

# Εναλλακτικά σενάρια ανάπτυξης του μείγματος ΑΠΕ

Αξιολόγηση λειτουργίας σταθμών ΑΠΕ και εκτίμηση  
βέλτιστου μείγματος ΑΠΕ-αποθήκευσης

**Γιώργος Ψαρρός Δρ. ΕΜΠ**

Ομάδα εργασίας:

Σταύρος Παπαθανασίου Καθ. ΕΜΠ

Γιώργος Ψαρρός Δρ. ΕΜΠ

Παντελής Δράτσας ΥΔ ΕΜΠ

Περικλής Χήναρης ΥΔ ΕΜΠ



## Αντικείμενο

- Συγκριτική αξιολόγηση των περικοπών και των εσόδων αγοράς έργων ΑΠΕ υπό συνθήκες υψηλής διείσδυσης, για διαφορετικά σενάρια μείγματος ΑΠΕ
  - ❖ Μεταβολή επιπέδου περικοπών ΑΠΕ συνολικά και ανά τεχνολογία στο Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα (ΕΔΣ) και επίπτωση στην προκύπτουσα διείσδυση ΑΠΕ.
  - ❖ Μεταβολή τιμών αποζημίωσης από ημερήσια αγορά ενέργειας ανά τεχνολογία ΑΠΕ.
- Εκτίμηση βέλτιστου μείγματος ΑΠΕ-αποθήκευσης για στόχο διείσδυσης ΑΠΕ ~82%

## Υποθέσεις εργασίας

- Ανάλυση πραγματοποιείται με θεώρηση copper plate (νοητό σύστημα ενός ζυγού), αγνοώντας δηλαδή τοπικούς περιορισμούς λόγω κορεσμού των δικτύων στο εσωτερικό του συστήματος
- Προσομοίωση αγορών του ΕΔΣ με εφαρμογή cost-optimal μοντέλου ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού

# Βασικές Θεωρήσεις ανάλυσης

---



- Εξετάζονται **3 σενάρια ανάπτυξης του μείγματος ΑΠΕ**
  - Μονόπλευρης ανάπτυξης ΦΒ - **prioritized PV development**
  - Ισορροπημένης ανάπτυξης Α/Π και ΦΒ - **balanced RES development**
  - Μονόπλευρης ανάπτυξης Α/Π - **prioritized WF development**
- Σενάρια **ενεργειακά ισοδύναμα** μεταξύ τους: Ισχείς Α/Π και ΦΒ επιλέγονται ώστε να οδηγούν στην ίδια ετησίως διαθέσιμη ενέργεια ΑΠΕ (προ περικοπών)

Τεχνολογία	prioritized PV development	balanced RES development	prioritized WF development
Χερσαία Α/Π [GW]	6,0	9,5	10,0
Υπεράκτια Α/Π [GW]	1,0	1,0	2,0
ΦΒ σταθμοί [GW]	15,0	10,0	7,0
Λοιπές ΑΠΕ(*) [GW]	1,0	1,0	1,0
<b>Σύνολο [GW]</b>	<b>23,0</b>	<b>21,5</b>	<b>20,0</b>

(\*): Βιομάζα, ΗΘΣ, ΣΗΘΥΑ, μΥΗΣ

Έτος αναφοράς: 2030

## Χαρακτηριστικά ζήτησης

Ετήσια ζήτηση [TWh]	61,28
Αιχμή [GW]	10,87
ΣΦ [%]	64,6%

## Λοιπό δυναμικό παραγωγής

Σύνολο ισχύος με καύσιμο ΦΑ [MW]	7198
ΥΗΣ με ταμιευτήρα [MW]	2676
ΥΗΣ με ταμιευτήρα και άντληση [MW]	699
Σύνολο ΥΗΣ [MW]	3375

## Αποθήκευση

Συνολική ισχύς [MW]	2500
Συνολική χωρητικότητα [MWh]	11000

## Ισχύς ΑΠΕ μη υποκείμενη σε περικοπές

- ~4,1 GW ΦΒ σταθμών δεν δέχονται περικοπές
- 2,5 GW χερσαίων Α/Π δεν δέχονται περικοπές
- 1 GW λοιπών ΑΠΕ\* δεν δέχονται περικοπές
- Υπόλοιπη ισχύς ΦΒ και Α/Π (χερσαία και υπεράκτια) υπόκειται σε περιορισμούς

## Θεωρήσεις

- Πλήρης απόσυρση λιγνιτικών μονάδων
- Μετατροπή Πτολεμαΐδας V σε CCGT με καύσιμο ΦΑ
- Ένταξη μίας νέας μονάδας ΦΑ με ισχύ εξόδου 825 MW

## Τιμές καυσίμου και εκπομπών

- Τιμή ΦΑ: 48 € / MWh
- Τιμή CO<sub>2</sub>: 90 € / tnCO<sub>2</sub>

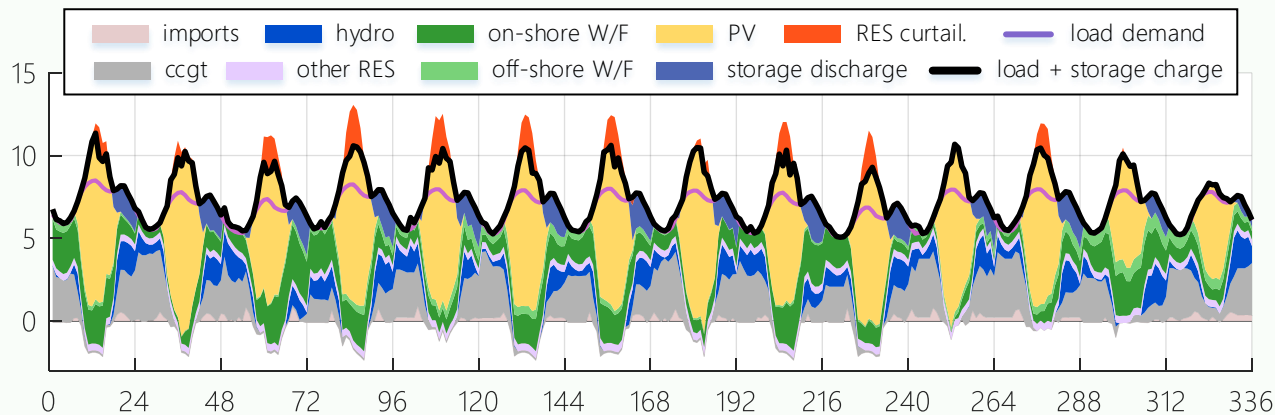
\* Λοιπές ΑΠΕ: μΥΗΣ, βιομάζα, γεωθερμία, ηλιοθερμικοί, μΣΗΘΥΑ

# Αποτελέσματα λειτουργίας

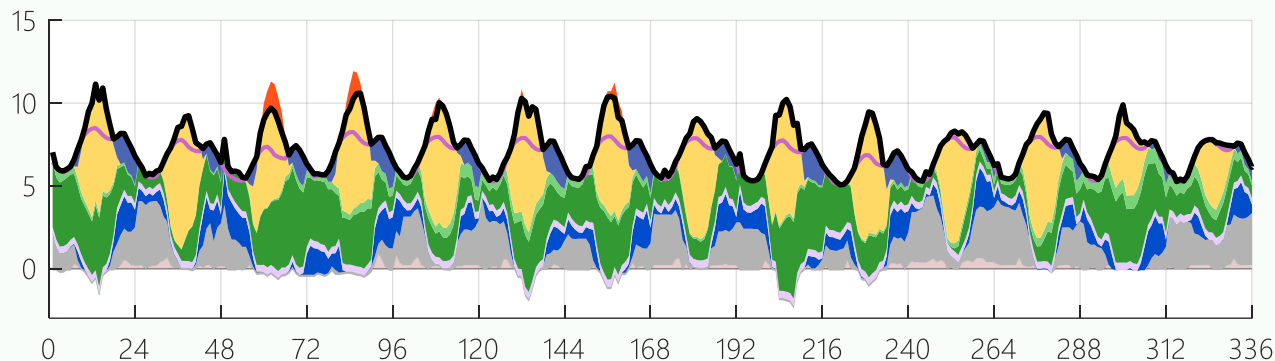
---



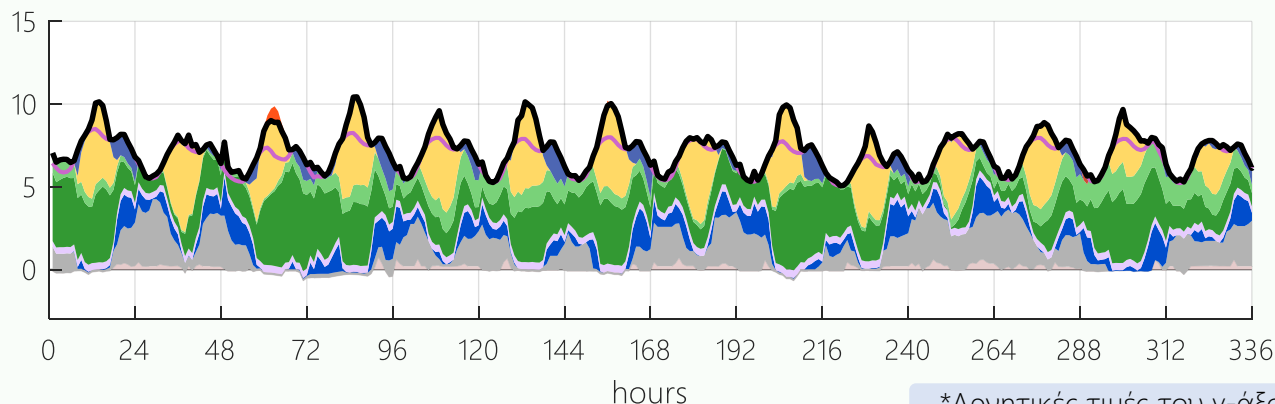
# Ενδεικτική λειτουργία συστήματος (14-ημέρες)



prioritized PV development

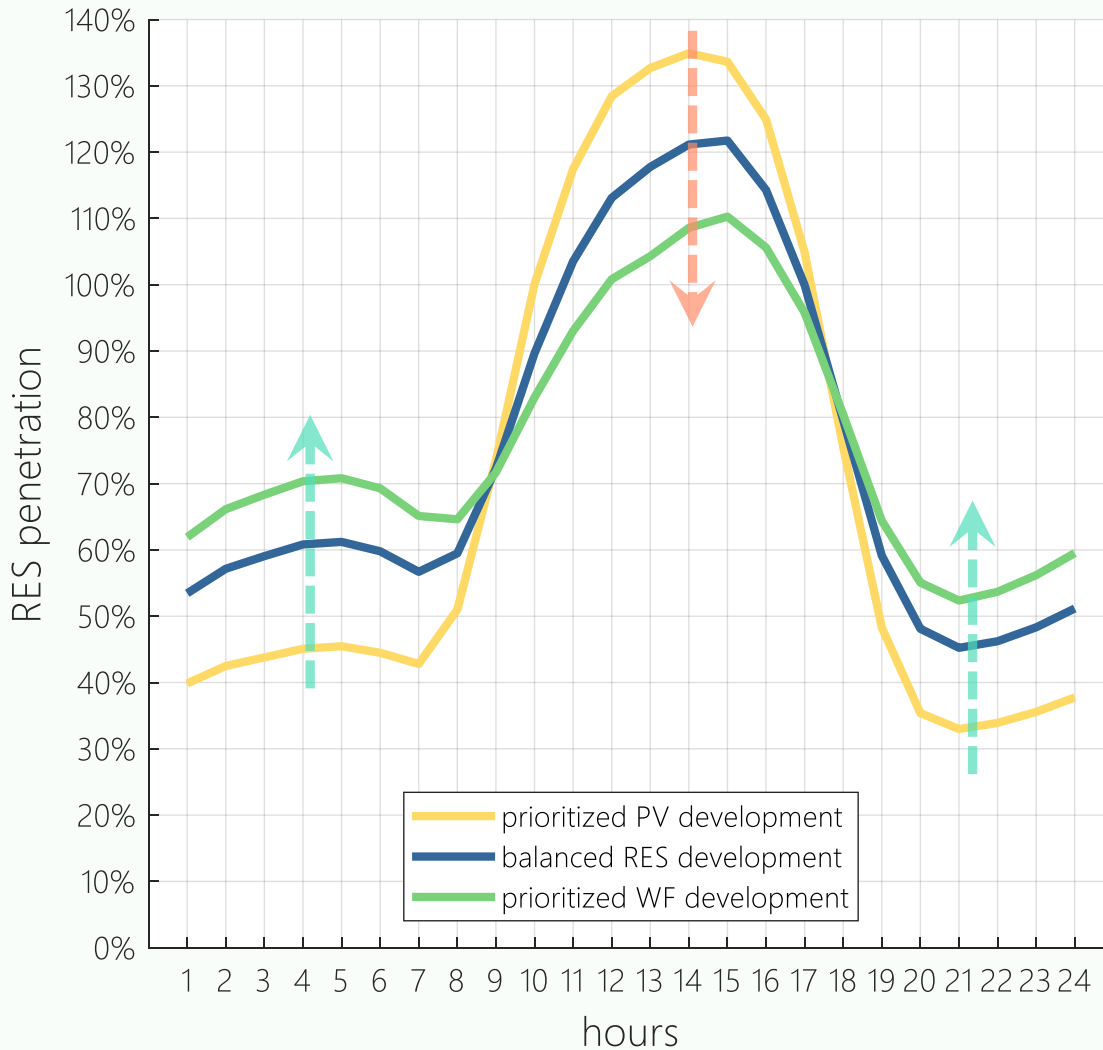


balanced RES development



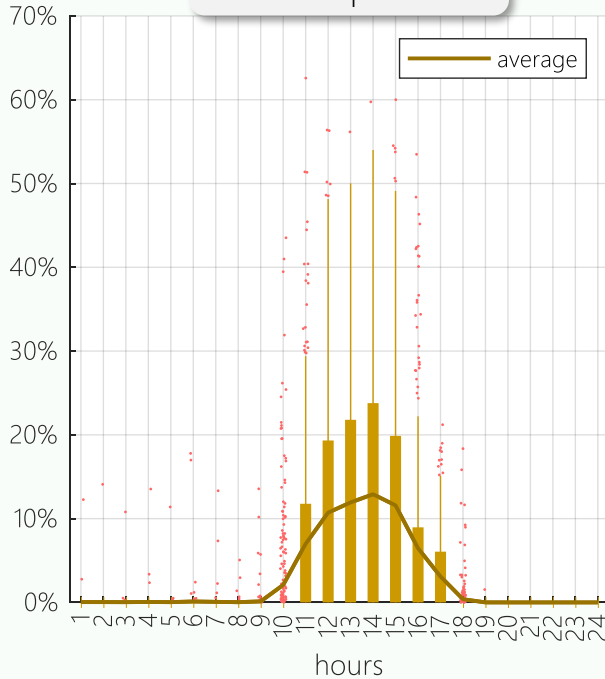
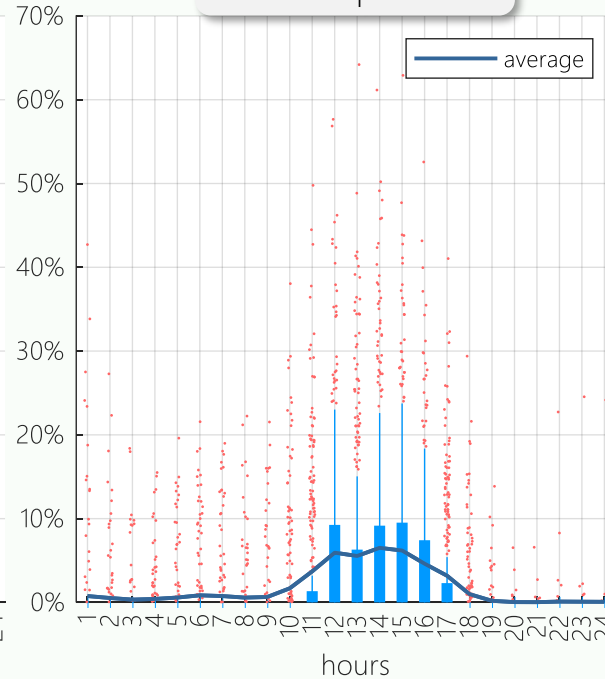
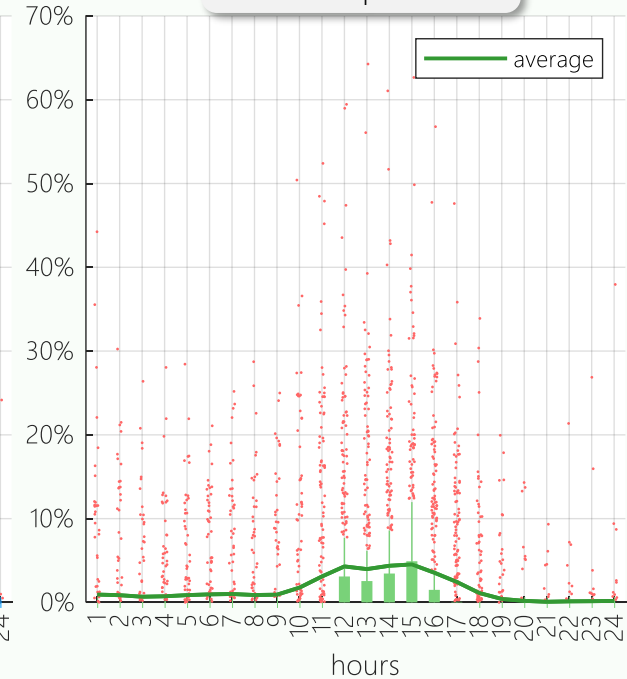
prioritized WF development

\*Αρνητικές τιμές του y-άξονα υποδηλώνουν εξαγωγές



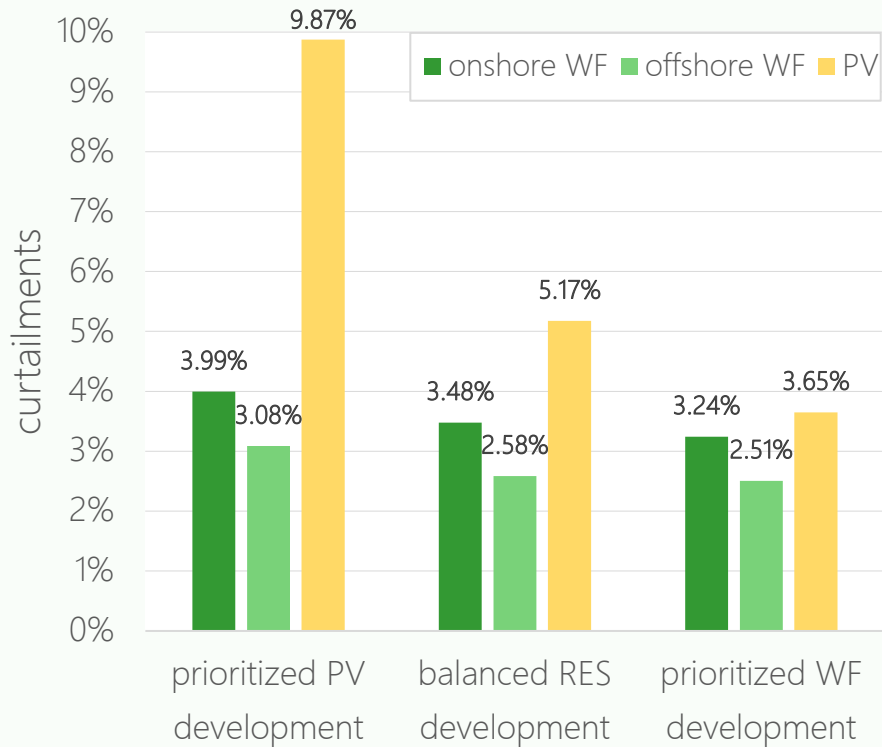
- Μείωση ΦΒ σταθμών και αύξηση Α/Π:
  - Αύξηση διείσδυσης εκτός μεσημβρινών ωρών
  - Ενδοημερήσια κατανομή της παραγωγής ΑΠΕ με χαμηλότερη συγκέντρωση



prioritized PV  
developmentbalanced RES  
developmentprioritized WF  
development

- Μείωση ΦΒ σταθμών και αύξηση Α/Π ⇒ μείωση περικοπών ιδιαίτερα τις μεσημβρινές ώρες
- Για όλες τις τεχνολογίες ΑΠΕ οι περικοπές οφείλονται κυρίως στη μεσημβρινή συμφόρηση που προκαλεί η ΦΒ παραγωγή (ώρες αυξημένης συμφόρησης 10:00-17:00)
- Για το σενάριο αυξημένων ΦΒ οι περικοπές παρατηρούνται αποκλειστικά τις μεσημβρινές ώρες → Η περιορισμένη εγκατεστημένη ισχύς Α/Π δεν οδηγεί σε συνθήκες συμφόρησης τις υπόλοιπες ώρες

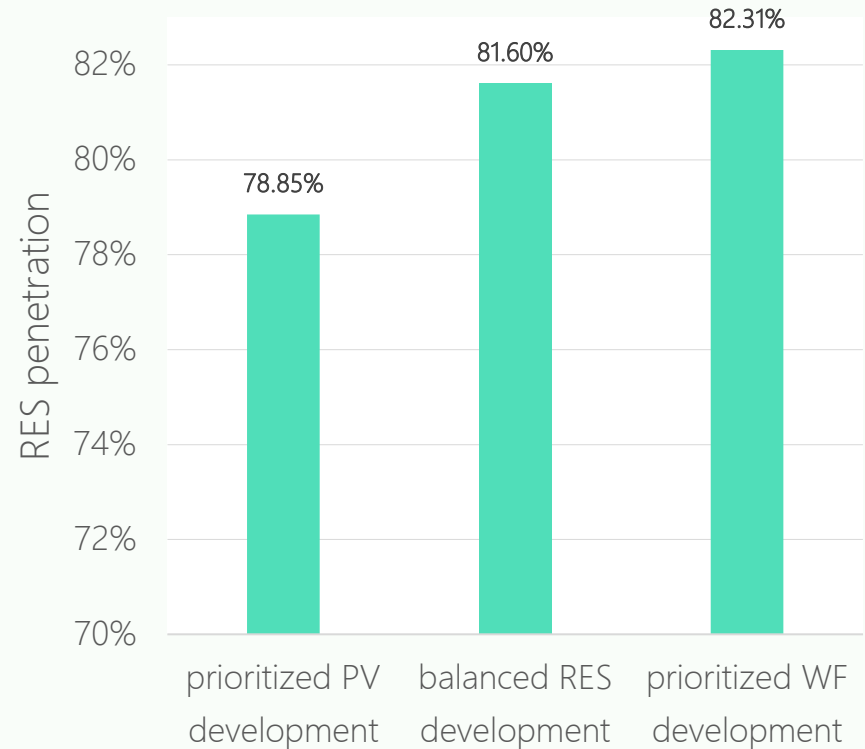
## Περικοπές ανά τεχνολογία ΑΠΕ



● → -5,0 GW ΦΒ  
 +3,5 GW ΑΠ

● → -3,0 GW ΦΒ  
 +1,5 GW ΑΠ

## Διείσδυση ΑΠΕ



● → -5,0 GW ΦΒ  
 +3,5 GW ΑΠ

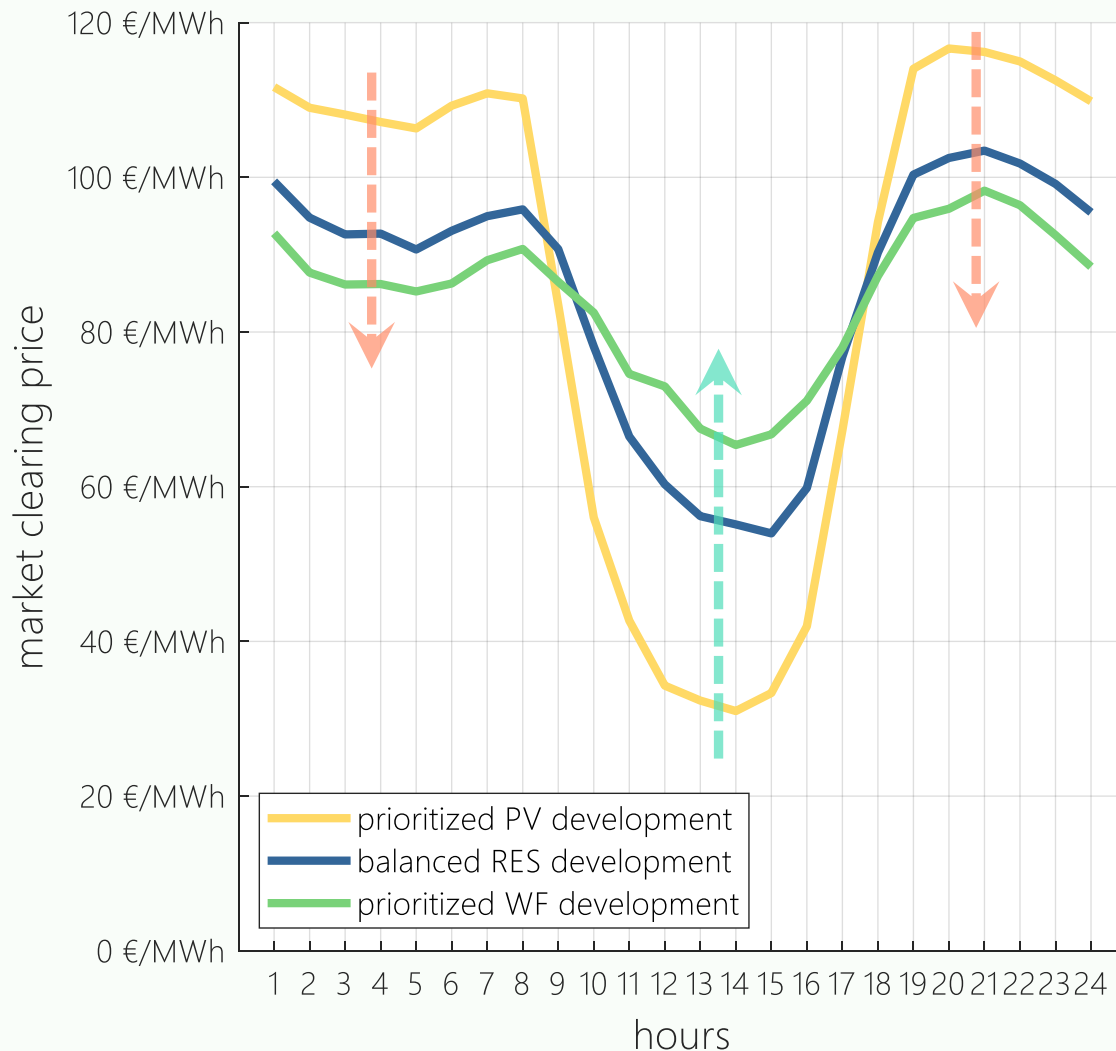
● → -3,0 GW ΦΒ  
 +1,5 GW ΑΠ

\* Περικοπές % διαθέσιμης ενέργειας έργων ΑΠΕ που δέχονται περικοπές  
 \* Στη διείσδυση ΑΠΕ περιλαμβάνεται και η παραγωγή των ΥΗΣ του συστήματος

# Επίπτωση μείγματος ΑΠΕ στις τιμές αγοράς

---



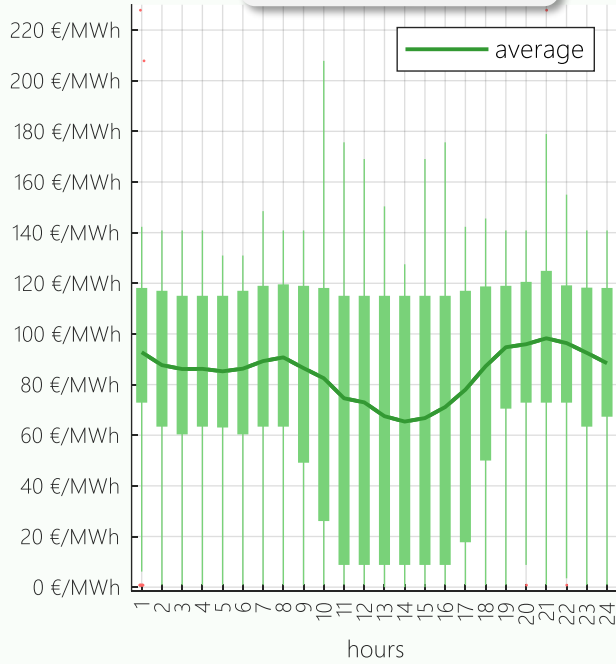
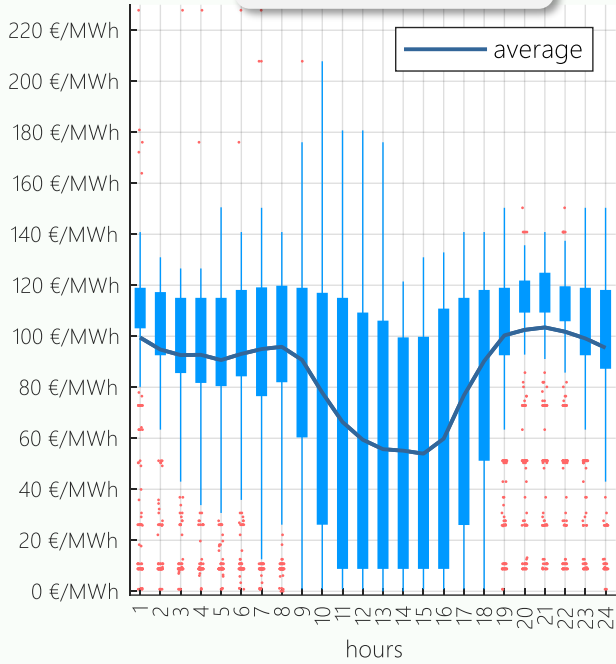


- Μείωση ισχύος ΦΒ σταθμών και αύξηση Α/Π περιορίζει το spread της ημερήσιας τιμής:
  - Στήριξη τιμών τις μεσημβρινές ώρες
  - Μείωση αυξημένων τιμών τις υπόλοιπες ώρες
- Μονοδιάστατη ανάπτυξη ΦΒ: spread MCP ~85€/MWh
- Ισόρροπη ανάπτυξη ΑΠΕ: spread MCP ~50€/MWh
- Μονοδιάστατη ανάπτυξη Α/Π: spread MCP ~30€/MWh

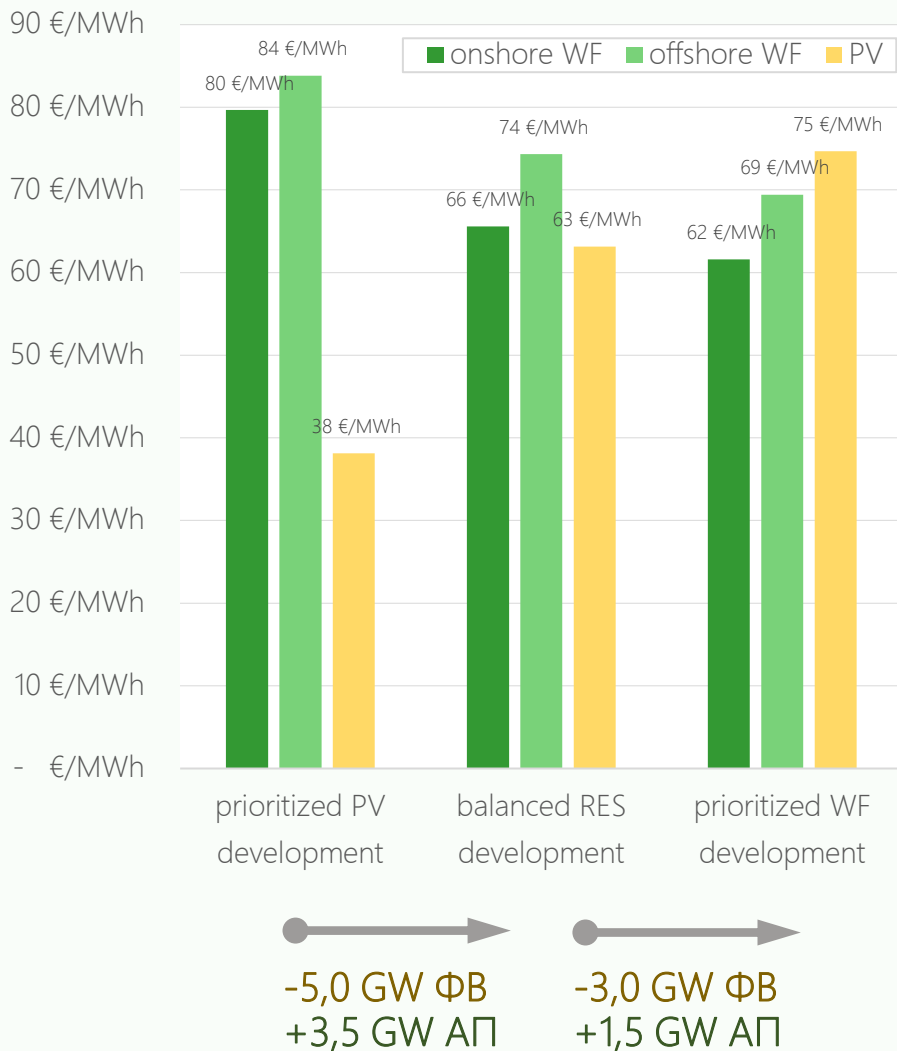
prioritized PV development

balanced RES development

prioritized WF development



- Αυξημένη συχνότητα πολύ χαμηλών τιμών (σχεδόν μηδενικών) στα σενάρια υψηλής ισχύος ΦΒ
- Σαφής διαφοροποίηση προφίλ τιμής
- Μονοδιάστατη ανάπτυξη Α/Π οδηγεί συστηματικότερα σε χαμηλές τιμές τις απογευματινές – βραδινές ώρες
  - ❖ Ένδειξη συμφόρησης παραγωγής ΑΠΕ



- Μείωση ισχύος ΦΒ σταθμών και αύξηση Α/Π:
  - Αύξηση τιμών αποζημίωσης της ΦΒ παραγωγής: μικρότερη συμφόρηση τις ώρες μεσημβρινής παραγωγής ⇒ αποφυγή μεγάλης μείωσης τιμών αγοράς
  - Μείωση τιμών αποζημίωσης της αιολικής παραγωγής: αύξηση συμφόρησης σε ώρες εκτός μεσημβρινής παραγωγής και συμπίεση των τιμών αιολικής παραγωγής
  
- Για μείωση 1 GW εγκατεστημένης ΦΒ ισχύος και αύξηση 0,7 GW εγκατεστημένης ισχύος Α/Π:
  - Αύξηση μεσοσταθμικής τιμής ΦΒ ~4,5 €/MWh
  - Μείωση μεσοσταθμικής τιμής Α/Π ~2 €/MWh

Εκτίμηση βέλτιστου μείγματος ΑΠΕ-  
αποθήκευσης για στόχο διείσδυσης  
ΑΠΕ ~82%

---



- ✓ Με αποκλειστικό κριτήριο την ελαχιστοποίηση των απορρίψεων ΑΠΕ φαίνεται ότι η μονόπλευρη ανάπτυξη των Α/Π οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα

**Ερώτημα:** Η μονοδιάστατη ανάπτυξη μίας τεχνολογίας ΑΠΕ συνιστά βέλτιστη λύση για το σύστημα?

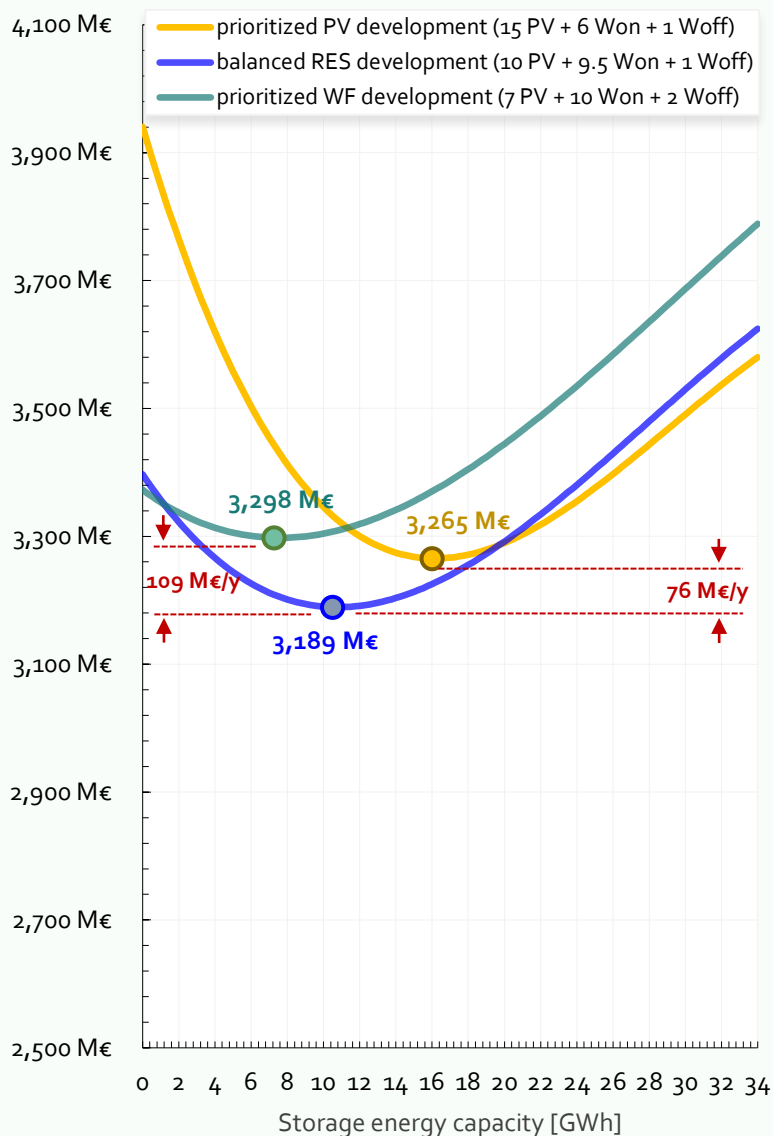
- ❖ Η ανάλυση επεκτείνεται ώστε να γίνει αποτίμηση του τελικού κόστους συστήματος για κάθε σενάριο μείγματος ΑΠΕ.
- ❖ Επιπλέον εκτιμάται το βέλτιστο μέγεθος αποθήκευσης ανά σενάριο ανάπτυξης του μείγματος ΑΠΕ.
- ❖ Βασικός στόχος η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους συστήματος. Συνεκτιμά:
  - Επενδυτικά κόστη που συνοδεύουν τις νέες επενδύσεις σε ΑΠΕ και αποθήκευση
  - Το μεταβλητό κόστος λειτουργίας του συστήματος για κάθε μείγμα ΑΠΕ και αποθήκευσης
- ❖ Η ελαχιστοποίηση των περικοπών δεν αποτελεί πρωταρχικό στόχο
  - Ωστόσο το μέγεθος περικοπών για τον βέλτιστο συνδυασμό μείγματος ΑΠΕ – αναγκών αποθήκευσης προκύπτει και αξιολογείται

Τεχνολογία	ΑΠΕ βάσης <sup>(*)</sup>
Χερσαία Α/Π	4,5 GW
Υπεράκτια Α/Π	0 GW
ΦΒ σταθμοί	5,0 GW
<b>Σύνολο [GW]</b>	<b>9,5 GW</b>

*(\*) ΑΠΕ κοινές σε όλες τις παραλλαγές μείγματος που εξετάζονται – Αντικατοπτρίζουν την υφιστάμενη κατάσταση του μείγματος*

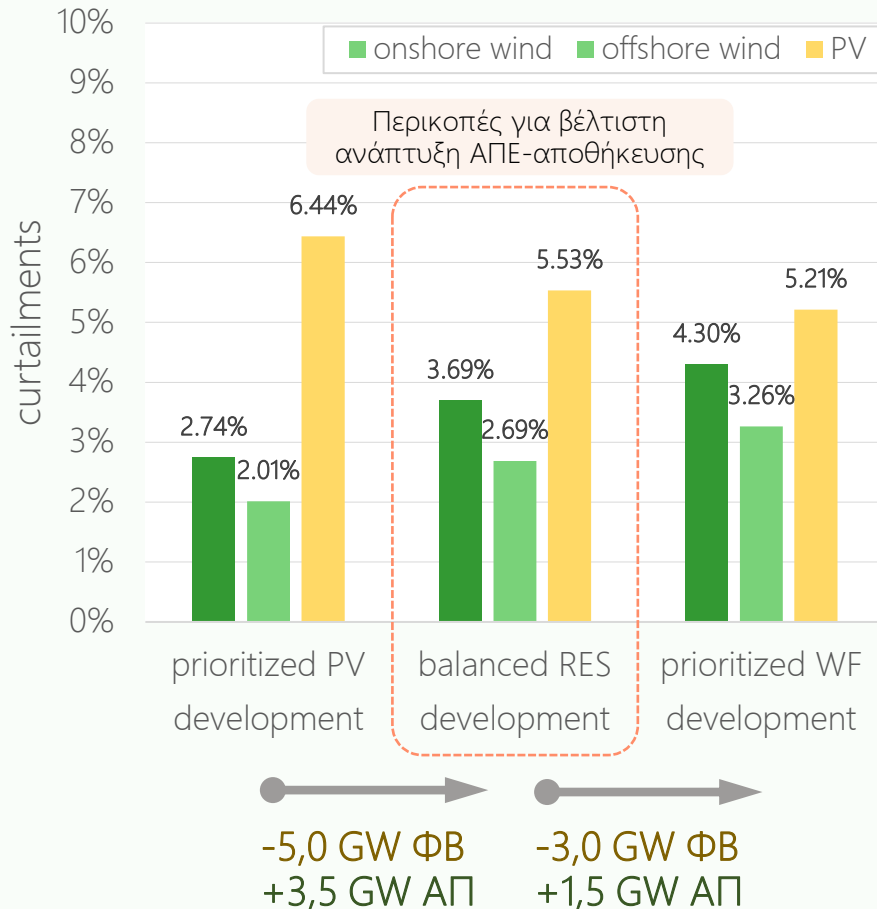


System cost (includes costs of new investments in RES & storage and variable



- Για κάθε περίπτωση ανάπτυξης μείγματος ΑΠΕ υπάρχει διαφορετικό βέλτιστο αναγκών αποθήκευσης που ελαχιστοποιεί το κόστος συστήματος:
  - ❖ Μονοδιάστατη ανάπτυξη ΦΒ: 15-18 GWh
  - ❖ Ισόρροπη ανάπτυξη ΑΠΕ: 9.5-12 GWh
  - ❖ Μονοδιάστατη ανάπτυξη Α/Π: 6-9.5 GWh
- Η συνολικά βέλτιστη ανάπτυξη συστήματος (ελαχιστοποίηση του κόστους συστήματος) για συνθήκες διεύθυνσης ~82% περιλαμβάνει
  - ❖ Την ισόρροπη ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ + αποθηκευτικούς σταθμούς ~11 GWh
- Η μονοδιάστατη ανάπτυξη ΦΒ ή Α/Π μη βέλτιστη:
  - ❖ Τα ΦΒ, αν και φθηνότερα, απαιτούν μεγάλες χωρητικότητες αποθήκευσης για μετάθεση ενέργειας που έρχονται με αυξημένο κόστος
  - ❖ Το επενδυτικό κόστος των Α/Π, ιδίως των υπεράκτιων, είναι αυξημένο

## Περικοπές ανά τεχνολογία ΑΠΕ



- Για τη βέλτιστη ανάπτυξη αποθήκευσης στο σύστημα ανά σενάριο μείγματος ΑΠΕ οι περικοπές ΑΠΕ παραμένουν σε εύλογα επίπεδα
- Διατηρείται η τάση μείωσης των απορρίψεων ΑΠΕ ανά τεχνολογία με τη μείωση των ΦΒ σταθμών του μείγματος ΑΠΕ
- Για το σενάριο βέλτιστης ανάπτυξης του συστήματος (ισόρροπη ανάπτυξη τεχνολογιών ΑΠΕ):
  - Περικοπές ΦΒ ~5,5%
  - Περικοπές χερσαίων Α/Π ~3,7%
  - Περικοπές υπεράκτιων Α/Π ~2,7%

\* Περικοπές ως % διαθέσιμης ενέργειας έργων ΑΠΕ που δέχονται περικοπές

# Βασικές Διαπιστώσεις

---



- ✓ Η μείωση της ισχύος των ΦΒ με ταυτόχρονη ανάπτυξη της εγκατεστημένης ισχύος Α/Π
  - Μειώνει σημαντικά τις περικοπές ΑΠΕ ανά τεχνολογία και συνολικά
    - ❖ οι περικοπές οφείλονται κυρίως στη μεσημβρινή συμφόρηση που προκαλεί ο ταυτοχρονισμός της ΦΒ παραγωγής
  - Οδηγεί σε αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ
  - Περιορίζει το spread τιμής εκκαθάρισης της αγοράς ενέργειας, στηρίζοντας τις τιμές κατά τις μεσημβρινές ώρες και μειώνοντάς τις τις υπόλοιπες
  - Ενισχύει τη μεσοσταθμική τιμή αποζημίωσης των ΦΒ από την αγορά και ελαττώνει την αντίστοιχη τιμή αποζημίωσης για Α/Π
- ✓ Με γνώμονα το συνολικό κόστος συστήματος προκρίνεται η ισόρροπη ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ
  - Ελάχιστο κόστος συστήματος επιτυγχάνεται με την ισορροπημένη ανάπτυξη Α/Π και ΦΒ + αποθηκευτικούς σταθμούς ~11 GWh
  - Αντίθετα, η κυριαρχία της μιας μόνο τεχνολογίας ΑΠΕ (Α/Π ή ΦΒ) έναντι της άλλης, ακόμη κι αν συνδυαστεί με τη βέλτιστη αποθήκευση, οδηγεί σε σημαντική αύξηση του κόστους.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

**gpsarros@mail.ntua.gr**  
**st@power.ece.ntua.gr**

