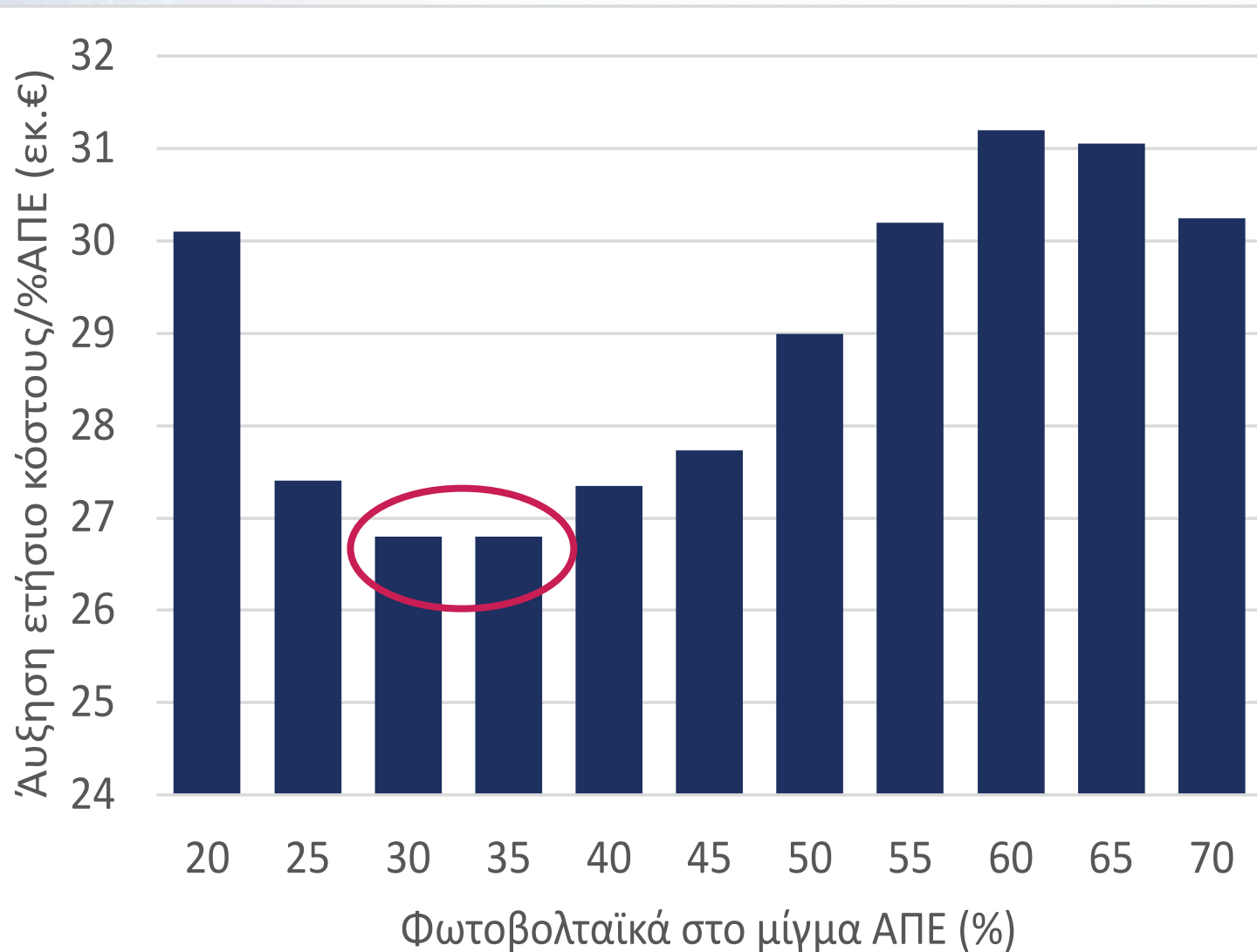
Cluster	PV+	Wind+
Αποθήκευση 2030	1,9-2,9 GW	0,6-1,6 GW
Ανάγκη αποθήκευσης για κάθε επιπλέον % ΑΠΕ	275-325 MW	150-450 MW
Έναρξη ανάγκης αποθήκευσης (% ΑΠΕ)	41-48 %	59-64 %

*Το ΕΣΕΚ με 52.5% Φ/Β και 47.5% αιολικά υπέθετε 1.3GW μπαταρίες

Ο **συνδυασμός των δυο τεχνολογιών** καθυστερεί την ανάγκη για αποθήκευση και μειώνει την απαιτούμενη ισχύ αποθήκευσης.

Με **60-65% αιολικά** και **35-40% φωτοβολταϊκά** επιτυγχάνεται ελάχιστη ανάγκη αποθήκευσης* **από το 2029** και μετά, σύμφωνα με την ισχύ ΑΠΕ του ΕΣΕΚ 2019.

Συγκριτική Αξιολόγηση (4/4)



Ο συνδυασμός **65-70%** αιολικά με **30-35%** φωτοβολταϊκά, αποδίδει τον καλύτερο λόγο κόστους*- ωφελειών (ετήσιο κόστος ανά %ΑΠΕ στο μίγμα ενέργειας)

*Κόστος PV + Wind + Μπαταρίες

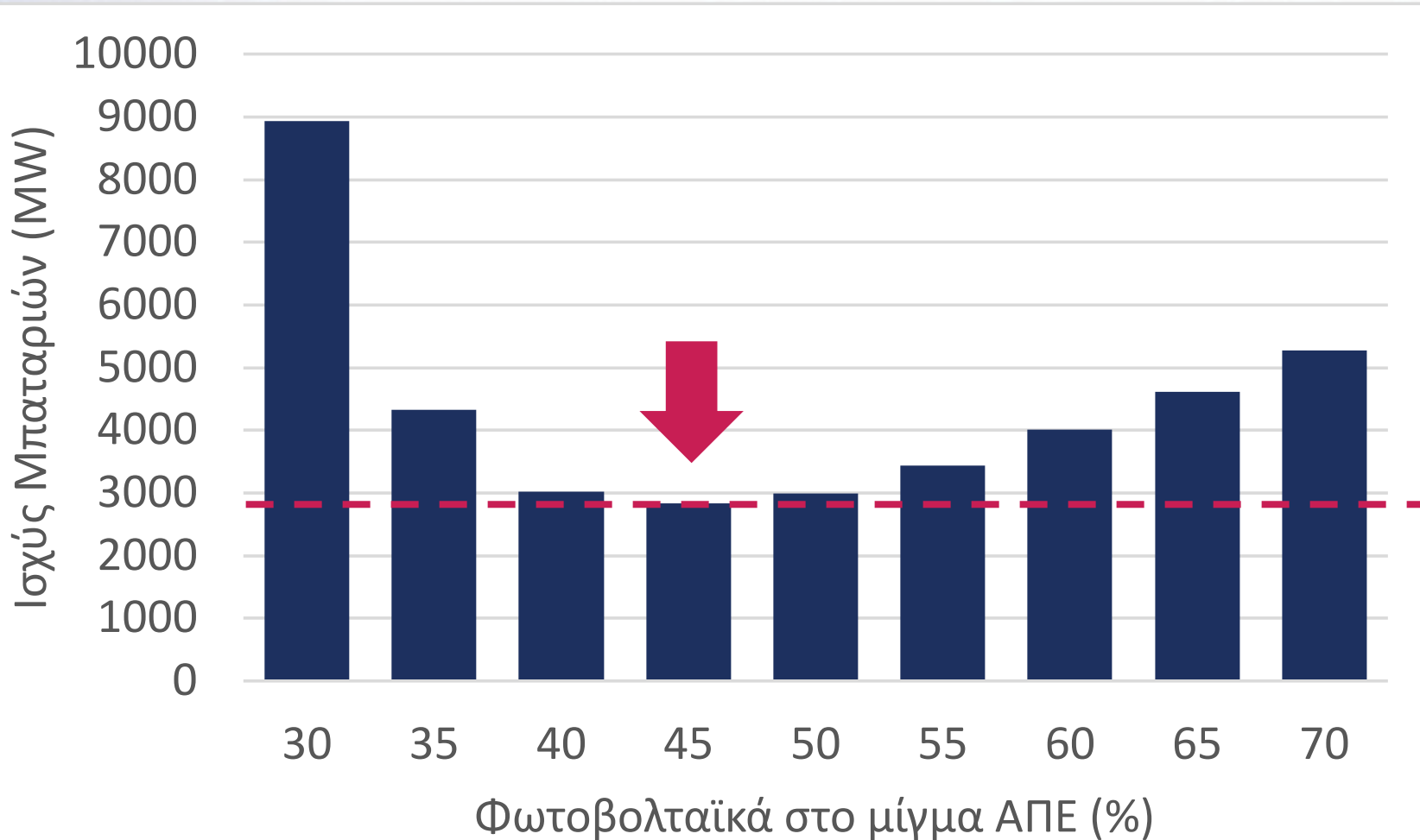
Συμπεράσματα

- ❑ Ο **συνδυασμός** των δύο τεχνολογιών ΑΠΕ με το μεγαλύτερο δυναμικό στην Ελλάδα είναι απαραίτητος για την επίτευξη των στόχων ενέργειας με **αποδοτικό τρόπο**
- ❑ Στην Ελλάδα ο αποδοτικότερος συνδυασμός από άποψη αναγκών αποθήκευσης και κόστους διείσδυσης ΑΠΕ ισούται με **~40% Φ/Β και 60% αιολικά** (για το ισχύον ΕΣΕΚ)
- ❑ Με **βάση τους στόχους του νέου ΕΣΕΚ**, η αποθήκευση αναμένεται να γίνει απαραίτητη από το 2025 και έπειτα
- ❑ Στους **διαγωνισμούς ΑΠΕ** πρέπει από τώρα η προκηρυσσόμενη ισχύς ΑΠΕ να συνοδεύεται από προκηρυσσόμενη ισχύ αποθήκευσης

Σημείωση και επόμενοι στόχοι

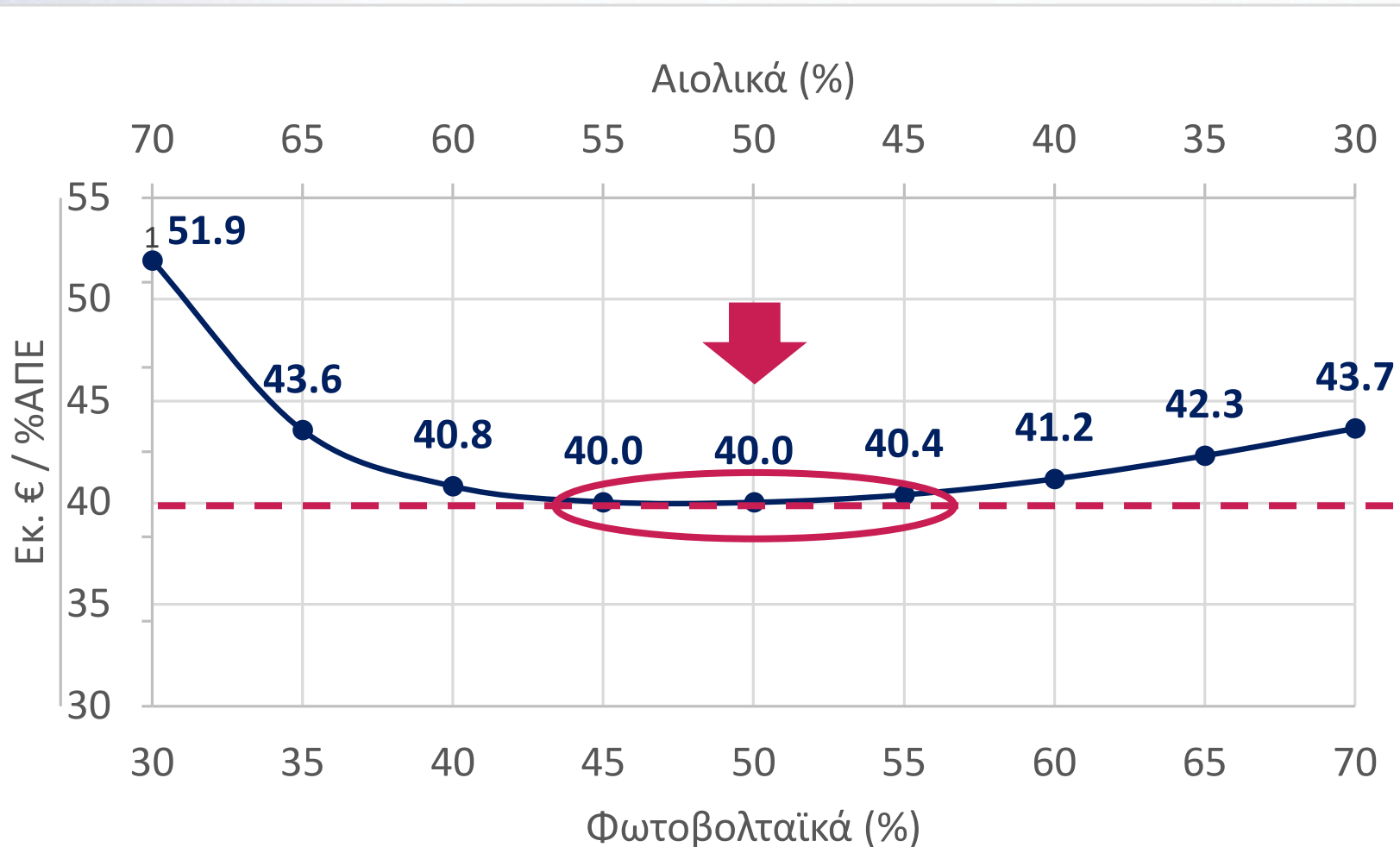
- ❑ Η μελέτη υλοποιήθηκε το 2021 και αφορά τους στόχους του ισχύοντος ΕΣΕΚ (2019)
- ❑ Είναι σε εξέλιξη η αναθεώρησή της με βάση του στόχους της πρότασης για το νέο ΕΣΕΚ (2023), και την ανάγκη για περιορισμό της εξάρτησης από το φυσικό αέριο
- ❑ Ενώ τα μεγέθη διαφέρουν, οι τάσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη δεν αναμένεται να έχουν σημαντική απόκλιση

Νέα μελέτη - σε εξέλιξη(1/2)



Λόγω της υπόθεσης για **υπεράκτια αιολικά** με μεγαλύτερο συντελεστή εκμετάλλευσης, η ελάχιστη αποθήκευση εμφανίζεται για **55% αιολικά και 45% Φ/Β**.

Νέα μελέτη - σε εξέλιξη(2/2)



Βέλτιστο λόγο
κόστους-οφέλους*
επιτυγχάνουμε με
**45-55% σε
οποιαδήποτε
τεχνολογία**

* Αύξηση ετήσιου κόστους για κάθε 1% αύξηση ΑΠΕ στο μίγμα ηλεκτρισμού.

Contact us



aflamos@unipi.gr



[TEESlab – Technoeconomics of Energy Systems laboratory](#)



[@TEES_Lab](#)



<https://teeslab.unipi.gr/>



Dr. Alexandros Flamos
Full Professor & Director of TEESlab
UNIPI



Υπόθεση κόστους τεχνολογιών

Έτος	Κόστος επένδυσης Φ/Β (€MW)*	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης Φ/Β (€MW)*	Κόστος επένδυσης αιολικών (€MW)*	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης αιολικών (€MW)*	Κόστος επένδυσης μπαταριών Min (€MWh)**	Κόστος επένδυσης μπαταριών Max (€MWh)**	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης μπαταριών (€MW)*
2023	557.455	20.150	1.059.360	21.700	264.000	315.000	26.900
2024	541.845	19.450	1.027.640	21.600	238.000	305.000	25.200
2025	527.250	18.750	997.000	21.500	212.000	295.000	23.500
2026	513.670	18.050	967.440	21.400	199.000	286.000	21.800
2027	501.105	17.350	938.960	21.300	184.000	276.000	20.100
2028	489.555	16.650	911.560	21.200	170.000	267.000	18.400
2029	479.020	15.950	885.240	21.100	157.000	258.000	16.700
2030	469.500	15.250	860.000	21.000	143.000	248.000	15.000

* Πηγές ΕΣΕΚ 2019 και Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050.

** Πηγή [NREL, 2021](#)

Τεχνοοικονομικές υποθέσεις

Διάρκεια Ζωής Φ/Β (Ετη)*	32.5
Διάρκεια Ζωής αιολικών (Ετη)*	20
Διάρκεια Ζωής Μπαταριών (Ετη)**	20
Επιτόκιο (%)***	8

* Πηγή [NREL, 2022](#)

** Πηγή [Timmons et. al, 2020](#)

*** Πηγή Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050.

Αντλησιοταμίευση σε λειτουργία

Όνομα έργου	Σφηκιά	Θησαυρός
Αποθηκευτική Ικανότητα (MWh)*	1320	3820
Μέγιστη Ισχύς (MW)*	315	372
Ρυθμός Φόρτισης (MWh/h)*	220	250
Βάθος εκφόρτισης (%)*	95	95
Βαθμός απόδοσης (%)*	78	78
Διάρκεια συστήματος (h)*	6	10

* Πηγή ΔΕΗ

Εξέλιξη Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας

