

# Τεχνικά και Θεσμικά ζητήματα για την διείσδυση των ΑΠΕ στο Ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα

**Γ. Κάραλης,  
Δρ Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ**



# Δομή παρουσίασης

- Εθνικό σχέδιο δράσης – Οριοθέτηση προβλήματος
- Χαρακτηριστικά ελληνικού συστήματος - Υποβρύχιες διασυνδέσεις νησιών Αιγαίου
- Θεσμικά ζητήματα
- Τεχνικά ζητήματα - Υψηλή διείσδυση ΑΠΕ:
  - Προσομοίωση ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος
  - Υπάρχει ανάγκη έργων αντλησιοταμίευσης?
  - Νέες συμβατικές μονάδες είναι αναγκαίες?
- Συζήτηση

# Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ

- Σχεδιασμός των εθνικών σχεδίων Δράσης για τις ΑΠΕ (NREAPs - National Renewable Energy Action Plans),
- Κατατέθηκε αρχές Ιουλίου και καθορίζει το «μονοπάτι» για την επίτευξη των εθνικών στόχων
  - Το μείγμα μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών
  - Ανά τομέα: ηλεκτρισμός, θερμότητα-ψύξη, μεταφορές
  - Χρονική κατανομή ανάπτυξης έργων ΑΠΕ - Ενδιάμεσοι στόχοι
- Υπουργική Απόφαση – διαδικασία αναστολής

# Οι στόχοι

## Εθνικοί δεσμευτικοί στόχοι:

- 20% συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην κάλυψη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 (αντί του 18% που προβλέπει η Οδηγία 28/2009).  
Επιμέρους κατ' ελάχιστον στόχοι μέχρι το 2020:
- 40%, συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
- 20%, συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη,
- 10%, συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές.

# Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ

## Στον ηλεκτρισμό:

- ~10% -> 40%
- ανάπτυξη περίπου 13300MW από ΑΠΕ (από περίπου 4000MW σήμερα), με συμμετοχή όλων των τεχνολογιών: αιολικά 7500 MW και ΦΒ 2200MW
- ΥΑ για κατανομή μεταξύ διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ
  - ΦΒ ειδικού προγράμματος και γεωθερμία δίχως όριο!
  - Δυνητική διαδικασία αναστολής, με κριτήριο την ισχύ των έργων που έχουν υπογράψει σύμβαση πώλησης

	2014	2020
<b>Υδροηλεκτρικά</b>	<b>3700</b>	<b>4650</b>
<i>Μικρά (0-15MW)</i>	<i>300</i>	<i>350</i>
<i>Μεγάλα (&gt;15MW)</i>	<i>3400</i>	<i>4300</i>
<b>Φωτοβολταϊκά</b>	<b>1500</b>	<b>2200</b>
<i>Εγκαταστάσεις από επαγγελματίες αγρότες της περίπτωσης (β) της παρ.6 του άρθ.15 του ν.3851/2010</i>	<i>500</i>	<i>750</i>
<i>Λοιπές Εγκαταστάσεις</i>	<i>1000</i>	<i>1450</i>
<b>Ηλιοθερμικά</b>	<b>120</b>	<b>250</b>
<b>Αιολικά</b> (περιλαμβανομένων θαλασσιών)	<b>4000</b>	<b>7500</b>
<b>Βιομάζα</b>	<b>200</b>	<b>350</b>

# Διείσδυση ΑΠΕ σε ηλεκτρικά συστήματα

- Δανία: συνεισφορά αιολικής ενέργειας >20%,
- Πορτογαλία: 43% συνεισφορά από ΑΠΕ (30% υδροηλεκτρικά και 13% αιολικά),
- επαρχία Schleswig-Holstein - Βόρεια Γερμανία: συνεισφορά αιολικής ενέργειας 31% (συνολική ζήτηση ~13TWh),
- Νησί Gotland της Σουηδίας: Αιολική συνεισφορά 22% (συνολική ζήτηση 900GWh).
- Κρήτη (αυτόνομο δίκτυο): συνεισφορά αιολικών 15,5%!

# Απαίτηση ισορροπίας σε ένα ηλεκτρικό σύστημα

Γενικά σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, απαίτηση ισορροπίας μεταξύ ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής.

$$P_G = D + P_L - P_W$$

$P_G$ : η απαιτούμενη παραγόμενη ισχύς από άλλη πηγή

$D$ : η ζήτηση ισχύος

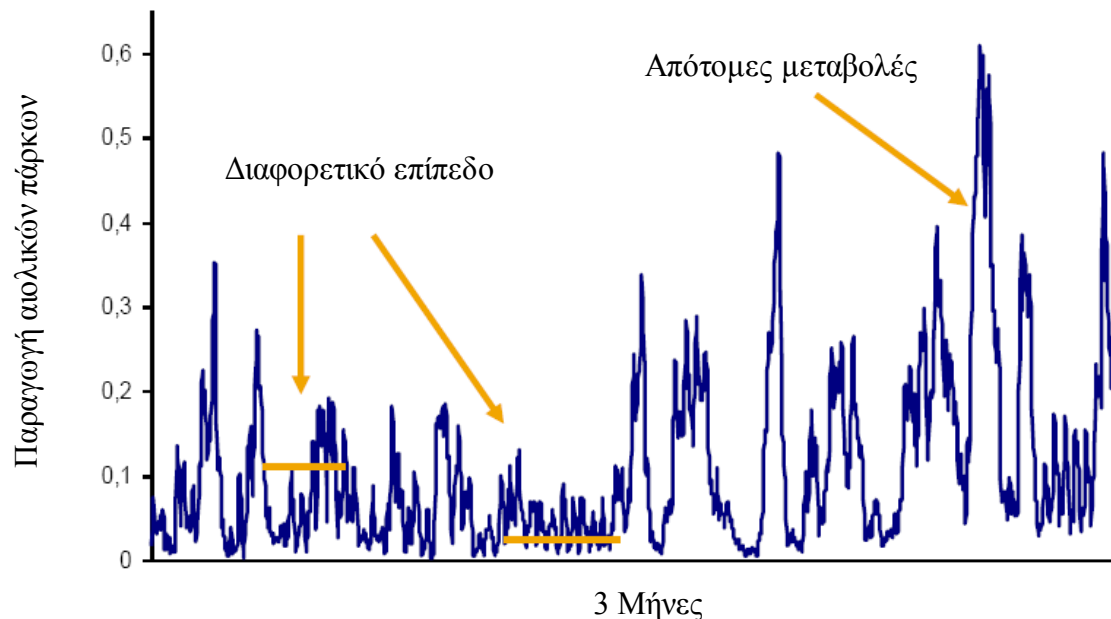
$P_L$ : οι απώλειες λόγω μεταφοράς της ισχύος

$P_W$ : η παραγόμενη ισχύς από αιολικά

**=> Η μεταβλητότητα και η ανάγκη αποθήκευσης δεν είναι κάτι νέο για τα ηλεκτρικά συστήματα**

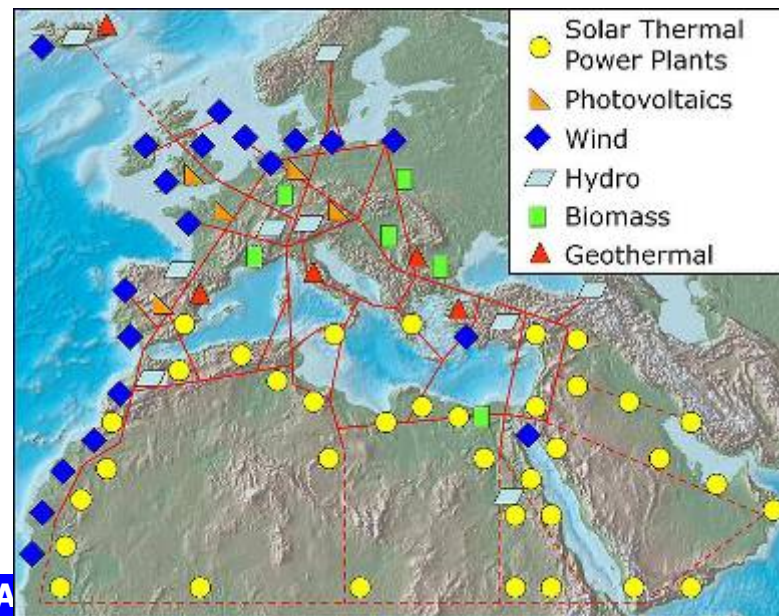
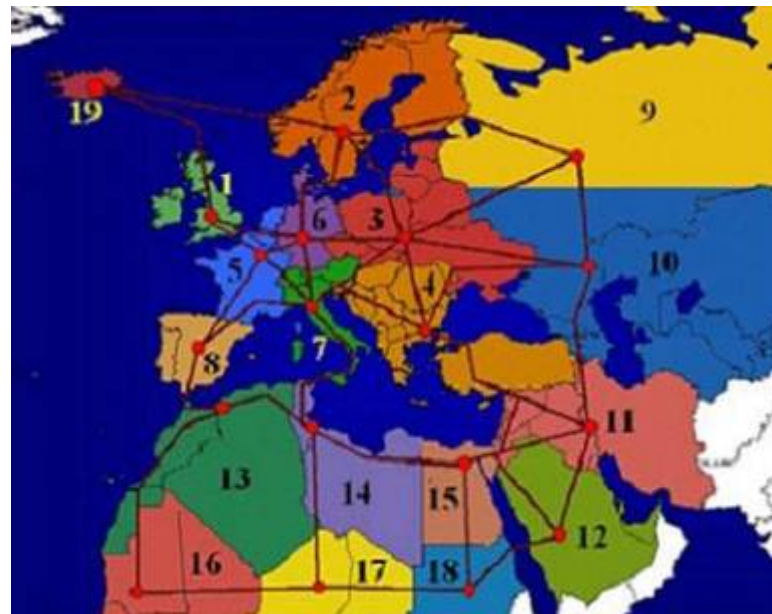
# Η ανάγκη της αποθήκευσης ενέργειας

- Η χρονική διακύμανση του φορτίου είναι σχετικά προβλέψιμη
- Και η αιολική παραγωγή είναι σχετικά προβλέψιμη
- Το πρόβλημα εντοπίζεται σε ώρες χαμηλής ζήτησης.
- Μεταβλητότητα παραγωγής αιολικών πάρκων, ακόμα και αν είναι ικανοποιητικά προβλέψιμη
- Οι μεγάλοι θερμικοί σταθμοί δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από τα τεχνικά τους ελάχιστα, ούτε είναι οικονομικά και τεχνικά δυνατό το «άνοιξε-κλείσε» των μονάδων.



# Το Ελληνικό Σύστημα

- περιορισμένες διασυνδέσεις με την υπόλοιπη Ευρώπη,
- Προοπτικές; Ευρωπαϊκό super grid

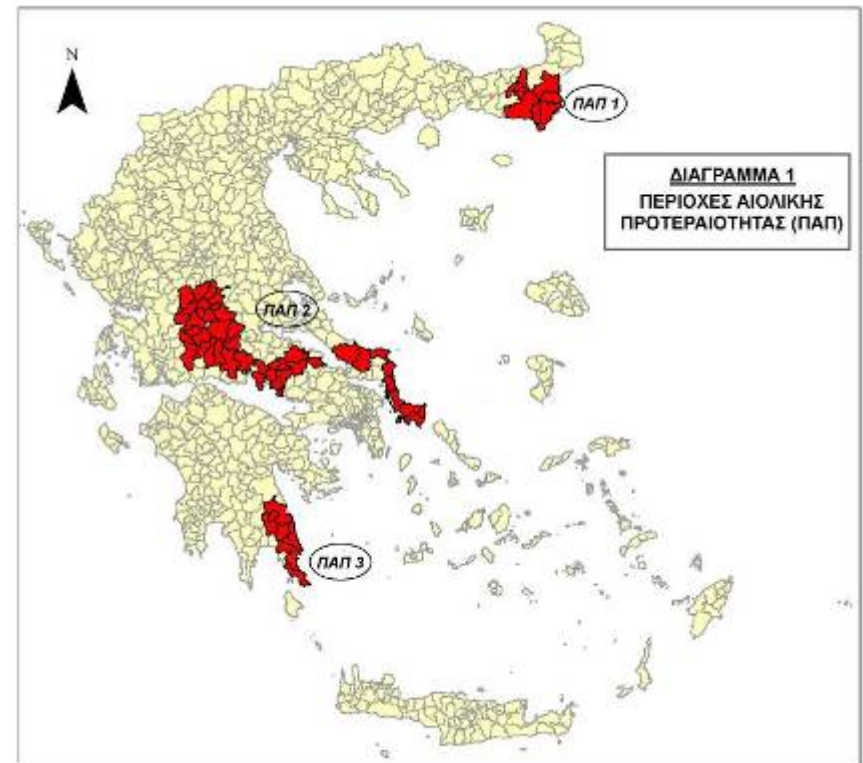
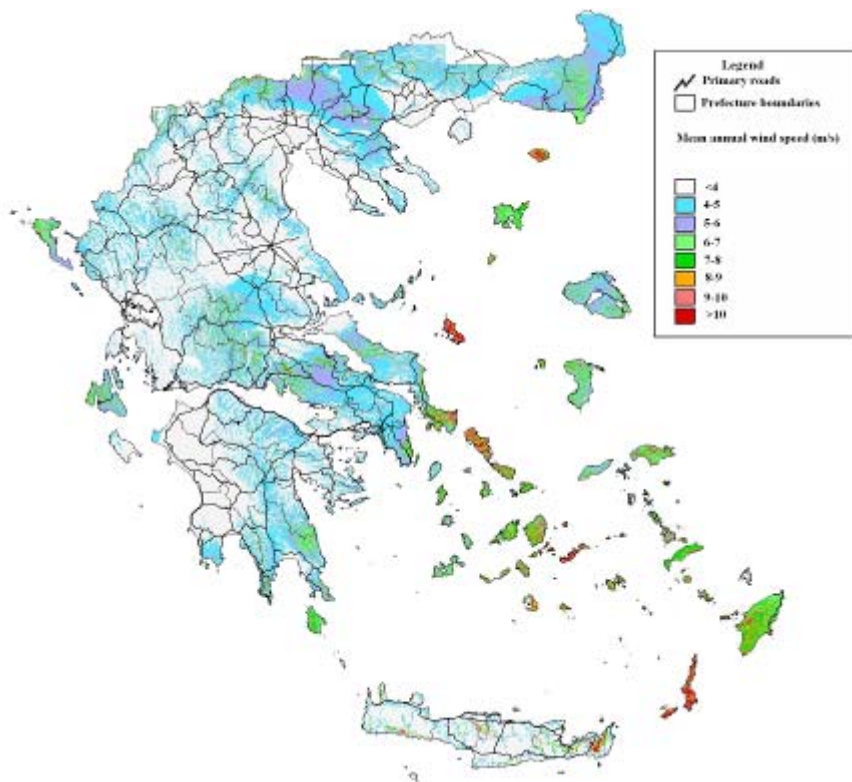


# Το Ελληνικό Σύστημα

- Μεγάλη συμμετοχή από «βαριές» λιγνιτικές μονάδες (τεχνικοί περιορισμοί - χαρακτηριστικά μονάδων)
- Περιορισμένη δυναμικότητα υδροηλεκτρικών μονάδων (3058,5MW) - Μέσο υδραυλικό έτος (5TWh) - κατανομή παραγωγής στις ώρες αιχμής
- Εγκατεστημένη Συμβατική Ισχύς (8175.8MW):
  - 22 Λιγνιτικές (5288MW),
  - 4 Πετρελαϊκές (750MW),
  - 4 Συνδυασμένου Κύκλου (1630MW),
  - 3 Φυσικού Αερίου (507,8MW)
- Το έντονο ανάγλυφο και η ύπαρξη μεγάλων ταμιευτήρων στην ηπειρωτική Ελλάδα, επιτρέπει το σχεδιασμό αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων ή την μετατροπή υφιστάμενων σε αναστρέψιμα

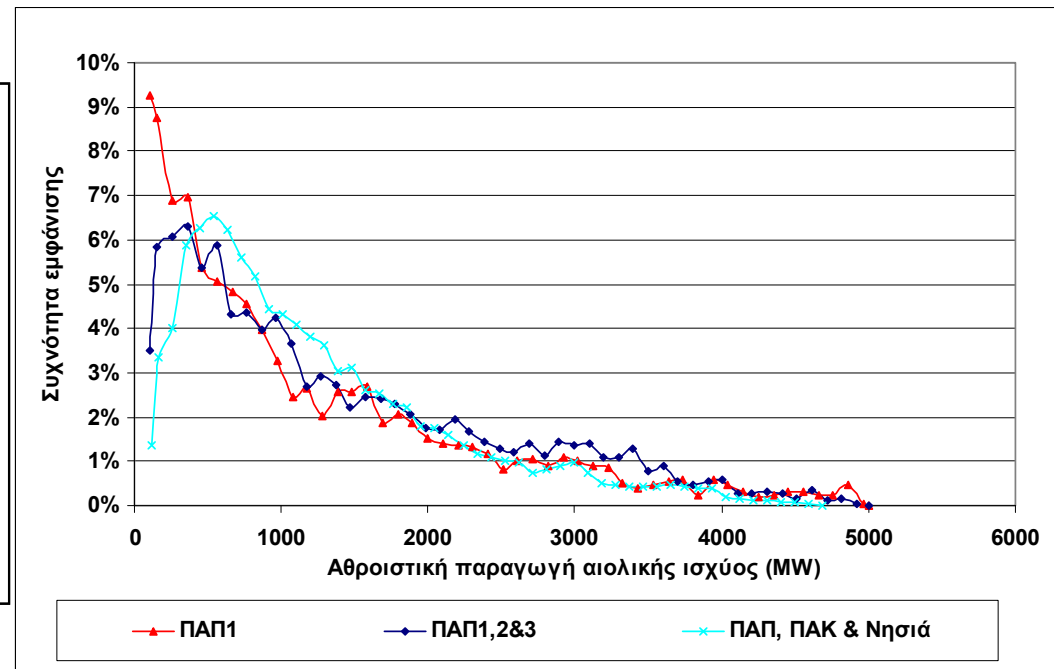
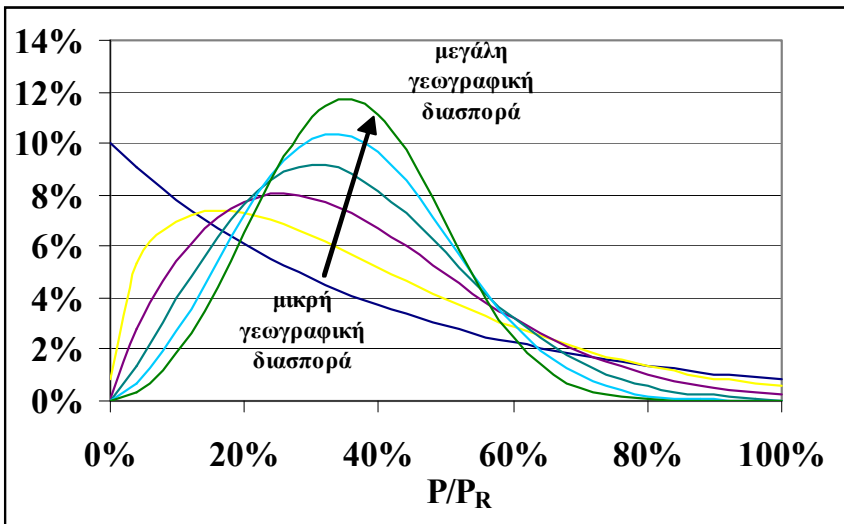
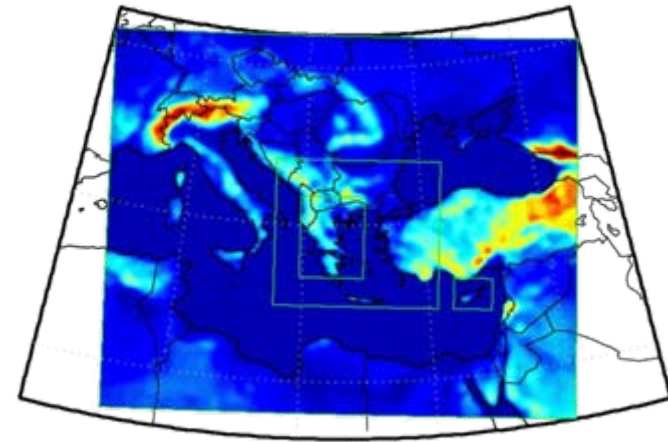
# Ανεμολογικά δεδομένα – Γεωγραφική διασπορά

- Χάρτης αιολικού δυναμικού (ΚΑΠΕ)
- Χωροταξικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ (Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας)

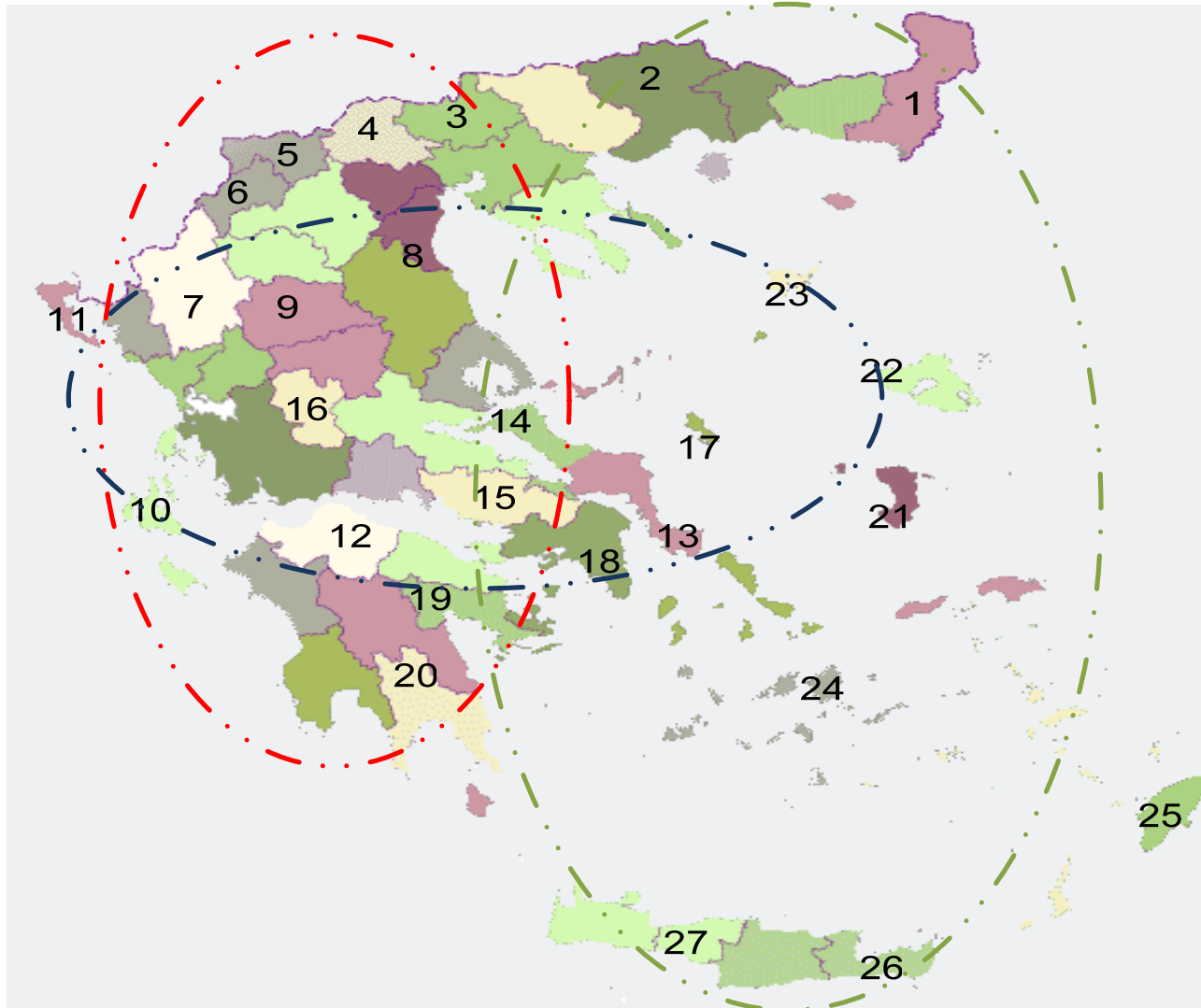


# Ανεμολογικά δεδομένα – Γεωγραφική διασπορά

- *COAMPS* (Naval Research Laboratory των ΗΠΑ), με ιδιαίτερα πυκνό υπολογιστικό πλέγμα, οριζόντιας ανάλυσης 3χλμ, και με συστηματική εφαρμογή στην περιοχή της Ελλάδας
- Σε σενάρια με καλύτερη γεωγραφική διασπορά μειώνονται οι περικοπές αιολικής ενέργειας και βελτιώνεται το capacity credit (εγγυημένη ισχύς)



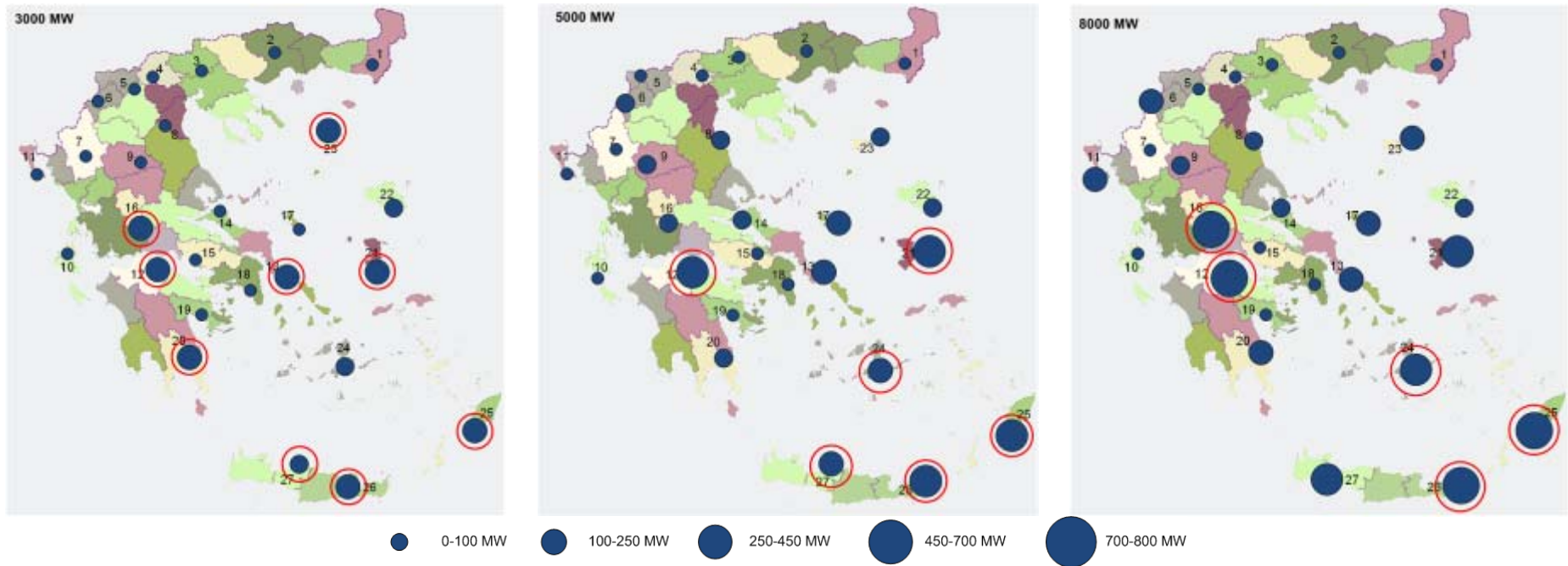
# Ανεμολογικά δεδομένα – Γεωγραφική διασπορά



# Αποτελέσματα εφαρμογής αναζήτησης βέλτιστης γεωγραφικής διασποράς αιολικών με γενετικούς

Με κριτήρια, την μεγιστοποίηση:

- της απορρόφησης αιολικής ισχύος
- του capacity credit (εγγυημένη ισχύς)



○ Περιοχές μεγιστοποίησης της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος

Πηγή: Σ. Δεληκαράογλου «Συμβολή στον σχεδιασμό μεγάλης διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, διπλωματική εργασία, Ιούλιος 2010

# Προμελέτη διασύνδεσης νησιών με το ηπειρωτικό σύστημα

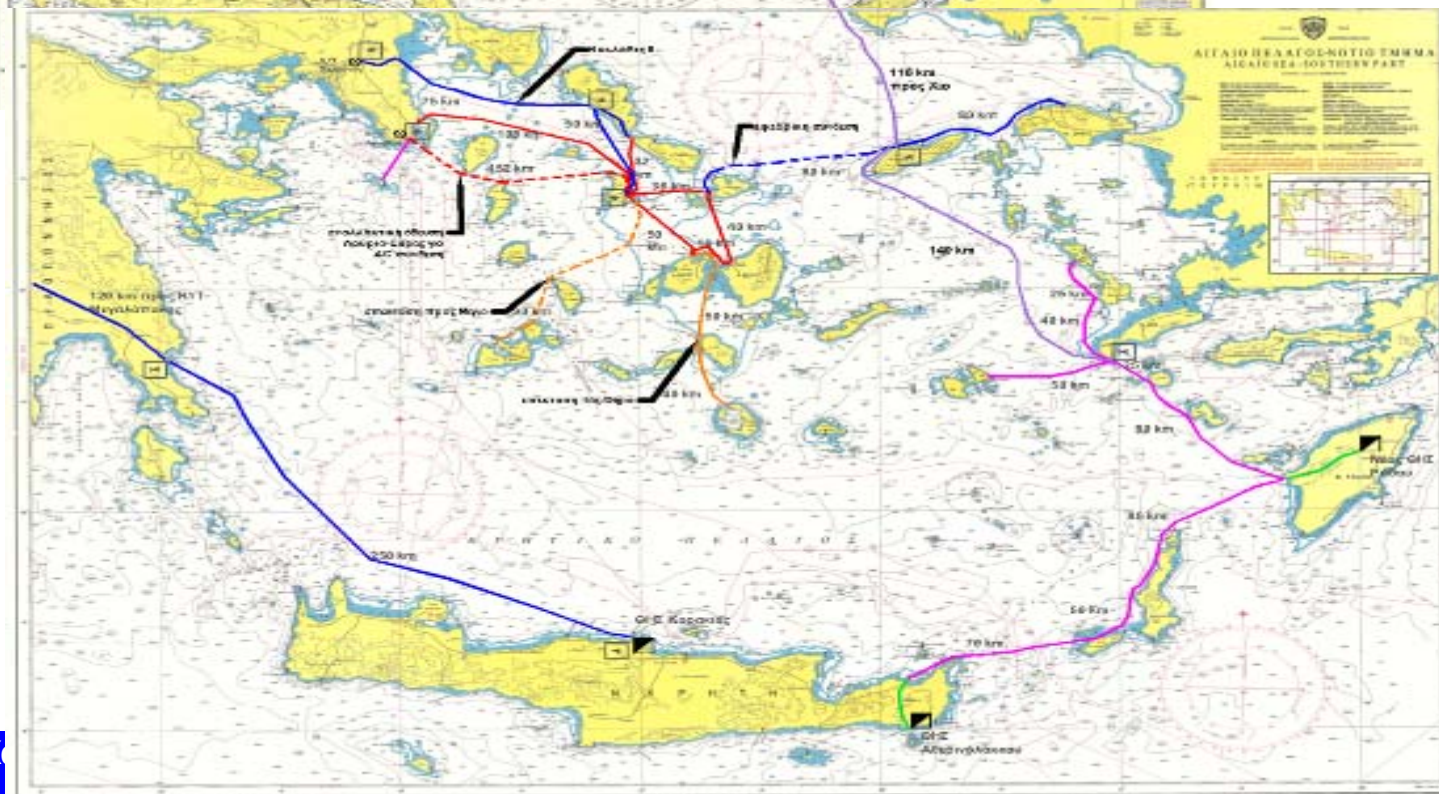
Στόχος η δημιουργία υποδομής για την ελαχιστοποίηση της χρήσης πετρελαίου στα νησιά για την ηλεκτροδότηση τους

Η διασύνδεση των νησιών αποτελεί πάγια πολιτική:

- Υψηλό κόστος τοπικών μονάδων παραγωγής
- Αύξηση της ζήτησης, αλλά και αδυναμία εξεύρεσης νέων θέσεων για τοπικούς συμβατικούς σταθμούς και αντιδράσεις του τοπικού πληθυσμού
- Εκμετάλλευση αιολικού και ηλιακού δυναμικού των νησιών
- Συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία των υποβρύχιων διασυνδέσεων λόγω της ανάπτυξης των θαλασσίων αιολικών πάρκων στην Βόρεια Ευρώπη
- Το δύσκολο εγχείρημα της διασύνδεσης των νησιών γίνεται όλο και περισσότερων τεχνικά και οικονομικά εφικτό

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΝΗΣΙΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

## ΛΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (ΔΕΣΜΗΕ 2010)



# Προμελέτη διασύνδεσης νησιών με το ηπειρωτικό σύστημα

- Τα πρώτα συμπεράσματα, δείχνουν ότι οι Επεκτάσεις του Συστήματος στις Κυκλάδες, στα Δωδεκάνησα, στην Κρήτη, και στα νησιά του Βόρειου και Ανατολικού Αιγαίου είναι οικονομικά και τεχνικά εφικτές και μπορεί να υλοποιηθούν έτσι ώστε να διασυνδεθεί το σύνολο των νησιών, με πολλαπλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη σε εθνικό και τοπικό επίπεδο
- Συνεργασία ΥΠΕΚΑ – ΔΕΣΜΗΕ, ώστε να ενταχθούν άμεσα στη νέα ΜΑΣΜ (Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς) οι διασυνδέσεις των περισσότερων νησιών και της Κρήτης
- Για την υλοποίηση αυτών των έργων, απαιτείται να λυθούν ζητήματα τεχνικά, χρηματοδοτικά, γραφειοκρατικά, ακόμα και ζητήματα κοινωνικής αποδοχής.

## Προσοχή:

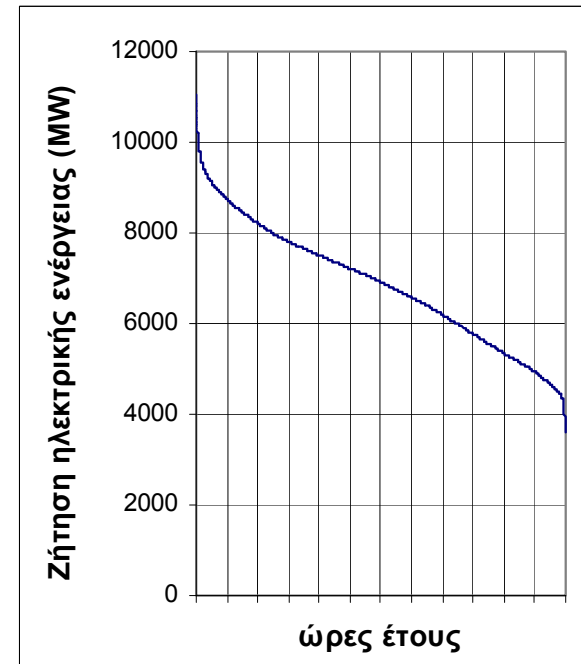
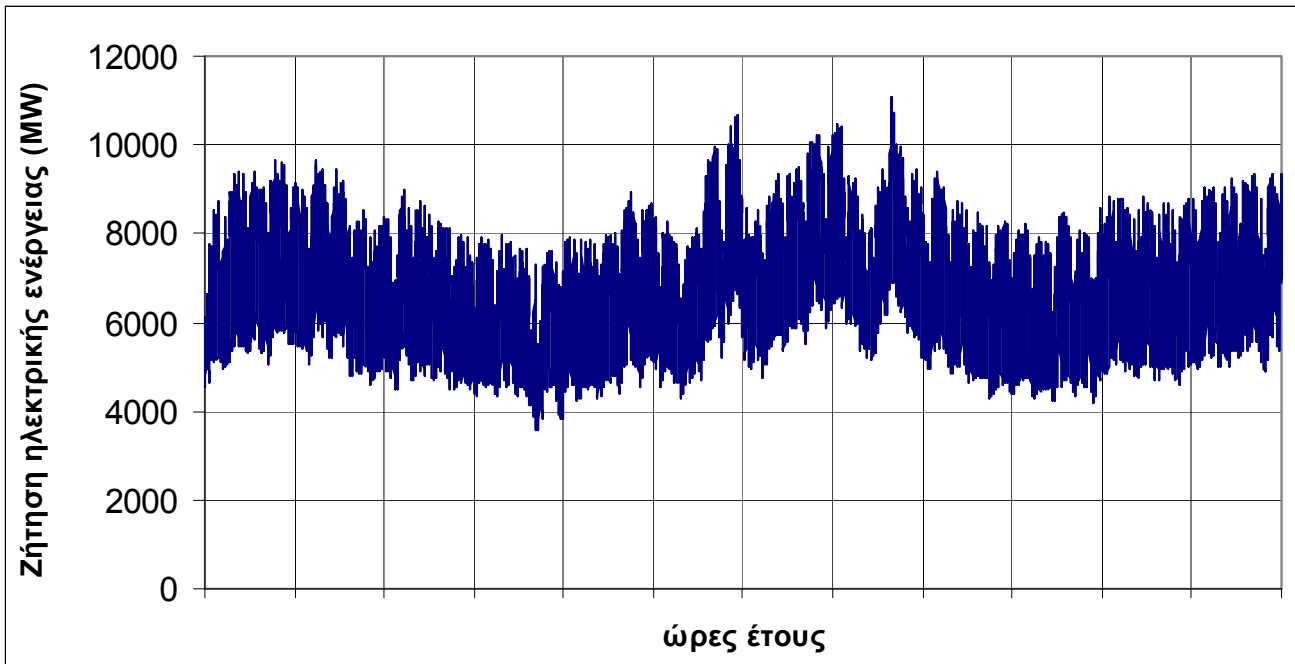
- Χωροταξικά ζητήματα διείσδυσης αιολικής ενέργειας στα νησιά
- Χρηματοδότηση έργων διασύνδεσης

# νόμος 3851/2010

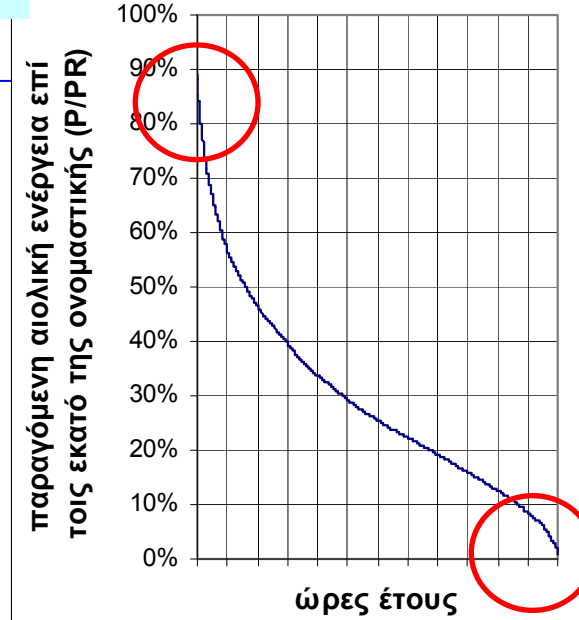
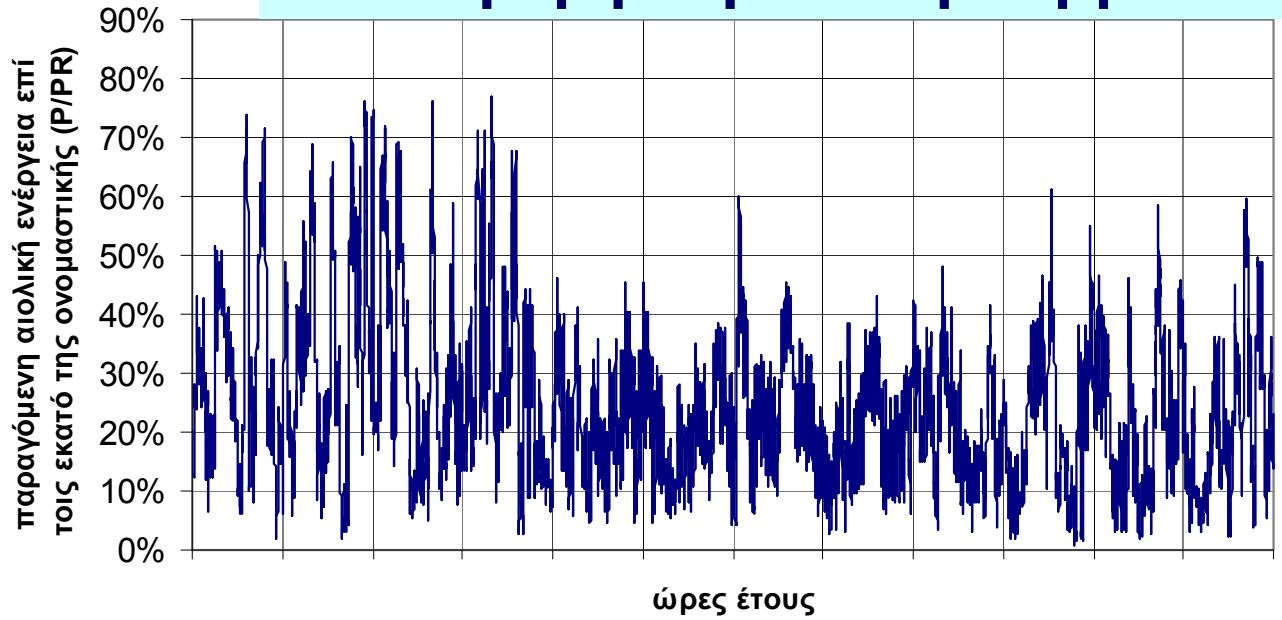
- Καθορίζεται ότι η προστασία του κλίματος μέσω της προώθησης της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ αποτελεί περιβαλλοντική και ενεργειακή προτεραιότητα ύψιστης σημασίας για τη χώρα
- Απλοποιείται η αδειοδοτική διαδικασία (έκδοση της άδειας παραγωγής από την ΡΑΕ, μικρές εγκαταστάσεις ΑΠΕ εξαιρούνται, συγχωνεύονται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση ΠΠΕΑ με την Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων ΕΠΟ)
- Δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την κατασκευή ιδιωτικών δικτύων από παραγωγούς ΑΠΕ, αλλά και διασφαλίζεται η πρόσβαση τρίτων στα έργα σύνδεσης, δυνατότητα κατασκευής δικτύων από τρίτους.
- Δίνεται προσαύξηση 10-25% στην τιμολόγηση για έργα σε νησιά που θα αναλάβουν και την υποβρύχια διασύνδεση (η προσαύξηση είναι ανάλογη της απόστασης και αντιστρόφως ανάλογη της εγκατεστημένης ισχύος)

# Τεχνικά ζητήματα – Προσομοίωση Ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος

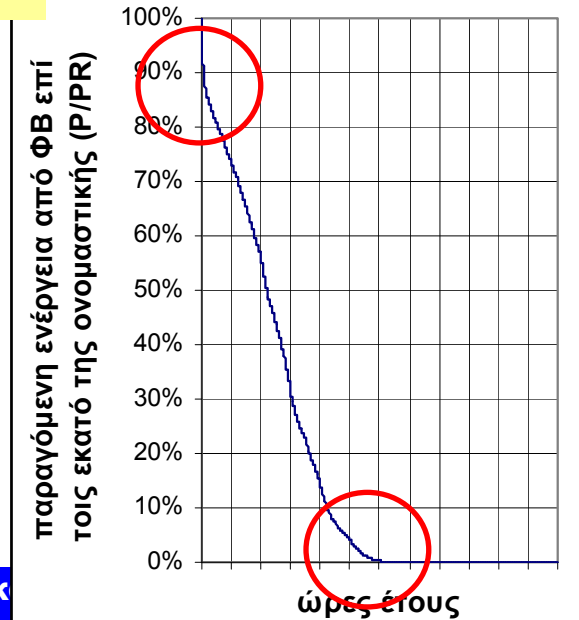
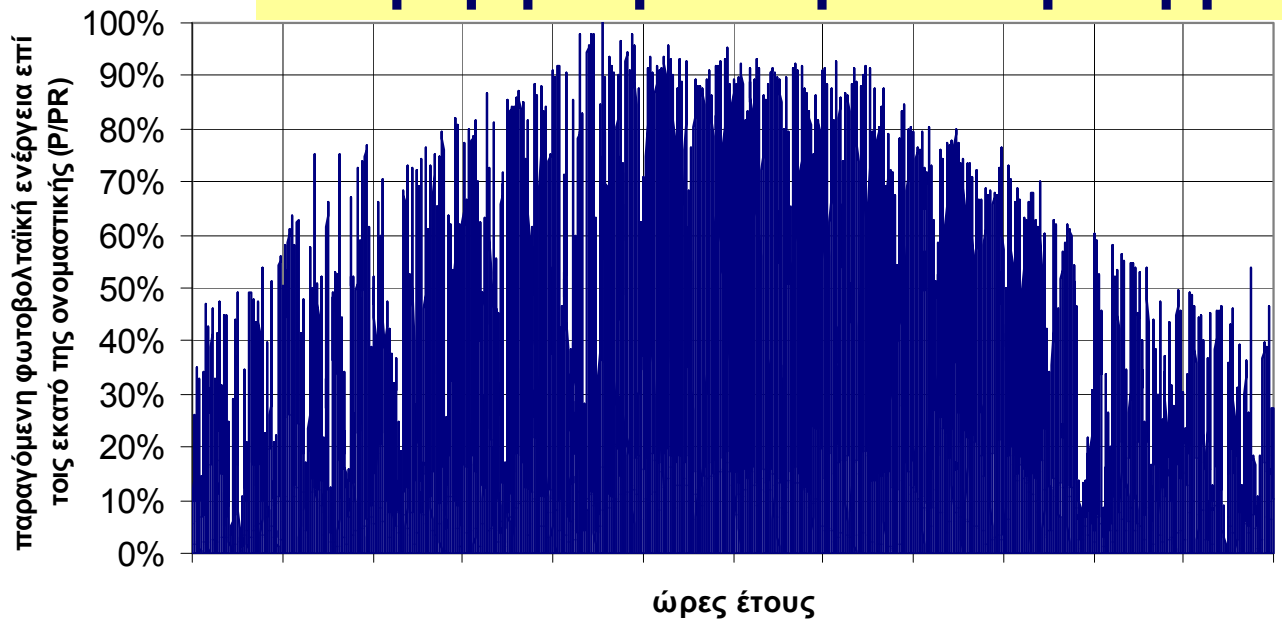
# Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας



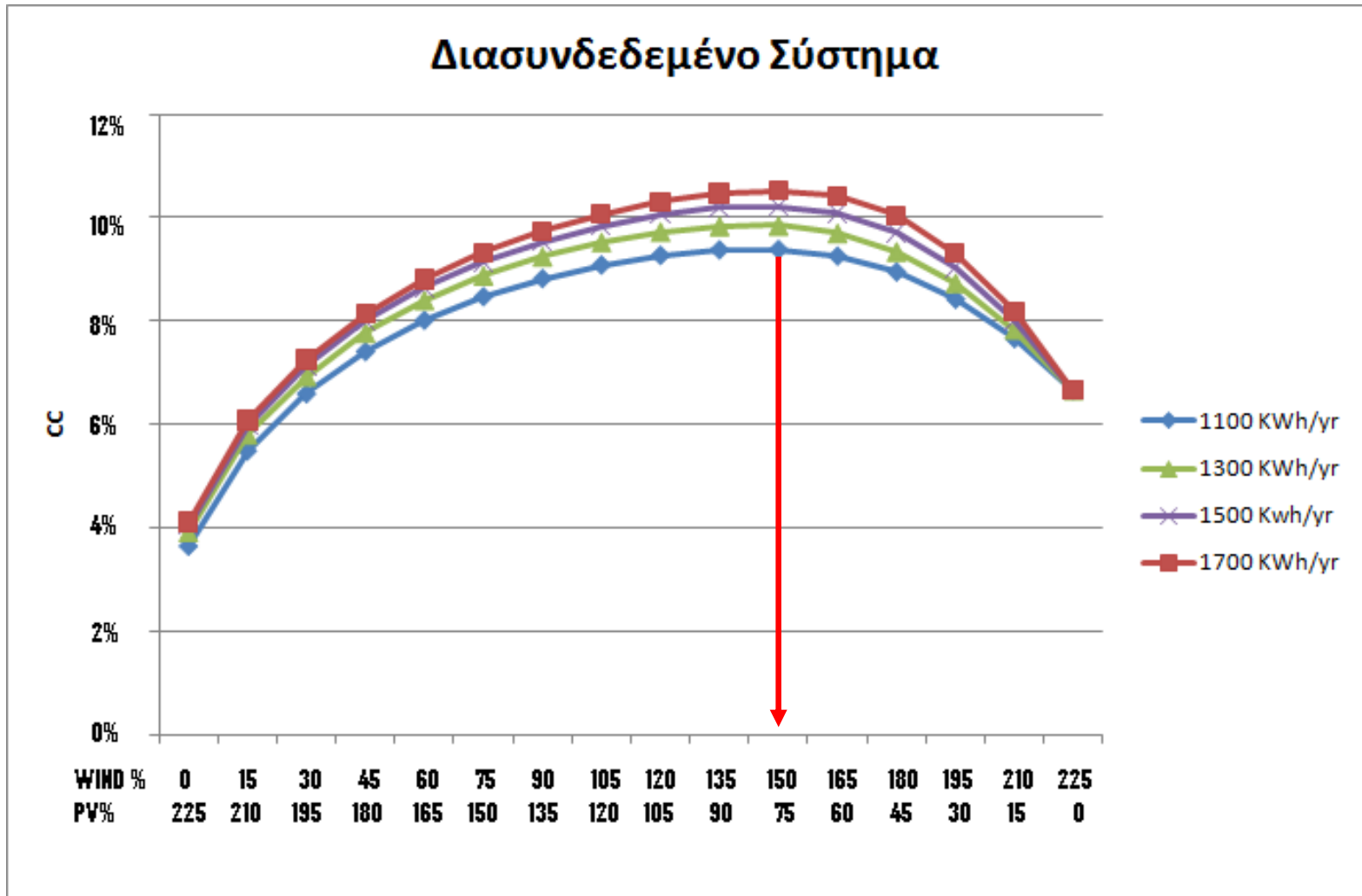
## Παραγόμενη Αιολική ενέργεια



## Παραγόμενη Φωτοβολταϊκή ενέργεια



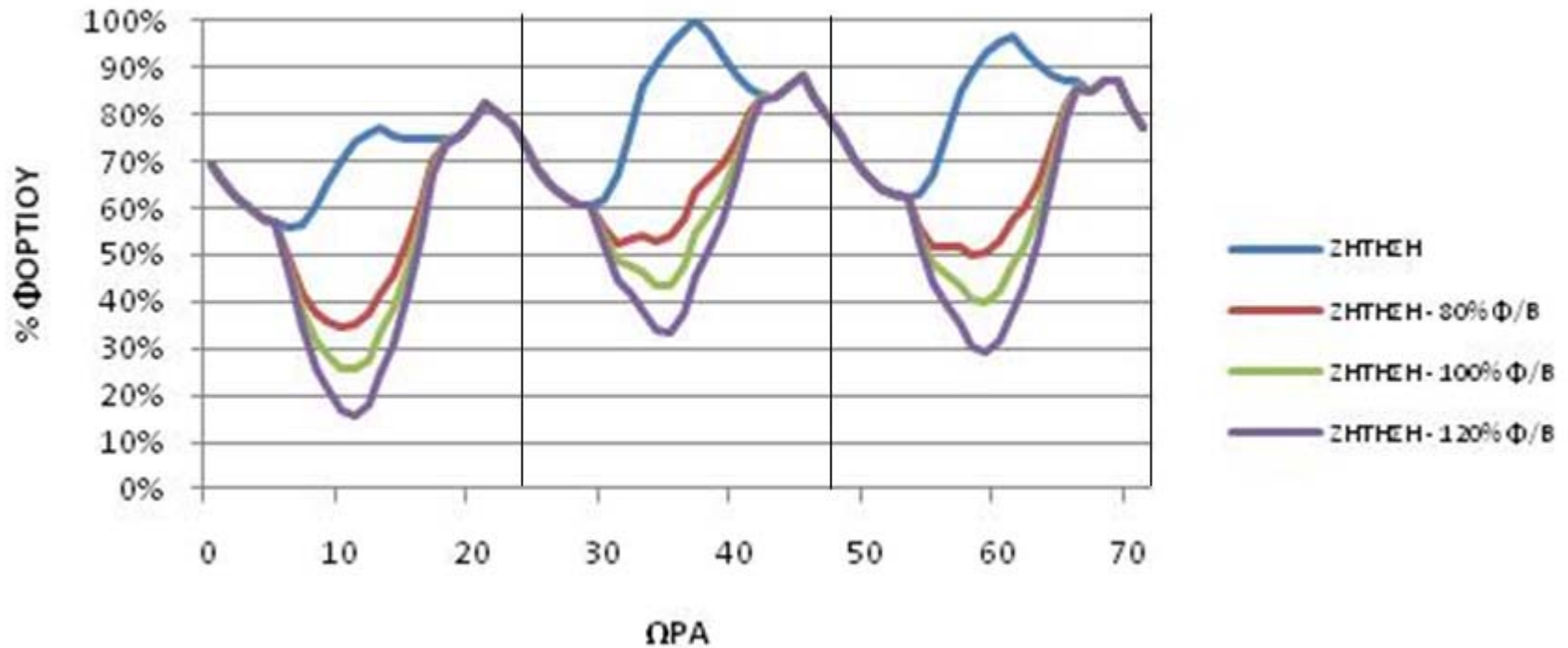
# Σχέση αιολικών – ΦΒ με κριτήριο την μεγιστοποίηση του Capacity credit



Το μέγιστο Capacity Credit (συνεισφορά στην αξιοπιστία του συστήματος) εμφανίζεται για σχέση αιολικών-ΦΒ 2:1 (αγνοώντας κόστος τεχνολογιών και οικονομικές επιπτώσεις)

# Επίδραση παραγωγής ΦΒ σε ημέρες αιχμής

## Διασυνδεδεμένο Σύστημα



# Προσομοίωση ηλεκτρικού συστήματος

3 Σενάρια: αιολικά-ΦΒ: 1000-100 MW (σήμερα)

3000-500 MW

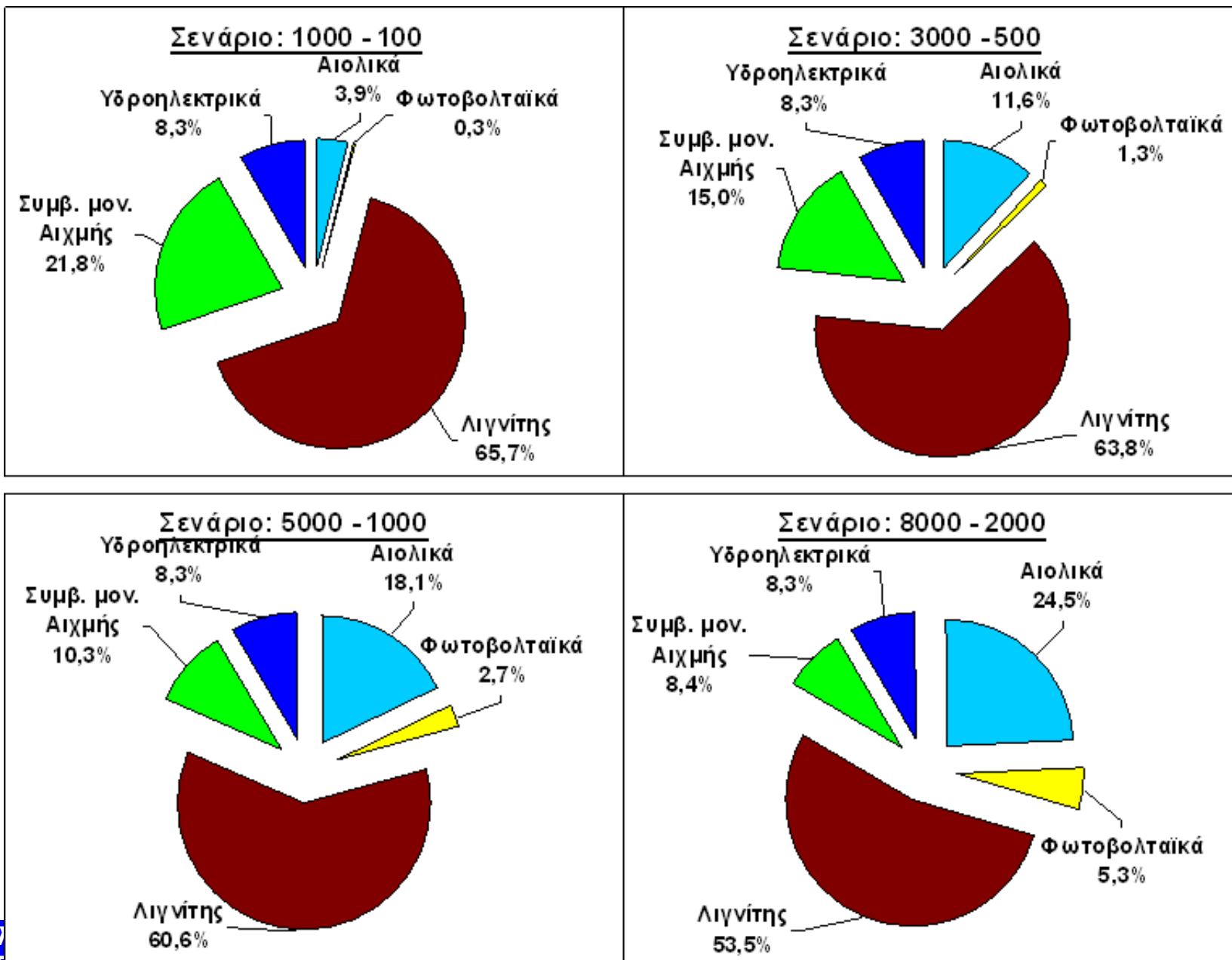
5000-1000 MW

8000-2000MW

Ιδανική προσομοίωση (μη δυναμική - χωρίς απρόοπτα):

- Επιλογή λιγνιτικών με βάση προβλεπόμενη ελάχιστη ζήτηση προσεχών 2 εβδομάδων
- Επιλογή μονάδων αιχμής με βάση την προβλεπόμενη διακύμανση φορτίου και παραγωγής ΑΠΕ
- Περιορισμοί στην απορρόφηση αιολικής ενέργειας λόγω τεχνικών ελαχίστων συμβατικών σταθμών και μέγιστης στιγμιαίας διείσδυσης αιολικών (60% - Κρήτη 30%)

# Προσομοίωση ηλεκτρικού συστήματος (έτος αναφοράς με 60TWh)

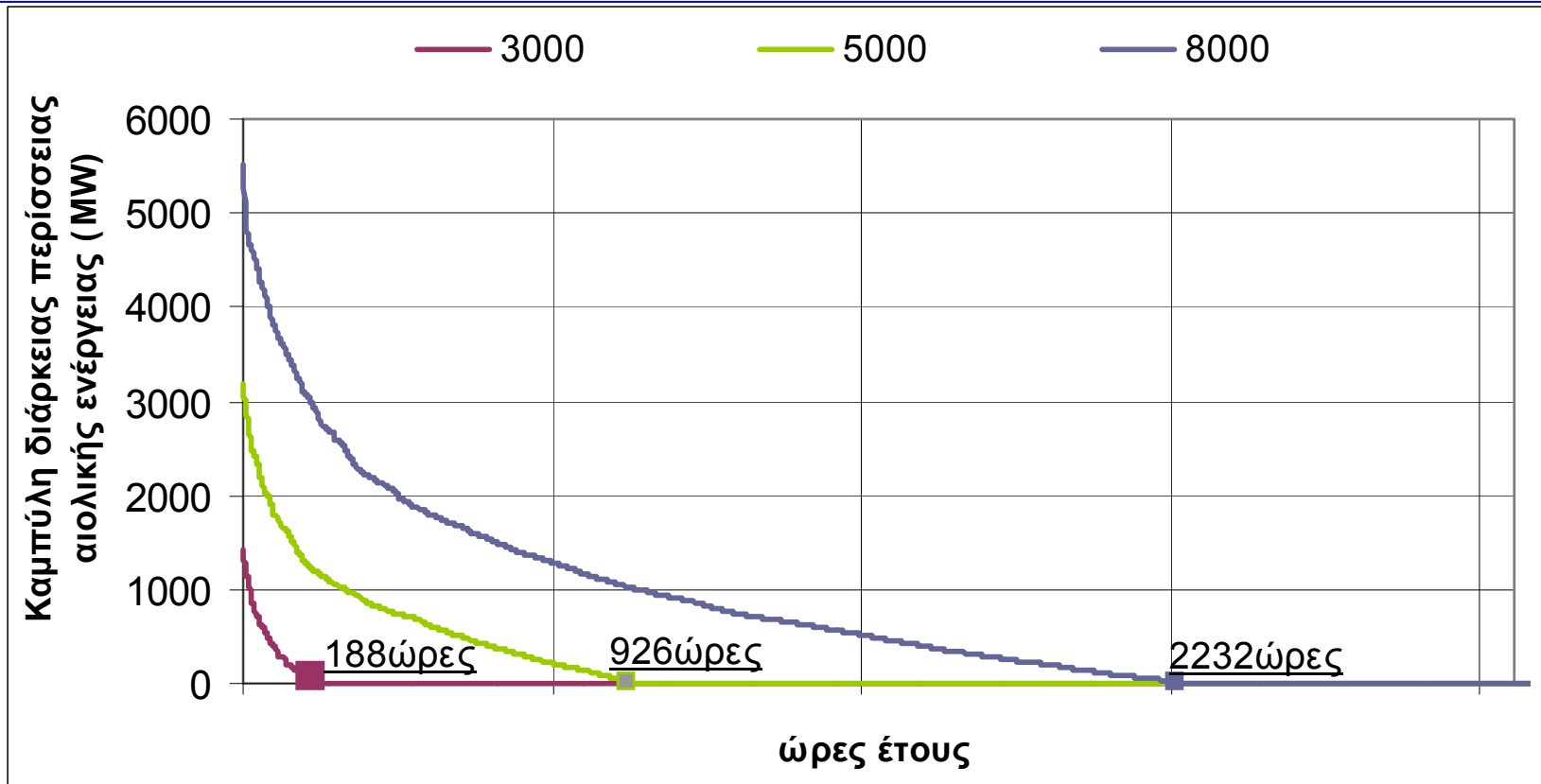


# Προσομοίωση ηλεκτρικού συστήματος (έτος αναφοράς με 60TWh)

## Τάσεις:

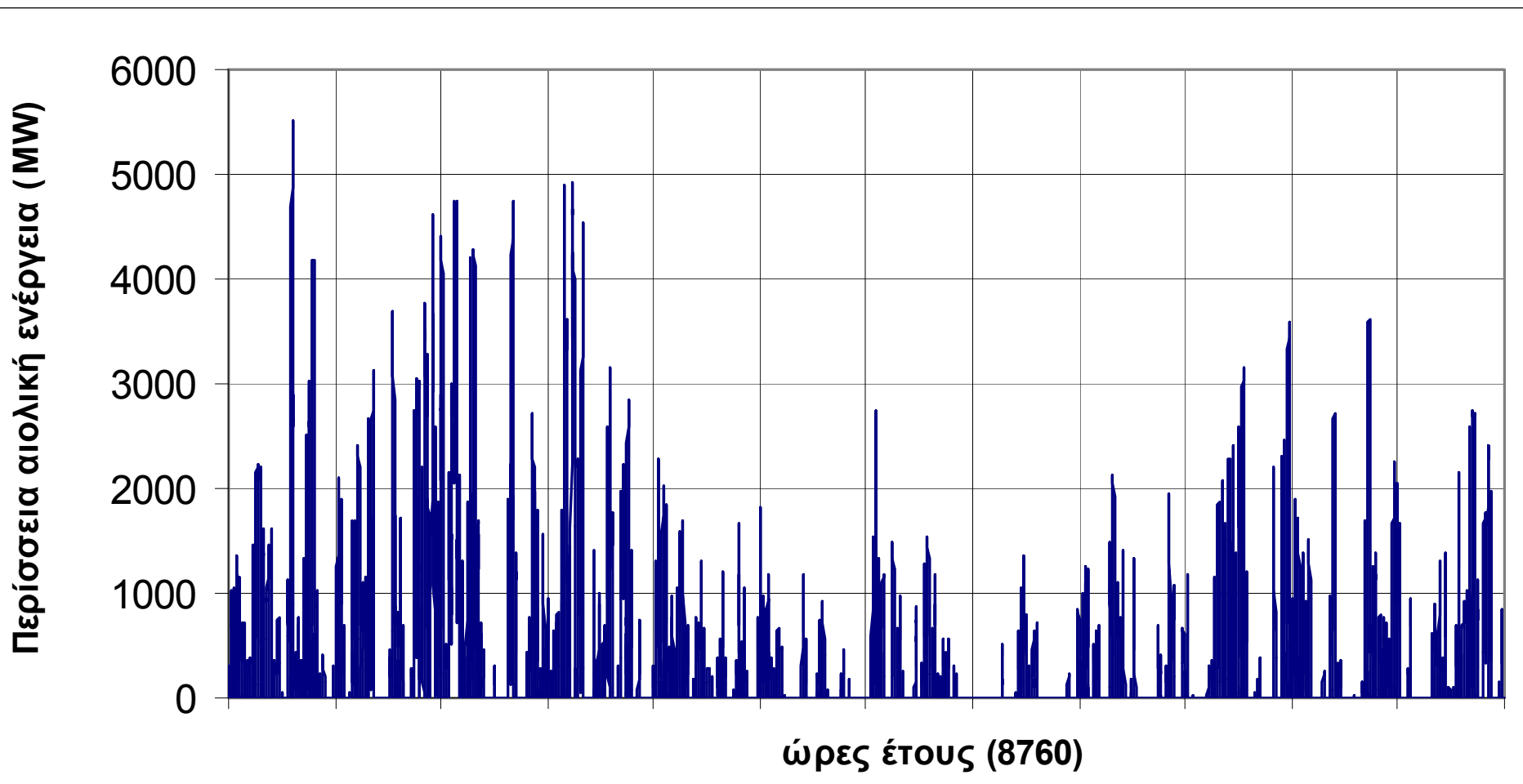
- Στα σενάρια με 3000-500 και 5000-1000, δεν προκύπτει ανάγκη για νέες συμβατικές μονάδες
- Σταδιακή ανάγκη περιορισμού των βαριών λιγνιτικών μονάδων (ερωτηματικό, αν θα συνεχίσουν να είναι οικονομικά ανταγωνιστικές μετά το 2013, και την ενσωμάτωση του κόστους CO<sub>2</sub>)
- Στο σενάριο 8000-2000 απαιτούνται περισσότερες ευέλικτες μονάδες, οι οποίες όμως θα λειτουργούν λιγότερο
- Σημαντική η σχέση κόστους – αξιοπιστίας

# Περίσσεια Αιολική Ενέργεια



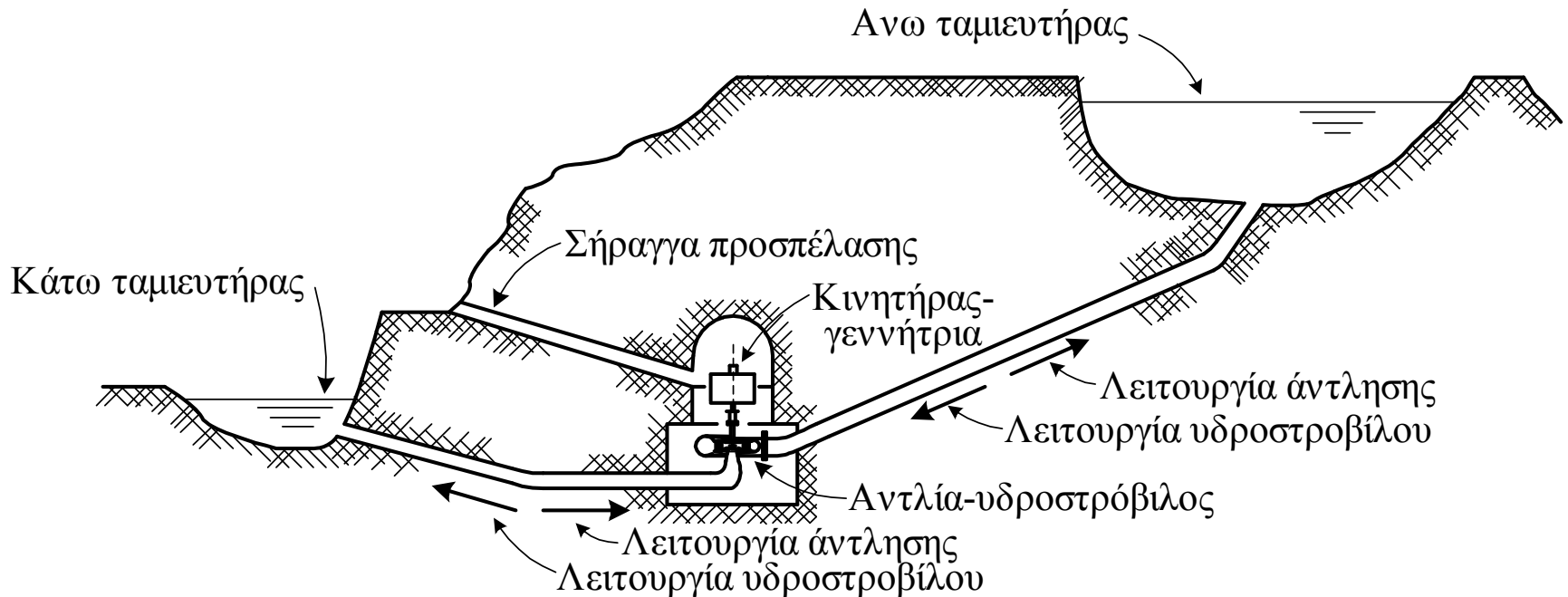
- Σενάριο 3000MW - 500MW (αιολικά – ΦΒ), αντιστοιχεί σε **0,072TWh** περίσσειας ενέργειας ετησίως
- Σενάριο 5000MW - 1000MW, αντιστοιχεί σε **0,69TWh** περίσσειας ενέργειας ετησίως
- Σενάριο 8000MW - 2000MW, αντιστοιχεί σε **2,5TWh** περίσσειας ενέργειας ετησίως

# Περίσσεια αιολική ενέργεια – 8000MW



# Αρχή λειτουργίας συστήματος αντλησιοταμίευσης

- Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα - Ο πλήρης κύκλος περιλαμβάνει:
- άντληση νερού από ένα κάτω ταμιευτήρα σε ένα άνω ταμιευτήρα με υψομετρική διαφορά  $h$  για την φάση της αποθήκευσης ενέργειας (μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια σε υδραυλική) και
  - για την φάση της παραγωγής διακίνηση του νερού από τον πάνω ταμιευτήρα στον κάτω μέσω υδροστροβίλων οπότε η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική.



# Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα και στον κόσμο

- Η πρώτη εφαρμογή μεγάλης κλίμακας αναφέρεται το 1929 στην Γερμανία.
- Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα που λειτουργούν σήμερα σε ολόκληρη την υφήλιο έχουν ισχύ περί τις 140.000 MW από τα οποία:
  - 100.000 MW στην Ευρώπη, Ασία και Λατινική Αμερική
  - 21.000 MW στην Ιαπωνία
  - 19.000 MW στις ΗΠΑ
- Στην Ελλάδα λειτουργούν 2 αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα:
  - της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα (1985) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος  $3 \times 105 = 315$  MW και του
  - του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο (1998) με 3 αναστρέψιμες μονάδες ισχύος  $3 \times 127 = 381$  MW, διαθέσιμη υδραυλική πτώση  $H = 154$  m και ταμιευτήρα χωρητικότητας  $565 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>

## Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα και στον κόσμο

Από τα πλέον πρόσφατα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα είναι αυτό του Goldisthal (Γερμανία, 2002) του οποίου ο πάνω ταμιευτήρας είναι τεχνητή δεξαμενή. Τα κύρια χαρακτηριστικά του έργου είναι:

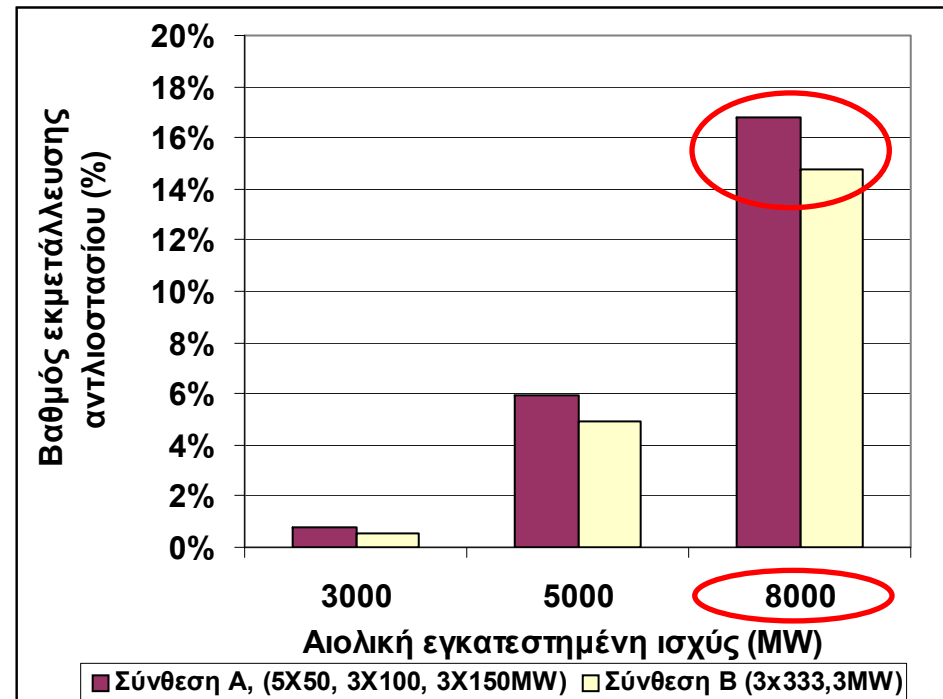
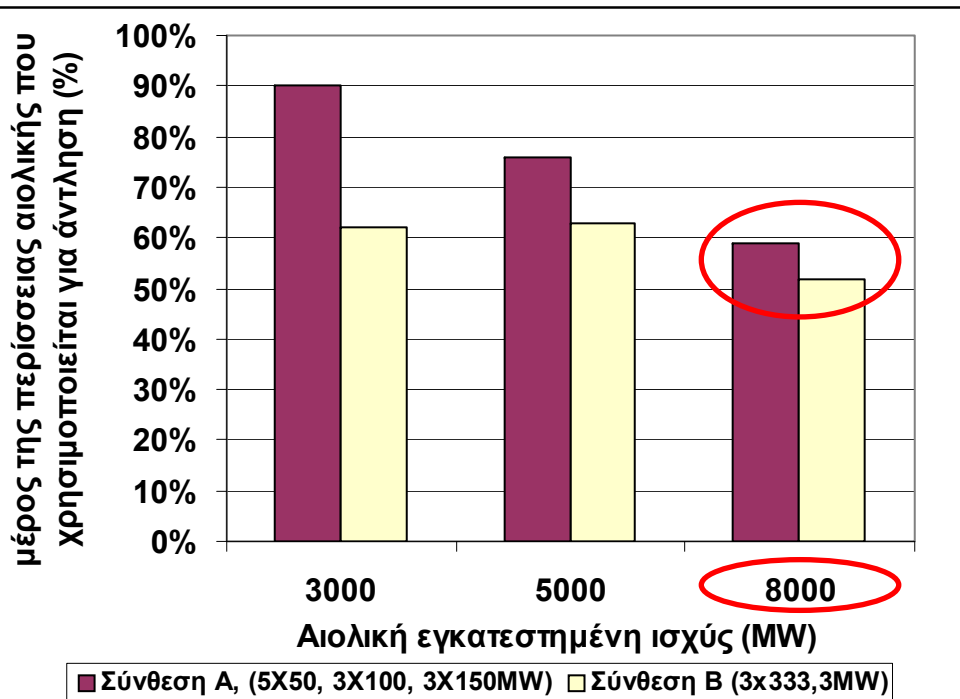
Υψομετρική διαφορά:  $h=302$  m

4 αναστρέψιμες μονάδες ον. ισχύος:  $4 \times 265$  MW = 1060 MW

Χωρητικότητα άνω ταμιευτήρα: 700.000 m<sup>3</sup>



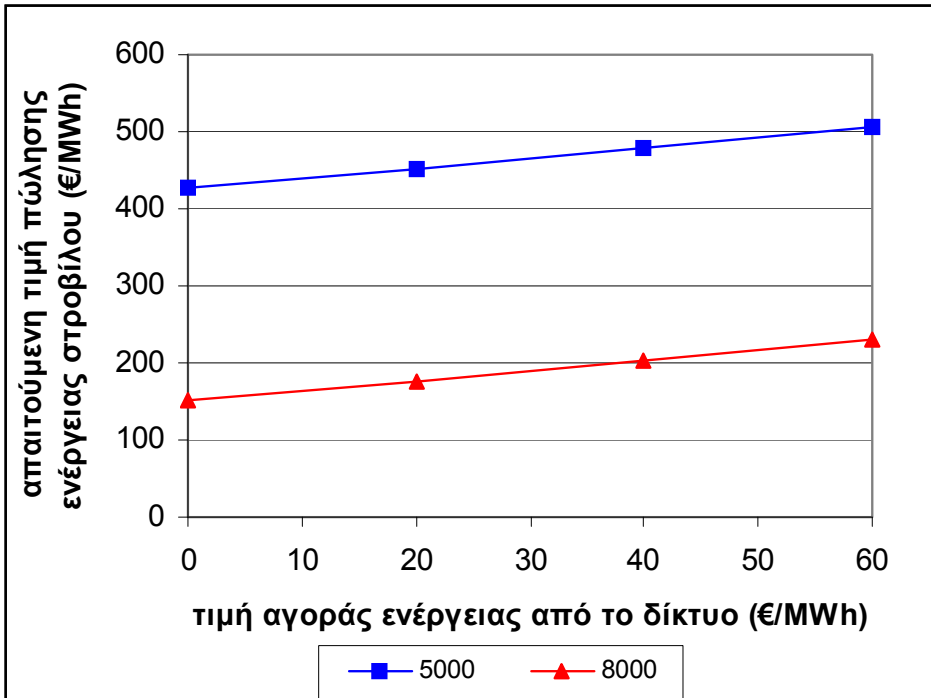
# Αποτελέσματα – Χρειαζόμαστε αντλιοσταμείωση;



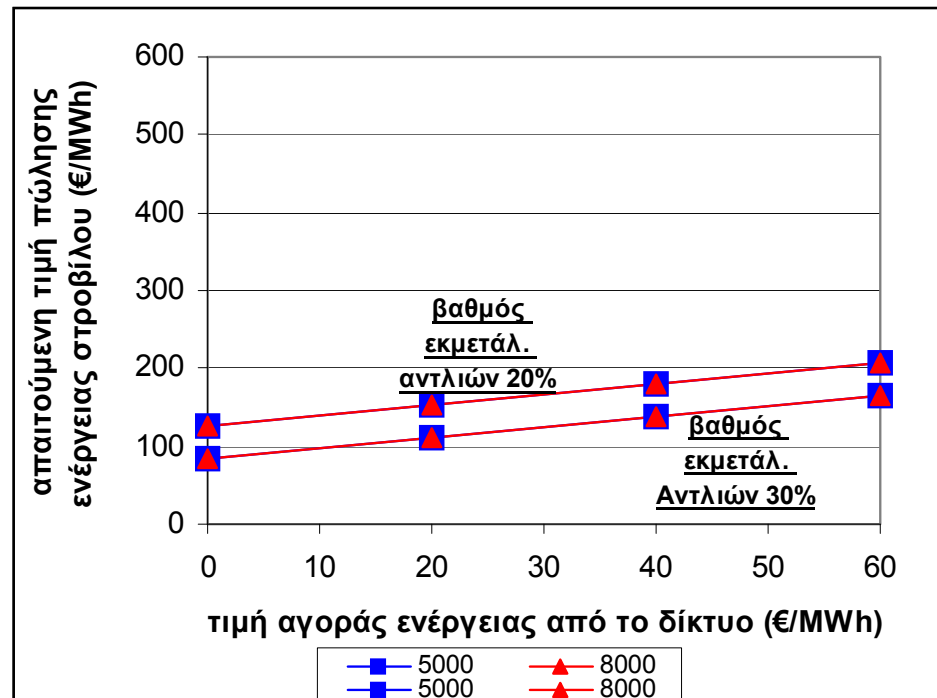
- Αντλιοσταμείωση (1000MW): ίσως στα 5000MW, ναι στα 8000MW
- Απαιτείται ευελιξία στο αντλιοστάσιο (καλύτερα 2-3 μικρά έργα)
- 5000->8000: Απαιτείται άντληση και από λιγνιτικά

# Τιμολόγηση

## Άντληση μονάχα από περίσσεια αιολική



## Άντληση από περίσσεια αιολική και από λιγνίτη



- Ανάγκη καθορισμού τιμολόγησης
- Πρέπει να τιμολογηθούν και οι επικουρικές υπηρεσίες

## Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα

- Η δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων αντλησιοταμίευσης, εξετάζεται σε προκαταρκτική φάση από ομάδα του ΕΜΠ στην οποία συμμετέχει το Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών, χρηματοδοτούμενη από την ΡΑΕ.
- Σκοπός είναι η διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης υφιστάμενων έργων
- Η μετατροπή ενός ΥΗΣ παραγωγής σε αναστρέψιμη μονάδα δεν αποτελεί πρακτική λύση, διότι απαιτεί εκτεταμένα έργα και θέσιμο της μονάδας εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα (ακόμη και σε έργα που βρίσκονται σε σειρά, π.χ: Κρεμαστά-Καστράκι, Καστράκι-Στράτος)
- Πιο απλή η εκμετάλλευση υφιστάμενων ταμιευτήρων, με την κατασκευή πρόσθετου άνω ή κάτω ταμιευτήρα
- **Υπάρχει δυνατότητα κατασκευής αναστρέψιμων έργων αντλησιοταμίευσης (πότε, πού, πώς;)**

# Θέματα προς συζήτηση

- Στρατηγικός σχεδιασμός του Ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος
- Καθορισμός μείγματος
- Διασφάλιση αξιοπιστίας συστήματος
- Σκοπιμότητα νέων ευέλικτων συμβατικών μονάδων
- Τιμολόγηση επικουρικών υπηρεσιών (σήμερα παρέχονται από μονάδες της ΔΕΗ, χωρίς να τιμολογούνται)
- Ανάπτυξη διασυνδέσεων με τις γύρω χώρες, Διαχείριση διασυνδέσεων, απαιτούμενες κανονιστικές ρυθμίσεις
- Αντίστοιχη ανάγκη στρατηγικού σχεδιασμού στα νησιά (π.χ. Κρήτη ή Μυτιλήνη: ΑΠΕ, υβριδικά, γεωθερμία, σχέδια μεγάλης κλίμακας διείσδυση αιολικής ενέργειας, προοπτικές διασύνδεσης, νέος συμβατικός σταθμός)

# Τεχνικά και Θεσμικά ζητήματα για την διείσδυση των ΑΠΕ στο Ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα

Γ. Κάραλης

**Ευχαριστώ για την προσοχή σας**

[gcaralis@mail.ntua.gr](mailto:gcaralis@mail.ntua.gr)