



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Εργαστήριο Βιομηχανικής &  
Ενεργειακής Οικονομίας

4η ΕΒΔΟΜΑΔΑ   
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 22-27/11  
15ο Συνέδριο 22-23/11  
ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
2010

7<sup>η</sup> Συνεδρία: «Οδικός Χάρτης για το 2020:  
Κρίσιμες Επενδύσεις και Τεχνολογίες»

# Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΝΗΣΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Αθήνα,  
23/11/2010

Παρασκευάς Ν. Γεωργίου,  
Γεώργιος Μαυρωτάς & Δανάη Διακουλάκη

# Ενεργειακός Σχεδιασμός

- Μακροχρόνιος ενεργειακός σχεδιασμός του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος για την περίοδο 2009-2020
- Βασικός σκοπός ο προσδιορισμός του μίγματος τεχνολογιών και των πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού προκειμένου να καλυφθεί η μελλοντική ζήτηση και να ικανοποιηθούν οι τιθέμενοι περιορισμοί και στόχοι
- Σκοπός-Πρόκληση η διερεύνηση της εφικτότητας διασύνδεσης των νήσων του Αιγαίου πελάγους με την ηπειρωτική Ελλάδα
- Καθορισμός χαρτοφυλακίου επενδύσεων σε παραγωγικές μονάδες & ηλεκτρικές διασυνδέσεις
- Χάραξη διαδρομής προώθησης των ΑΠΕ
- Πορεία επίτευξης των περιβαλλοντικών στόχων

# Ελληνικός τομέας ηλεκτροπαραγωγής

- Δεν υπάρχει ενιαίο εγχώριο ηλεκτρικό δίκτυο. Υπάρχει το διασυνδεδεμένο (ηπειρωτικό) και τα απομονωμένα δίκτυα των νησιών του Αιγαίου πελάγους
- Έντονη χρήση του ρυπογόνου και χαμηλής ενεργειακής απόδοσης λιγνίτη
- Τα νησιωτικά ηλεκτρικά συστήματα εξαρτώνται πλήρως από το πετρέλαιο
- Μικρή διείσδυση των ΑΠΕ
- Ανομοιόμορφη κατανομή/μικρή διασπορά μονάδων ηλεκτροπαραγωγής
- Ελλιπείς υποδομές δικτύου
- Αντιδράσεις τοπικών κοινωνιών στην εγκατάσταση νέων μονάδων ΑΠΕ
- Χαμηλή οριακή τιμή συστήματος
- Μικρός βαθμός απελευθέρωσης αγοράς ηλεκτρισμού

# Η πρόκληση της ηλεκτρικής διασύνδεσης των νήσων του Αιγαίου πελάγους

- Ενιαία αντιμετώπιση του ηπειρωτικού και των νησιωτικών συστημάτων
- Ένταξη της δυνατότητας ανάπτυξης διασυνδέσεων στον ενεργειακό σχεδιασμό σε στρατηγικό επίπεδο
- Η ηλεκτρική διασύνδεση των ελληνικών νησιών είναι τεχνικά εφικτή
- Είναι οικονομικά βιώσιμη;
- Ποια νησιωτικά συστήματα συμφέρει να διασυνδεθούν;
- Πότε πρέπει να ξεκινήσει η διασύνδεση ανά περίπτωση;
- Ποια πρέπει να είναι η δυναμικότητα κάθε διασύνδεσης;
- Σε ποιο βαθμό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ;
- Προκύπτουν περιβαλλοντικά οφέλη;

# Ενεργειακό Μοντέλο

- Τεχνολογικό ενεργειακό μοντέλο

- Προσέγγιση bottom-up

- Μοντέλο βελτιστοποίησης ΜΑΓΠ

- Υψηλός βαθμός ανάλυσης & μοντελοποίησης:

**168.083** συνεχείς μεταβλητές

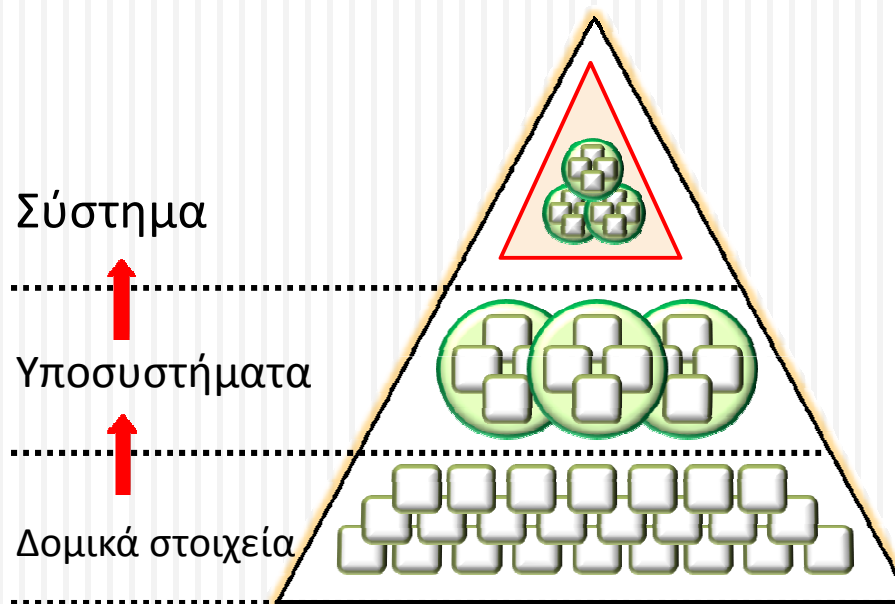
**4.460** διακριτές μεταβλητές

**143.535** μαθηματικές σχέσεις

- Υφίσταται σε δύο εκδοχές:

- ▶ Ως κλασικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής την περίοδο 2009-2020

- ▶ Ως πολυκριτηριακό πρόβλημα, με 2<sup>ο</sup> κριτήριο (αντικειμενική συνάρτηση) τις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> καθόλη την εξεταζόμενη περίοδο



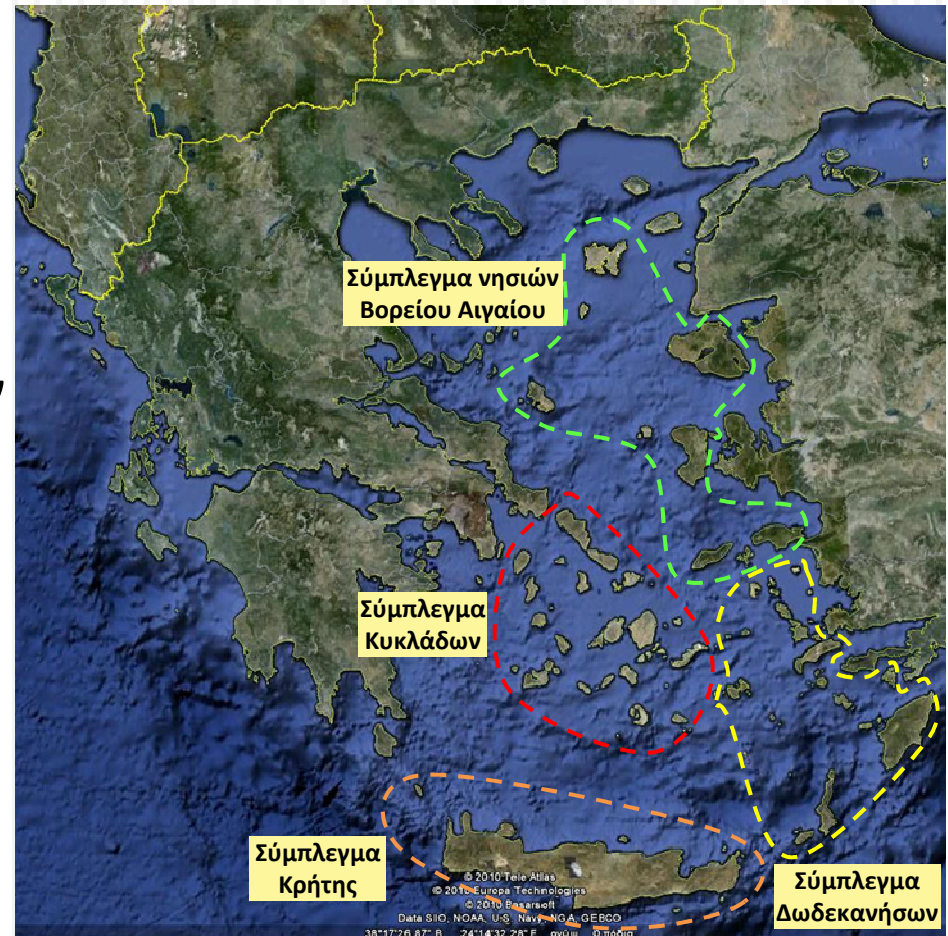
# Ενεργειακό Μοντέλο

- Εντάσσεται σε ένα ολοκληρωμένο & παραμετροποιήσιμο ΠΣΥΑ (LEP<sup>2</sup>SIS<sup>2</sup>)
- Εύχρηστο γραφικό περιβάλλον χρήστη δίχως να απαιτούνται γνώσεις γλωσσών μοντελοποίησης και προγραμματισμού
- Διαλειτουργικότητα: Microsoft Visual Basic – Microsoft Excel (VBA) – GAMS
- Διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων
- Παραγωγή πληθώρας αποτελεσμάτων υπό μορφή πινάκων & γραφημάτων



# Μοντελοποίηση της διασύνδεσης των νησιών του Αιγαίου πελάγους

- Ομαδοποίηση των νησιών ανά γεωγραφική περιοχή
- Δημιουργία 4 ενιαίων νησιωτικών συμπλεγμάτων
- Μοντελοποίηση μέσω 2 συζευγμένων εικονικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής εδραζομένων εκατέρωθεν της εκάστοτε διασύνδεσης
- Δεν επιτρέπεται η ταυτόχρονη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας προς τις 2 κατευθύνσεις στο ίδιο τμήμα ΚΔΦ
- Τα Δωδεκάνησα δε συμμετέχουν ως υποψήφιο σύμπλεγμα για διασύνδεση



# Μοντελοποίηση της διασύνδεσης των νησιών του Αιγαίου πελάγους

- Διασύνδεση μεταξύ κάθε νησιωτικού συμπλέγματος και ηπειρωτικής Ελλάδας με τεχνολογία ΣΡ (συν μετατροπείς ΕΡ/ΣΡ & ΣΡ/ΕΡ κτλπ)
- Υποβρύχια καλώδια μεγέθους: 250, 350 & 500 MW
- Δεν επιτρέπεται η χρήση και ο συνδυασμός ανόμοιων μεγεθών υποβρύχιων καλωδίων
- Εσωτερικές διασυνδέσεις των συστατικών νήσων του συμπλέγματος με καλώδια ΕΡ



# Διαμόρφωση – ορισμός των σεναρίων

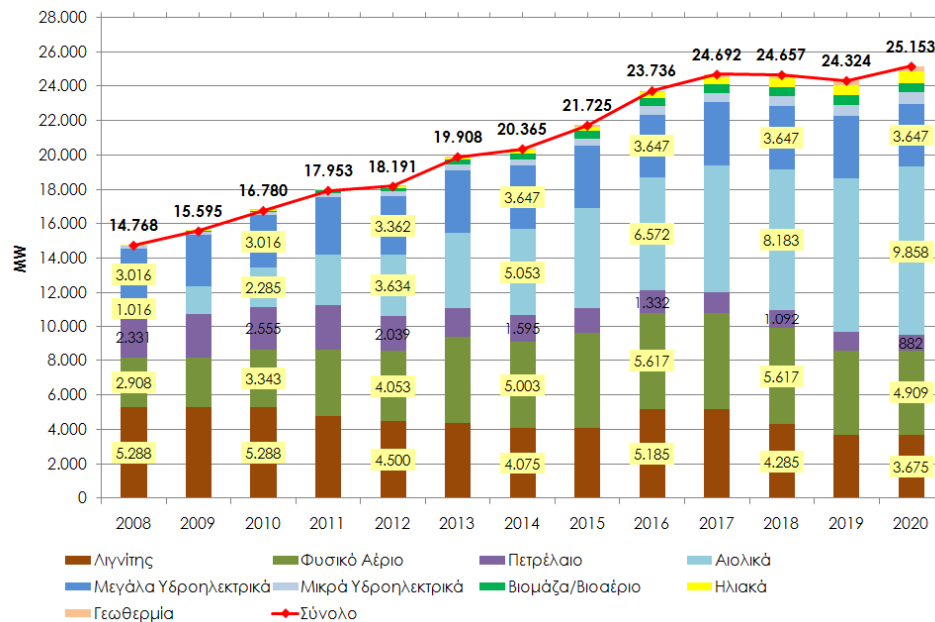
- Δύο βασικά σενάρια: με και χωρίς δυνατότητα διασύνδεσης
- Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και αιχμιακής ισχύος μέχρι το 2020
- Εγχώριο δυναμικό διαφόρων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ και συμβατικών)
- Ενσωμάτωση όλων των εθνικών και διεθνών υποχρεώσεων της χώρας
- Περιβαλλοντικοί περιορισμοί: Πρωτόκολλο του Κιότο, Ανώτατα όρια εκπομπής αέριων ρύπων οξίνισης
- Ευρωπαϊκός στόχος διείσδυσης των ΑΠΕ μέχρι το 2020. Στόχος ΥΠΕΚΑ: 40%
- Ευστάθεια ηλεκτρικού συστήματος λόγω μεγάλης διείσδυσης των αιολικών
- Διακύμανση τιμής αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής ΑΘ: 15 έως 37 €/tn

# Αποτελέσματα

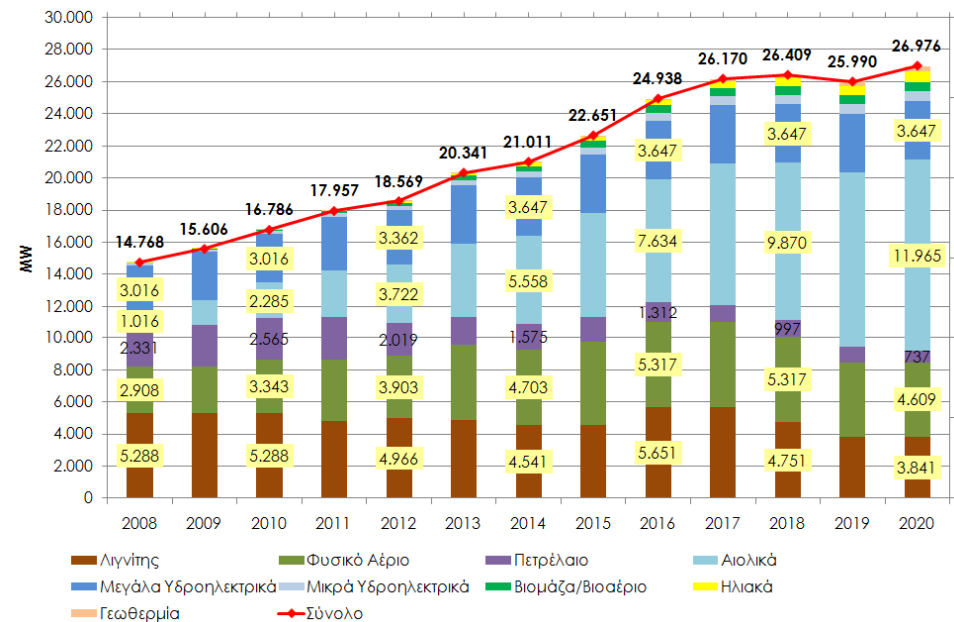
- Σενάριο δίχως διασύνδεση: ΚΠΑ = 40,7 δις €
- Σενάριο με διασύνδεση: ΚΠΑ = 39,5 δις €
- Ανάπτυξη διασυνδέσεων με το ηπειρωτικό σύστημα σε όλα τα υποψήφια νησιωτικά συμπλέγματα
- Νησιωτικό σύμπλεγμα Κρήτης (2012: 500 MW – 2020: 1.000 MW)
- Νησιωτικό σύμπλεγμα Κυκλάδων (2012: 350 MW)
- Νησιωτικό σύμπλεγμα νήσων Βορείου Αιγαίου (2013: 350 MW)

# Συγκριτική εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος σε ολόκληρο τον εγχώριο τομέα

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



## Σενάριο με διασύνδεση

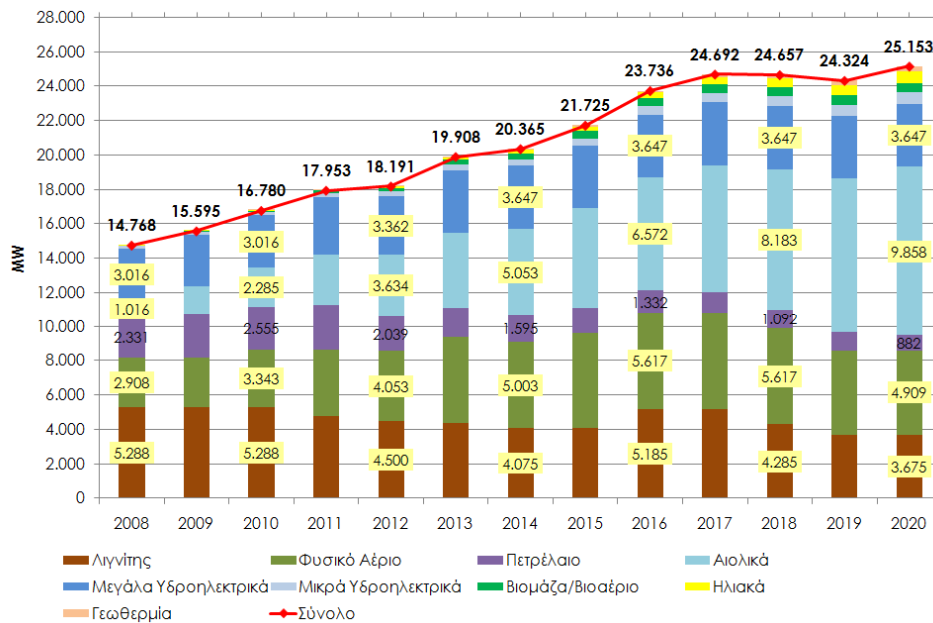


☘ Με διασύνδεση εντάσσονται επιπλέον 2,1 GW αιολικής ισχύος λόγω της αξιοποίησης του υψηλού αιολικού δυναμικού των νησιών

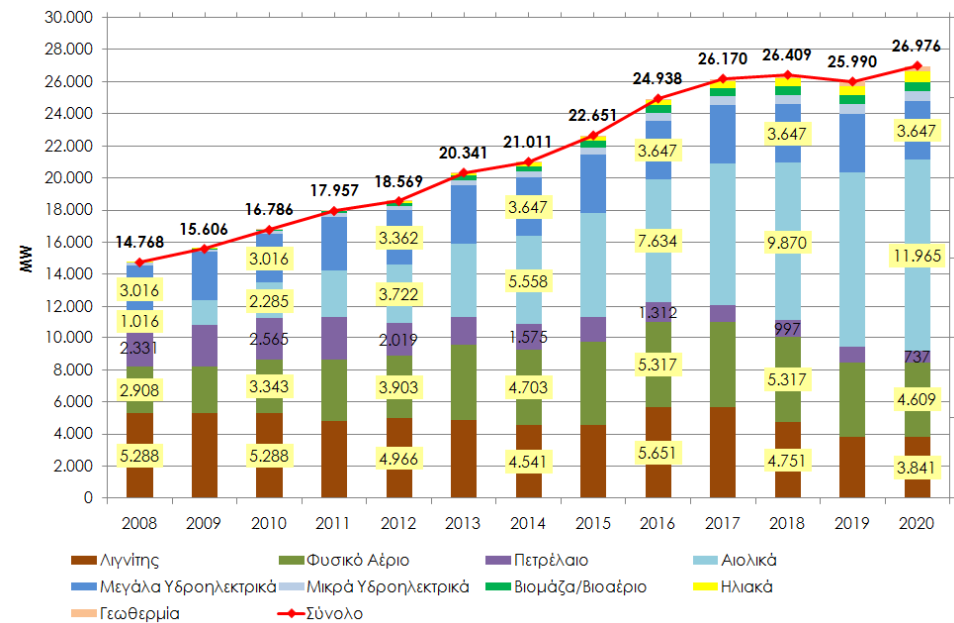
☘ Κρήτη: 1.230 MW (πριν 320 MW) / Κυκλάδες: 667 MW (πριν 84 MW) / Νησιά Βορείου Αιγαίου: 586 MW (πριν 71 MW)

# Συγκριτική εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος σε ολόκληρο τον εγχώριο τομέα

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



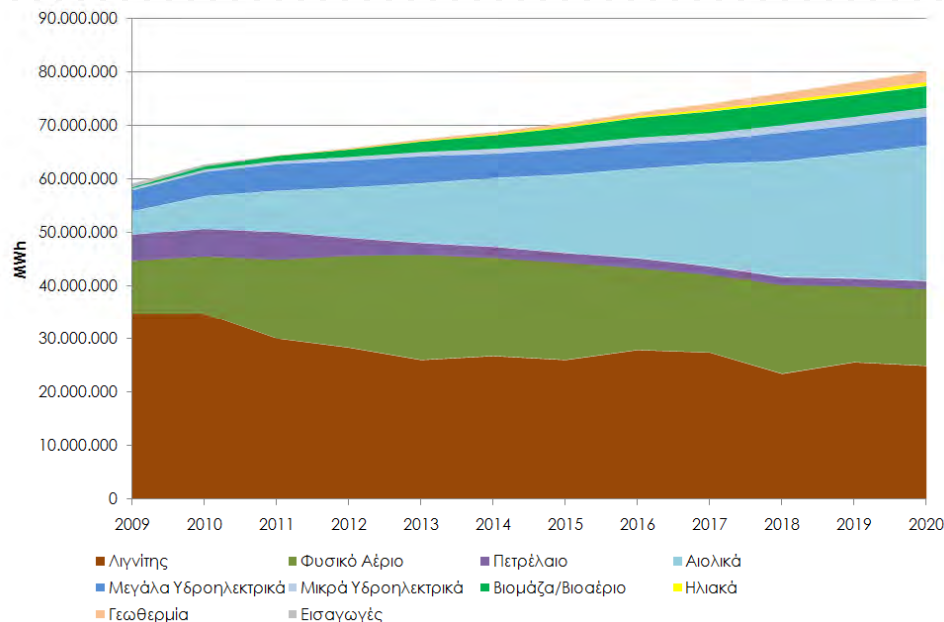
## Σενάριο με διασύνδεση



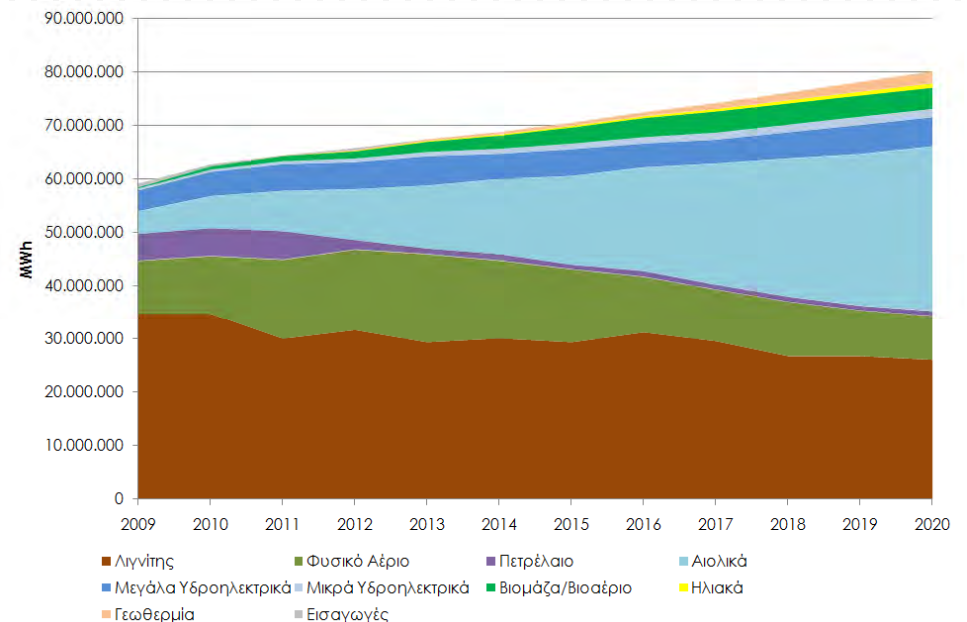
- Αποσύρσεις (προγραμματισμένες + αυτόματες) λιγνιτικών σταθμών: 3 GW
- Συγκρατημένη ένταξη μονάδων φυσικού αερίου. Πτώση ισχύος το 2018
- Ικανοποιητική διεύθυνση της υδροηλεκτρικής ενέργειας και της γεωθερμίας
- Πολύ χαμηλή διεύθυνση των φωτοβολταϊκών πάρκων (700 MW)

# Συγκριτική εξέλιξη μίγματος ηλεκτρο- παραγωγής σε ολόκληρο τον εγχώριο τομέα

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



## Σενάριο με διασύνδεση

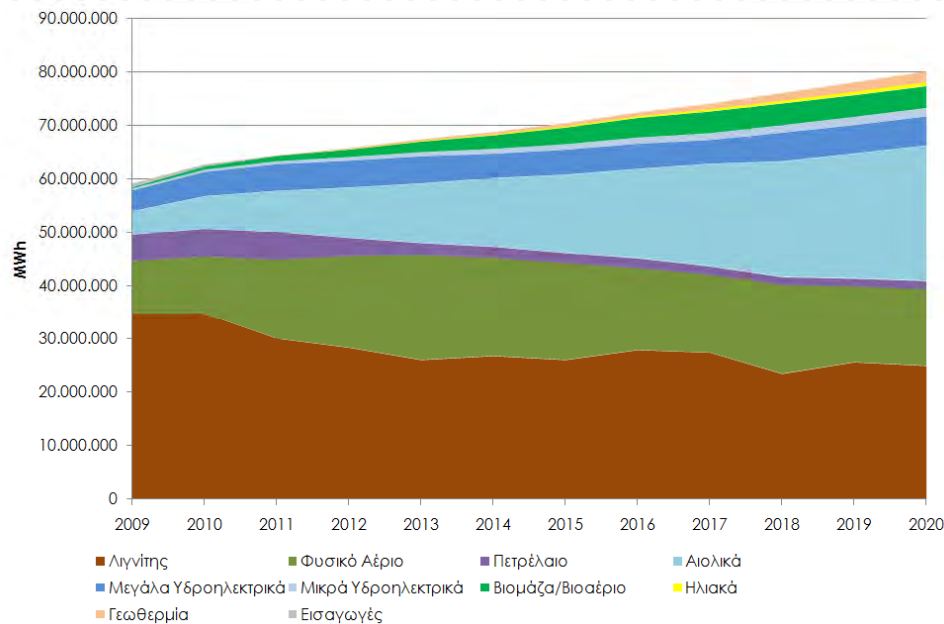


• Η αιολική παραγωγή φθάνει τις 30 TWh το 2020 μετά τη διασύνδεση, αυξημένη κατά 5 TWh

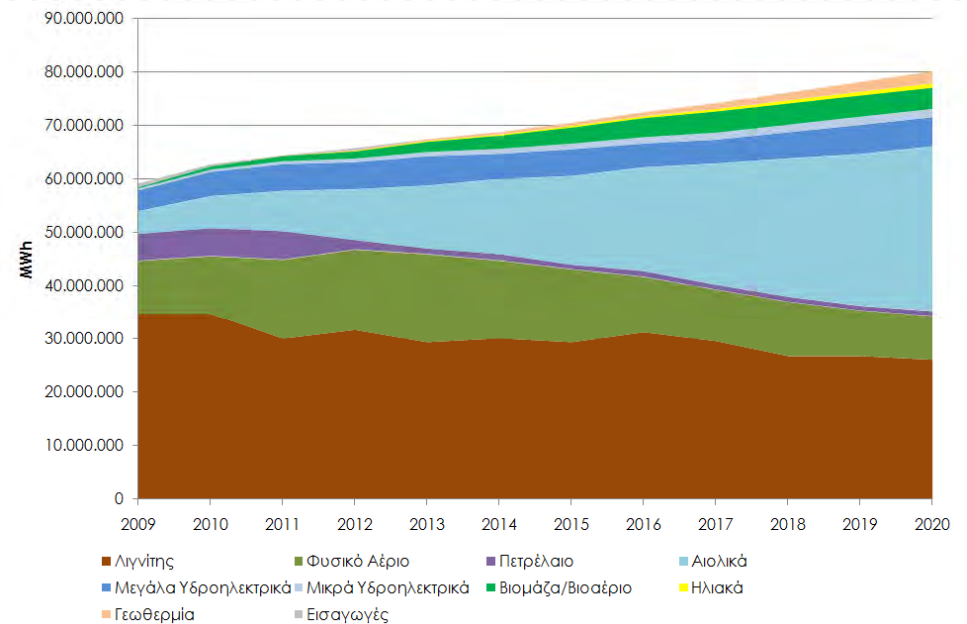
• Οι υπόλοιπες ΑΠΕ παράγουν σχεδόν τις ίδιες ποσότητες ακολουθώντας παρόμοια πορεία (το 2020: υδροηλεκτρικοί σταθμοί 7 TWh, βιοαέριο 4 TWh, γεωθερμία 2,2 TWh, φωτοβολταϊκά < 1 TWh)

# Συγκριτική εξέλιξη μίγματος ηλεκτρο- παραγωγής σε ολόκληρο τον εγχώριο τομέα

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



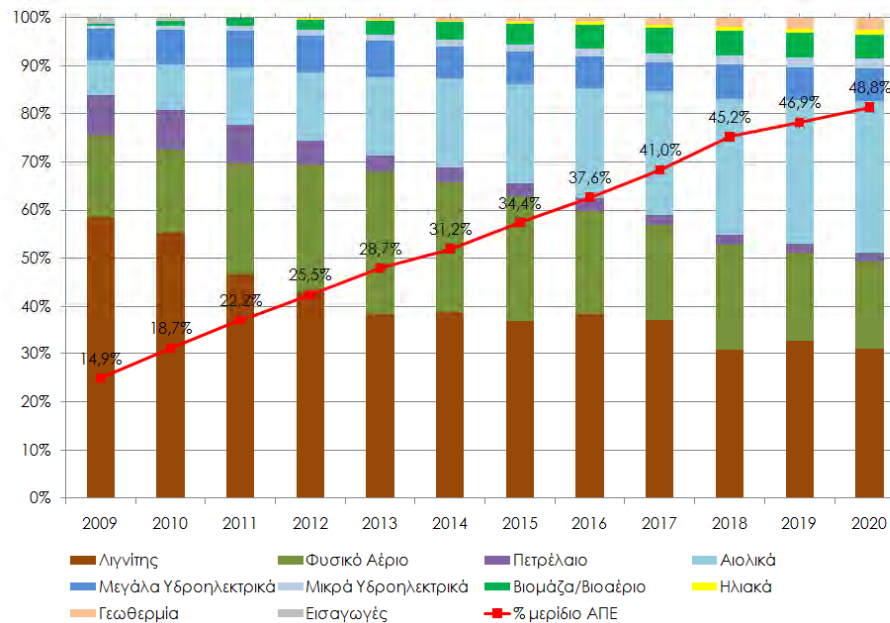
## Σενάριο με διασύνδεση



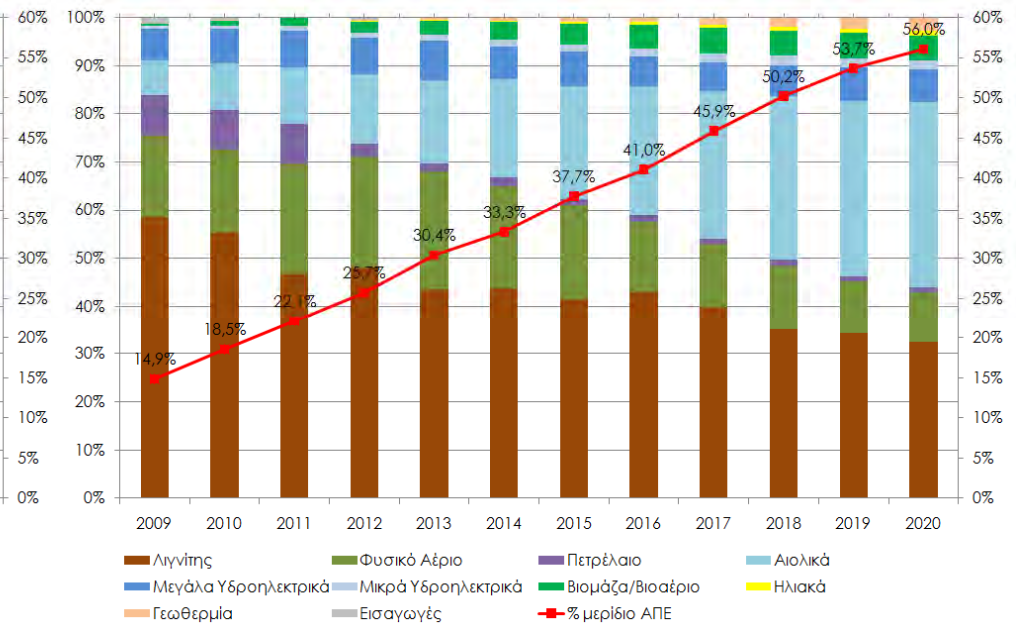
- Η λιγνιτική παραγωγή φθίνει και στις δύο περιπτώσεις
- Στη διασύνδεση είναι ελαφρώς ενισχυμένη λόγω ικανοποίησης μέρους της ζήτησης των διασυνδεδεμένων νησιών
- Το φυσικό αέριο δεν ευνοείται από τη διασύνδεση

# Συγκριτική εξέλιξη συμμετοχής των ΑΠΕ και των υπόλοιπων πηγών ενέργειας

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



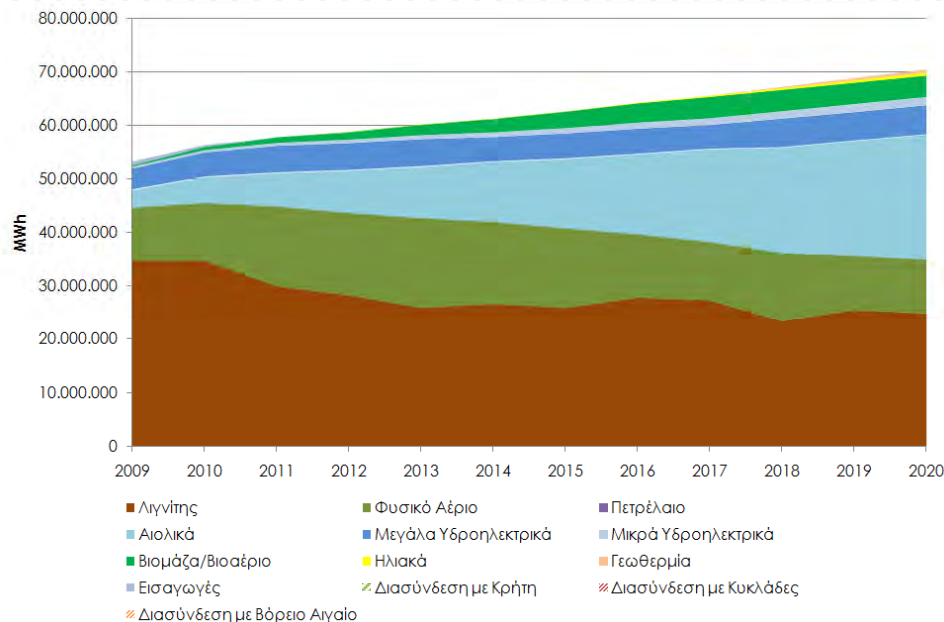
## Σενάριο με διασύνδεση



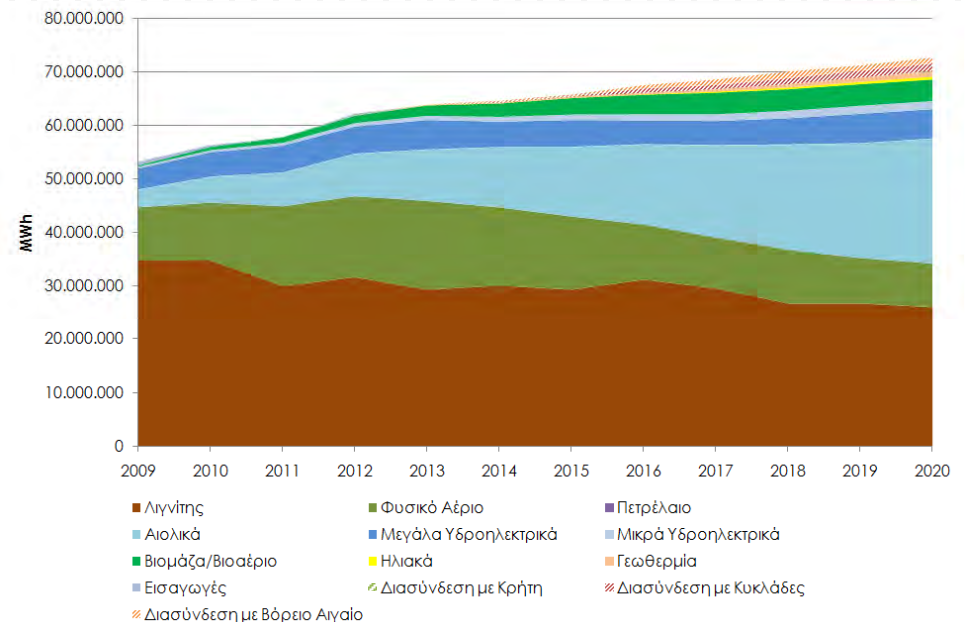
- Υπερκάλυψη του στόχου του ΥΠΕΚΑ για το 2020
- Η ανάπτυξη των διασυνδέσεων οδηγεί σε φιλόδοξη διεύρυνση των ΑΠΕ
- Το μεγαλύτερο μερίδιο ανήκει σαφώς στην αιολική ενέργεια

# Συγκριτική εξέλιξη μίγματος ηλεκτρο- παραγωγής στο ηπειρωτικό σύστημα

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



## Σενάριο με διασύνδεση

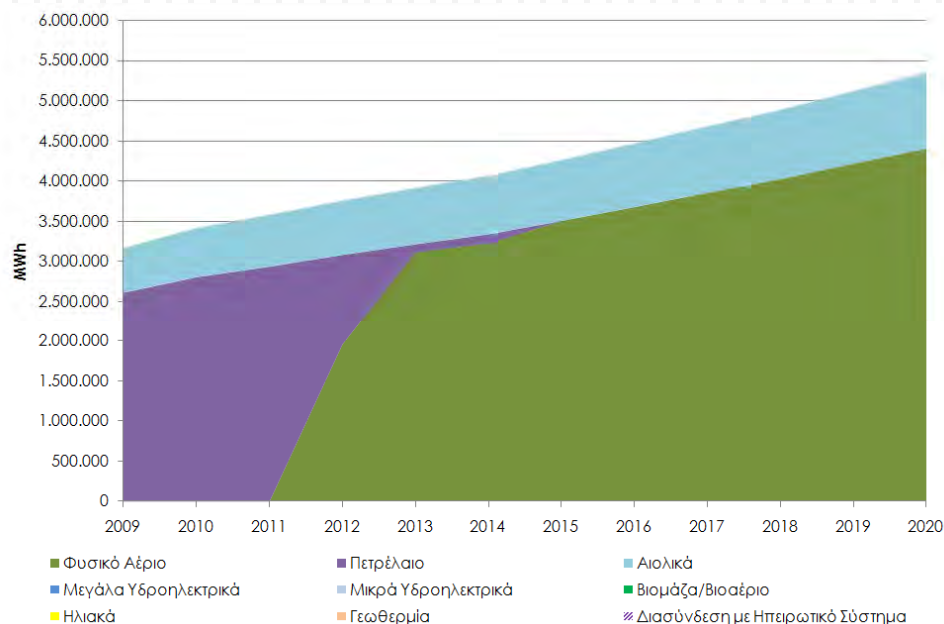


- Εισροές ηλεκτρικής ενέργειας από τα νησιωτικά συμπλέγματα των Κυκλάδων και των νησιών του Βορείου Αιγαίου (μαζί φθάνουν το 95%)
- Το 2020, το άθροισμά τους αγγίζει τις 2,5 TWh. Καθόλη την περίοδο 11 TWh
- Πολύ χαμηλή προσφορά εκ μέρους της Κρήτης

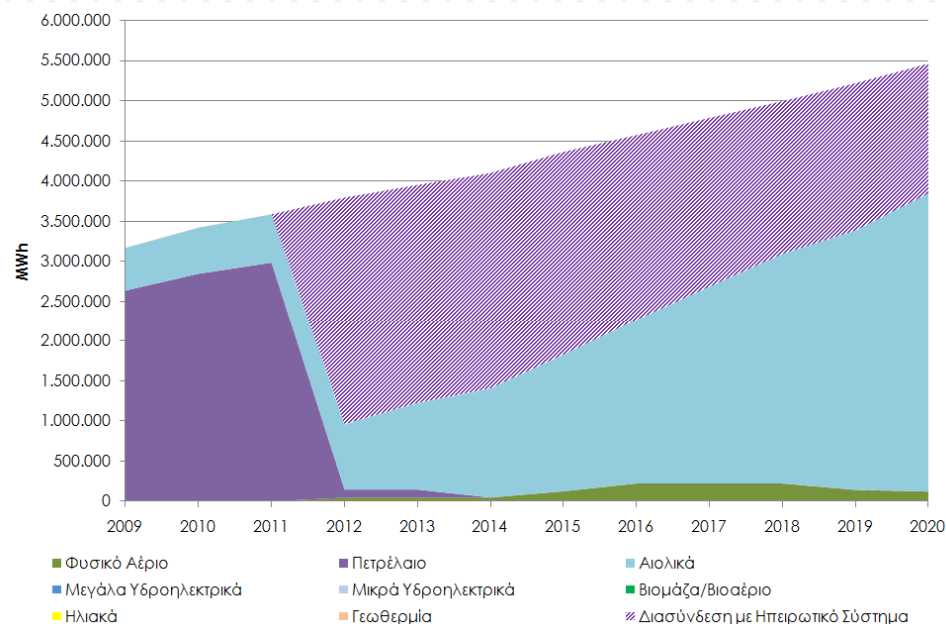


# Συγκριτική εξέλιξη μίγματος ηλεκτροπαραγωγής στην Κρήτη

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



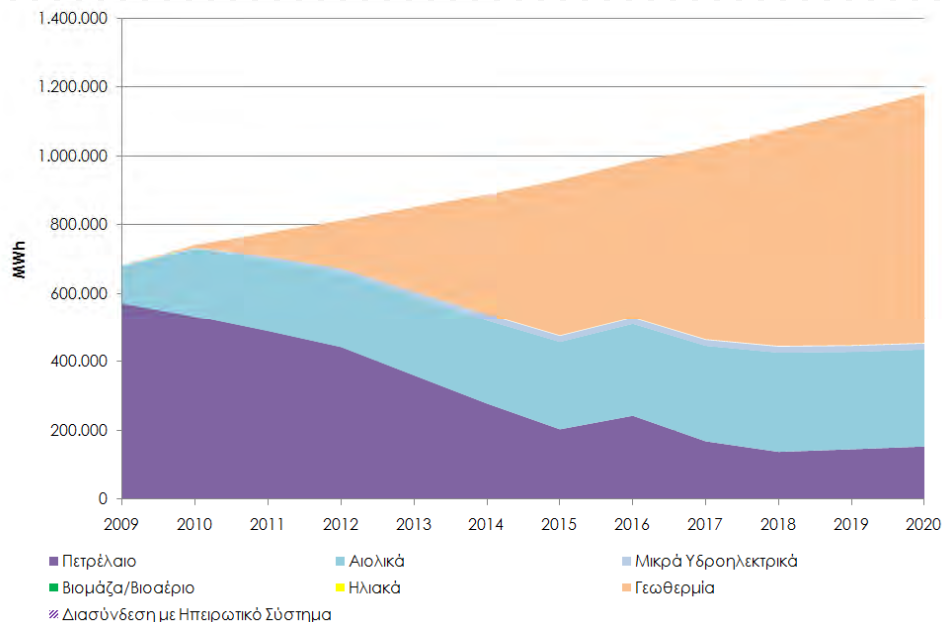
## Σενάριο με διασύνδεση



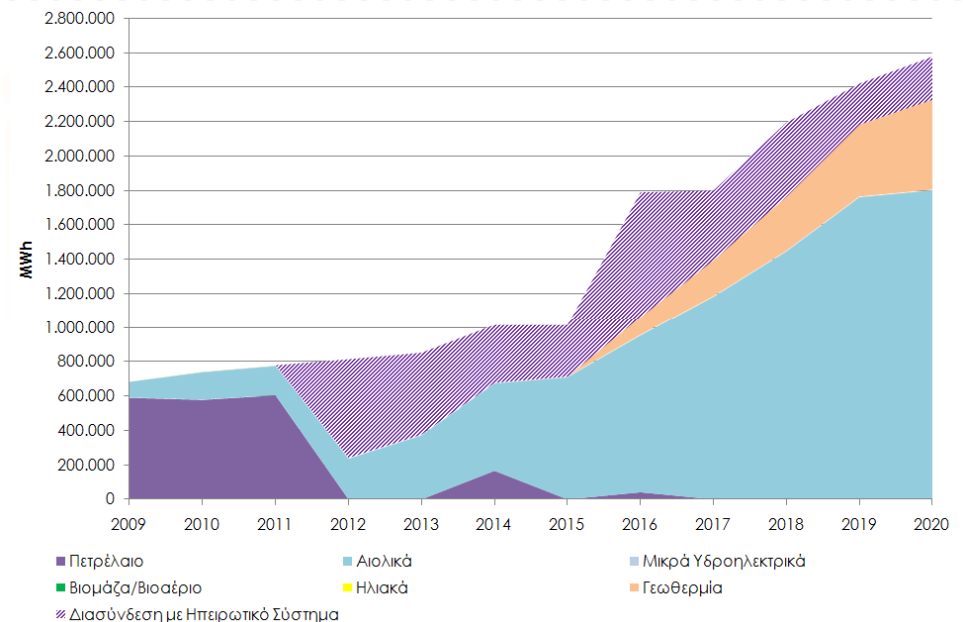
- Δίχως διασύνδεση: κυρίαρχος ρόλος του φυσικού αερίου
- Με διασύνδεση: καταναλωτής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην ηπειρωτική Ελλάδα (κάλυψη έως 75% της τοπικής ζήτησης)
- Μεγάλη και αυξανόμενη συμμετοχή των αιολικών πάρκων

# Συγκριτική εξέλιξη μίγματος ηλεκτροπαραγωγής στις Κυκλάδες

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



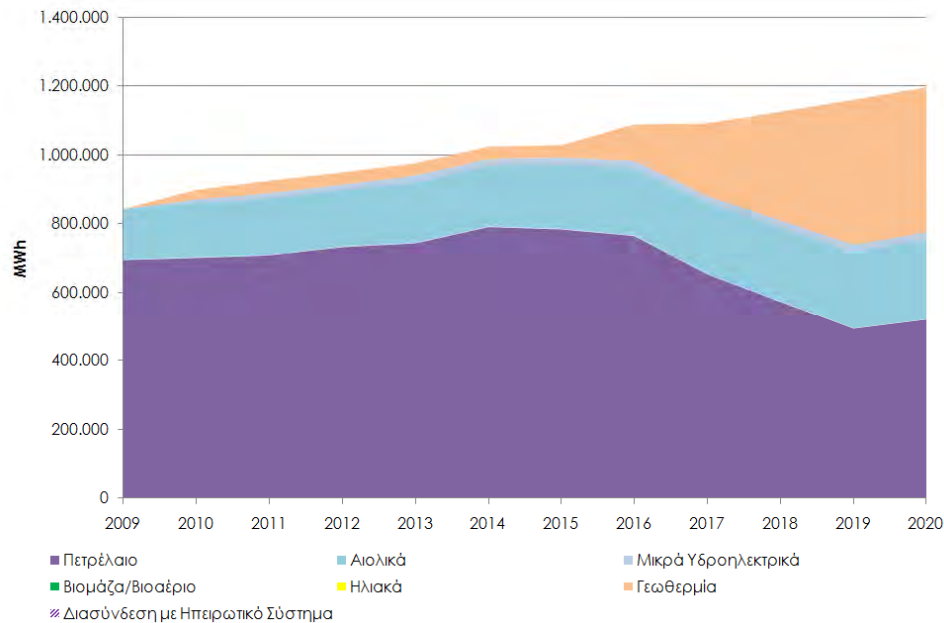
## Σενάριο με διασύνδεση



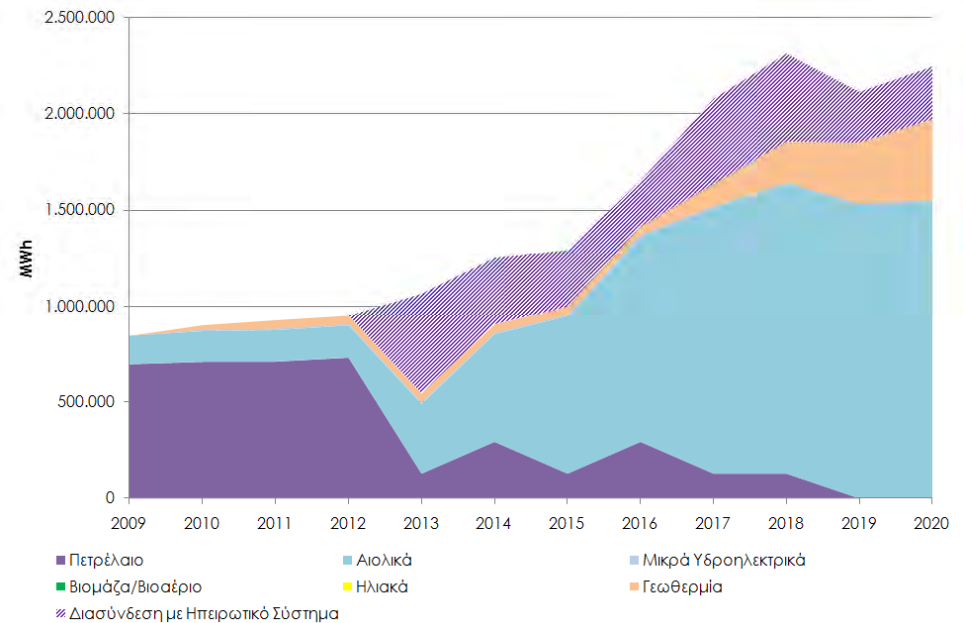
- Αποτέλεσμα της διασύνδεσης η μεγάλη διεύρυνση της αιολικής ενέργειας
- Αρχικά, αποδέκτης και μετά πάροχος ενέργειας μέσω των διασυνδέσεων
- Συνεχής πτώση της παραγωγής ηλεκτρισμού από μαζούτ και ντίζελ
- Η γεωθερμία ευνοείται ιδίως στο σενάριο δίχως διασύνδεση

# Συγκριτική εξέλιξη μίγματος ηλεκτρο-παραγωγής στα νησιά του Βορείου Αιγαίου

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



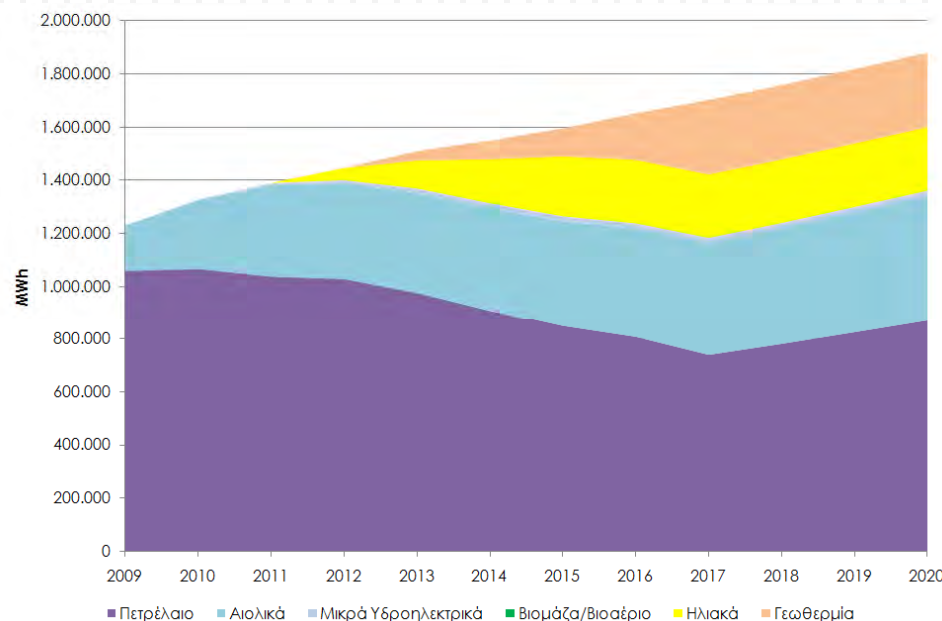
## Σενάριο με διασύνδεση



- Ανάλογη συμπεριφορά με το νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων
- Κυρίαρχη θέση της αιολικής ενέργειας (1,5 TWh το 2020)
- Μεγάλη διαφοροποίηση στη συμμετοχή του πετρελαίου μεταξύ των δύο σεναρίων

# Συγκριτική εξέλιξη μίγματος ηλεκτροπαραγωγής στα Δωδεκάνησα

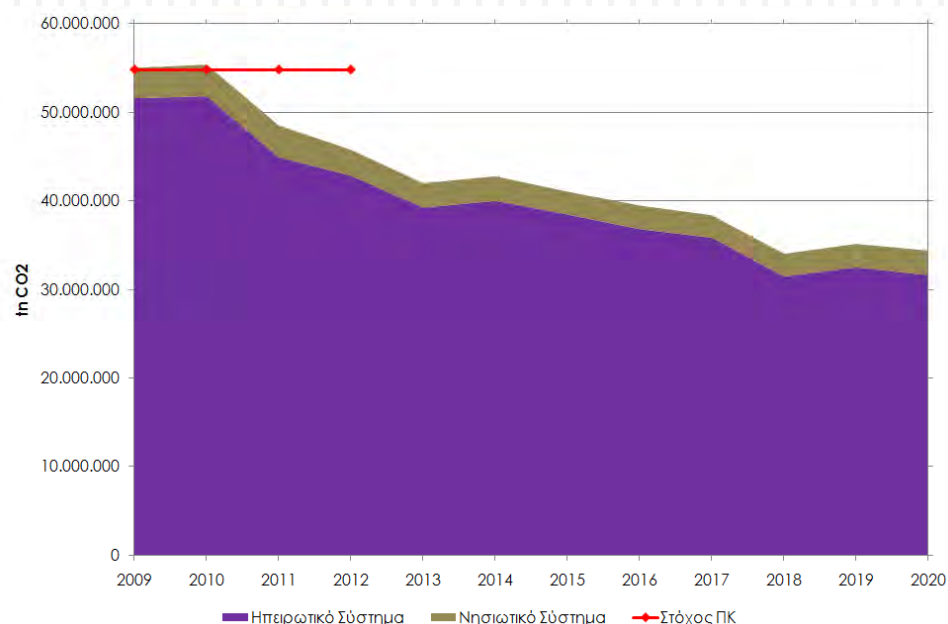
Σενάριο δίχως/με διασύνδεση



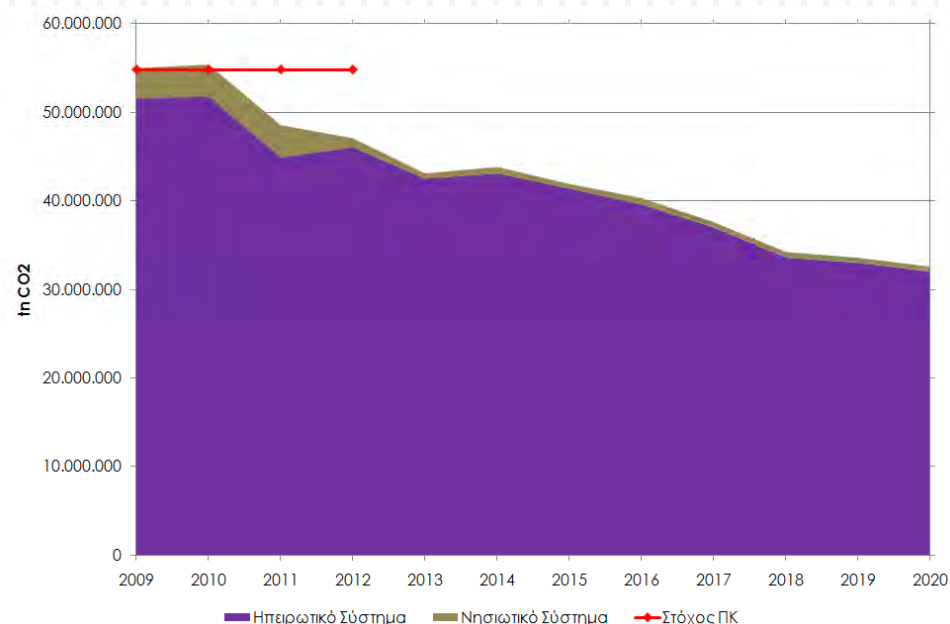
- Ως το μόνο μη διασυνδεόμενο νησιωτικό σύστημα, παρουσιάζει ταυτόσημη συμπεριφορά και στα δύο σενάρια
- Ικανοποιητική και επιμερισμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις τρεις μορφές ΑΠΕ: αιολική, ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια

# Συγκριτική εξέλιξη εκπομπών CO<sub>2</sub>

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



## Σενάριο με διασύνδεση



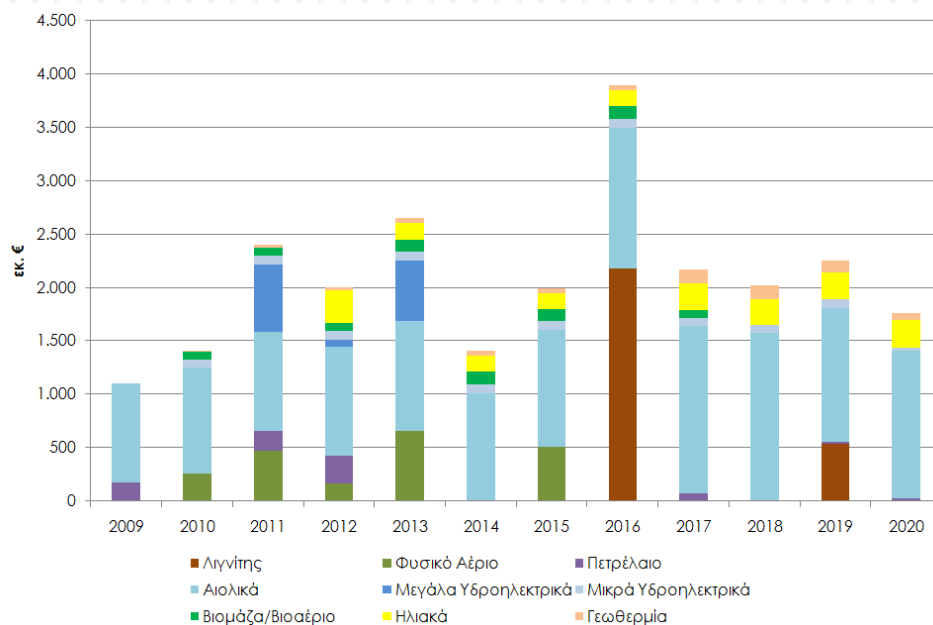
- Πτώση των εκπομπών CO<sub>2</sub> ίση με 40,7% έναντι 37,4 % δίχως διασύνδεση
- Μεγάλος κερδισμένος τα νησιά. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώνονται κατά 83,6%
- ➡ Μεγάλη διείσδυση αιολικής ενέργειας, αποσύρσεις λιγνιτικών σταθμών, παύση χρήσης πετρελαϊκών μονάδων, ένταξη πιο αποδοτικών τεχνολογιών

# Κατηγορίες κόστους

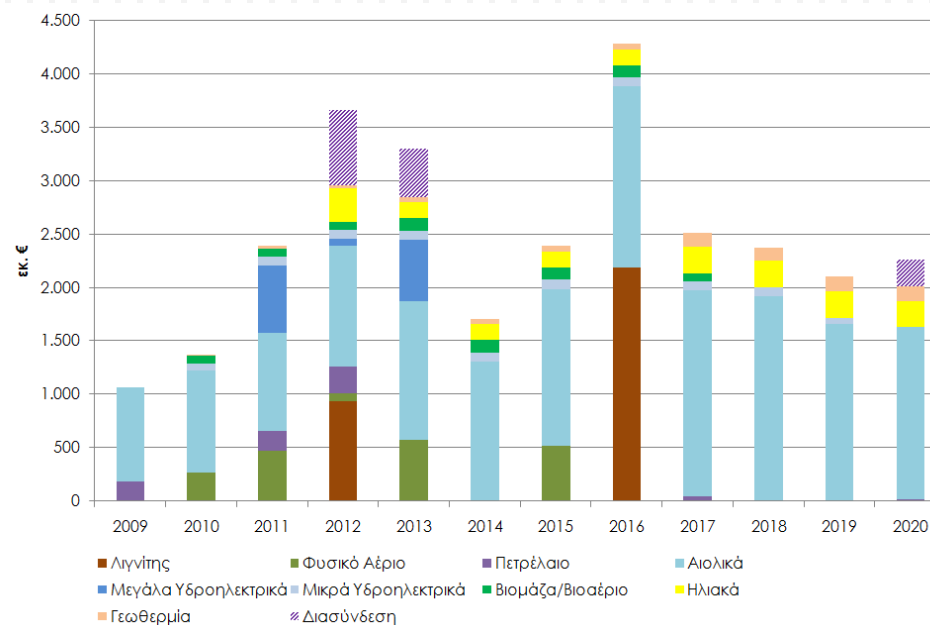
- Παρά την άνοδο του κόστους επένδυσης στο σενάριο με διασύνδεση, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση πόρων
- Μεγάλη μείωση του σωρευτικού κόστους καυσίμων (μαζούτ & ντίζελ) κατά 15,2%: εξοικονόμηση 4,3 δις € λόγω των διασυνδέσεων
- Η επιτυγχανόμενη μείωση κόστους καυσίμων στα νησιά είναι > 55%
- Μείωση του συνολικού μεταβλητού κόστους λειτουργίας & συντήρησης λόγω περιορισμένης χρήσης των πετρελαϊκών σταθμών
- Μικρή άνοδος του συνολικού σταθερού κόστους λειτουργίας & συντήρησης λόγω εγκατάστασης περισσότερων αιολικών πάρκων
- Το κόστος αγοράς δικαιωμάτων εκπομπής ΑΘ παραμένει ίδιο 7,0 - 7,1 δις €

# Κόστη επένδυσης

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



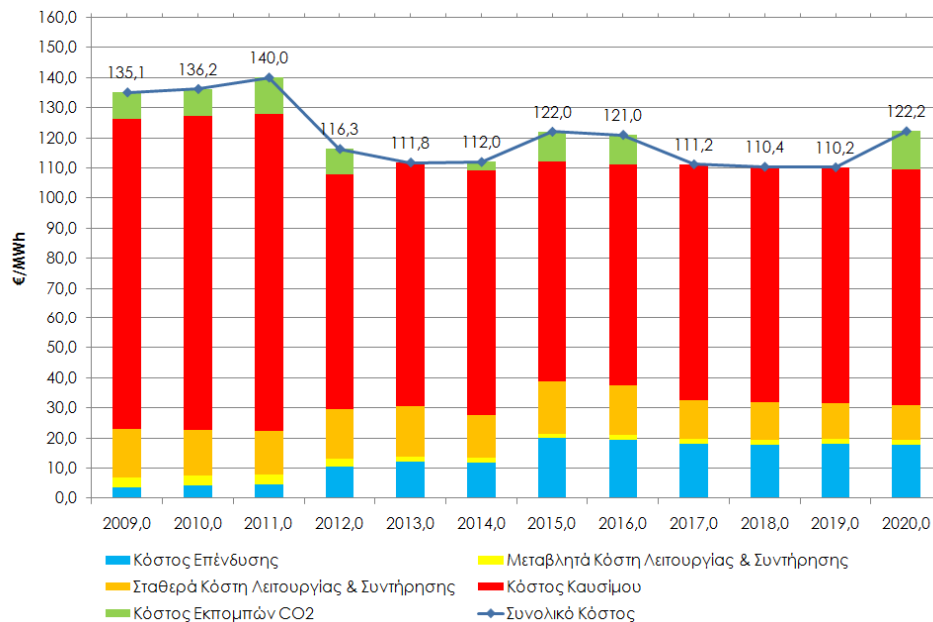
## Σενάριο με διασύνδεση



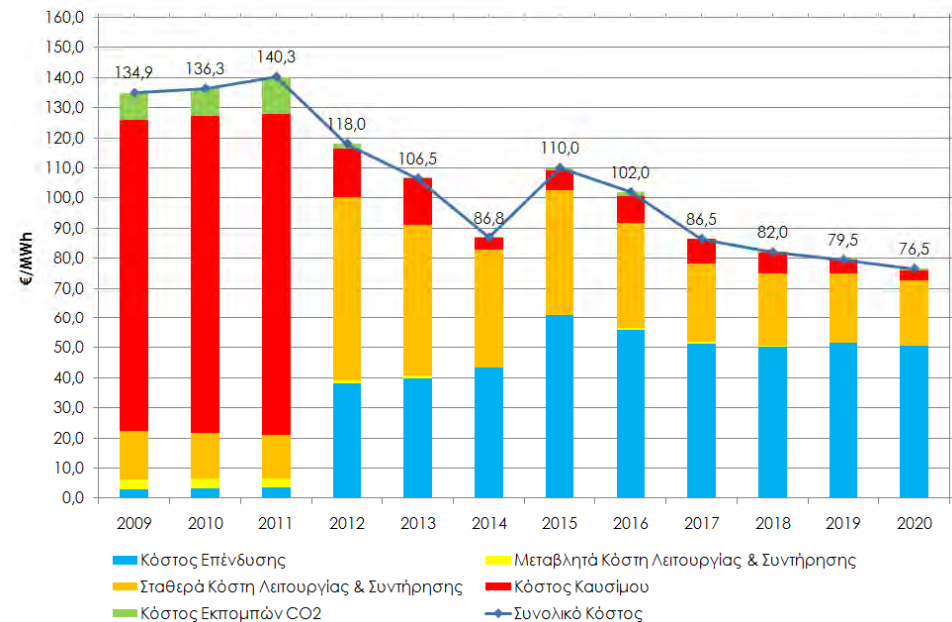
- Τα περισσότερα κεφάλαια επενδύονται σε ΑΠΕ, κυρίως στα αιολικά πάρκα
- Οι ΑΠΕ στο σενάριο με διασύνδεση: 22,3 δις € (76% των κεφαλαίων)
- Αιολικά: Δίχως διασύνδεση: 14 δις € | Με διασύνδεση: 16,8 δις €
- Το κόστος επένδυσης των διασυνδέσεων: 1,5 δις €

# Συγκριτική εξέλιξη του κόστους ηλεκτρο- παραγωγής στην Κρήτη

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



## Σενάριο με διασύνδεση



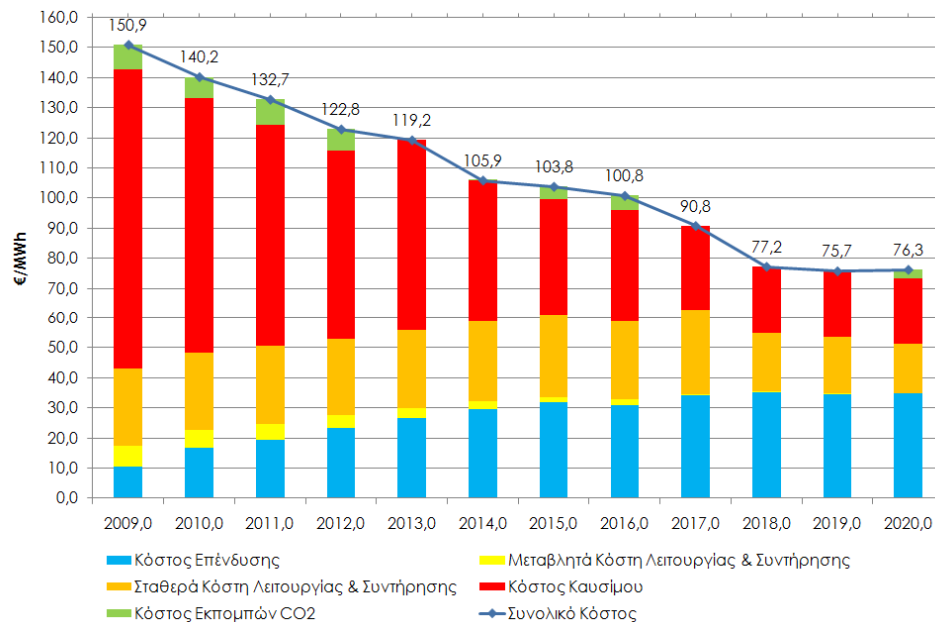
● Η διασύνδεση της Κρήτης μειώνει το μεταβλητό κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού κατά 80%, από 130 €/MWh σε 26 €/MWh

● Παύση της λειτουργίας των πετρελαϊκών σταθμών και συνεπώς του υψηλού κόστους καυσίμου το οποίο καταρρακιά κάτω από 5 €/MWh

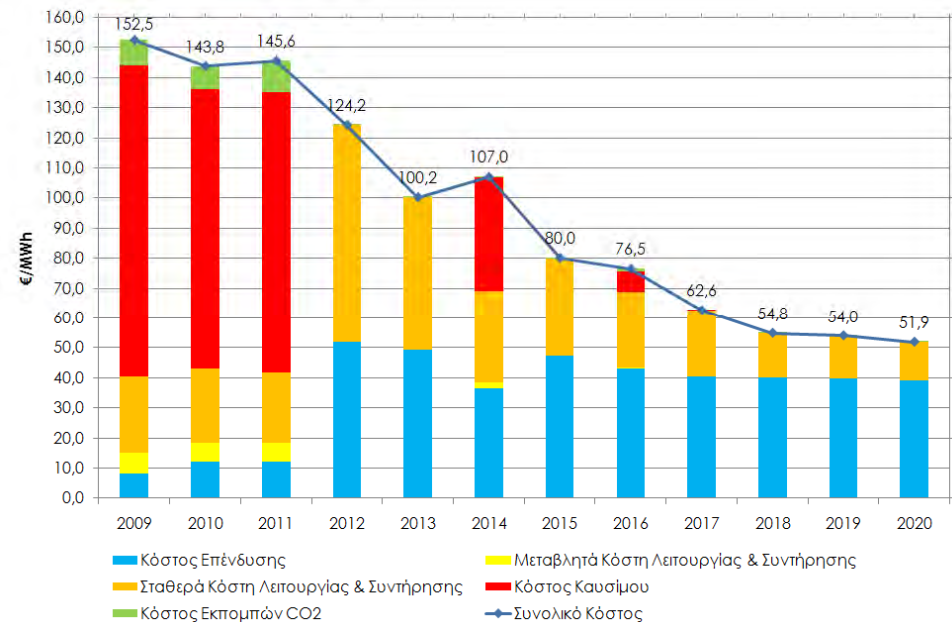


# Συγκριτική εξέλιξη του κόστους ηλεκτρο- παραγωγής στις Κυκλάδες

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



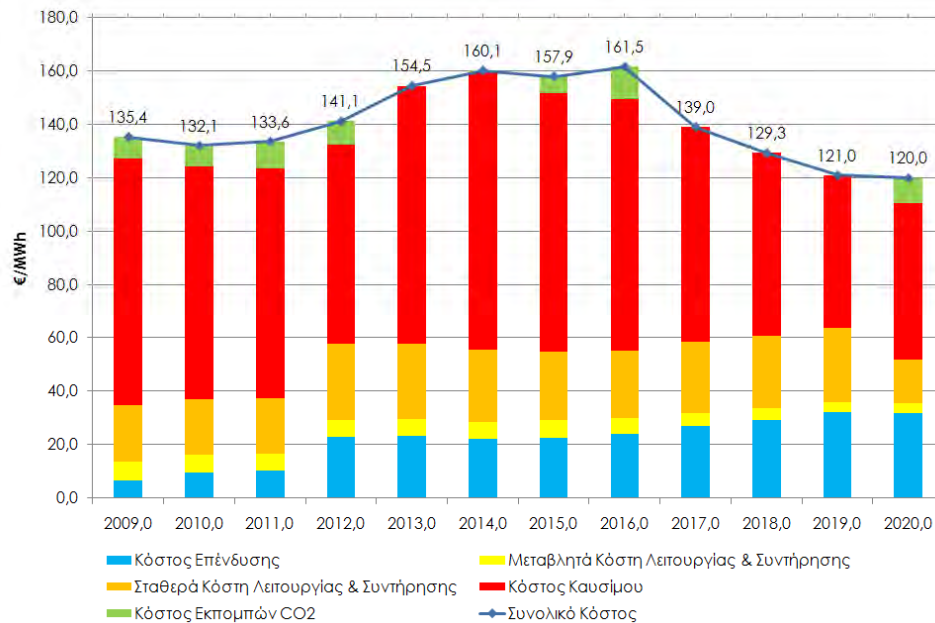
## Σενάριο με διασύνδεση



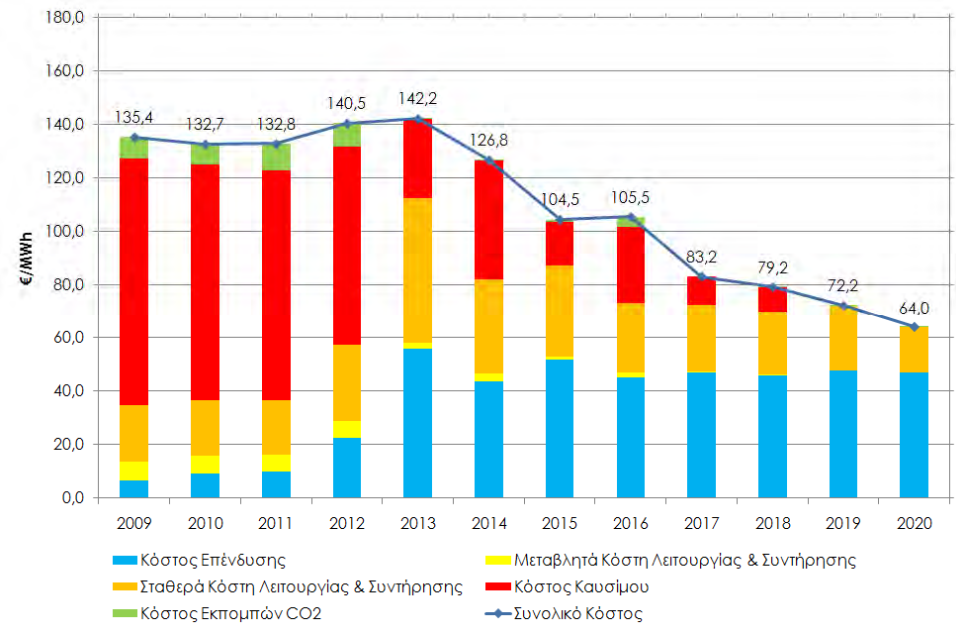
- Ακόμη μεγαλύτερη μείωση στα ανηγμένα κόστη
- Το μεταβλητό κόστος υποδεκαπλασιάζεται λόγω της αιολικής παραγωγής & των εισαγωγών ενέργειας μέσω των διασυνδέσεων από το ηπειρωτικό δίκτυο
- Εκμηδενισμός κόστους καυσίμων. Απεξάρτηση από τους πετρελαϊκούς ΤΣΠ

# Συγκριτική εξέλιξη του κόστους ηλεκτρο- παραγωγής στα νησιά του Βορείου Αιγαίου

## Σενάριο δίχως διασύνδεση



## Σενάριο με διασύνδεση

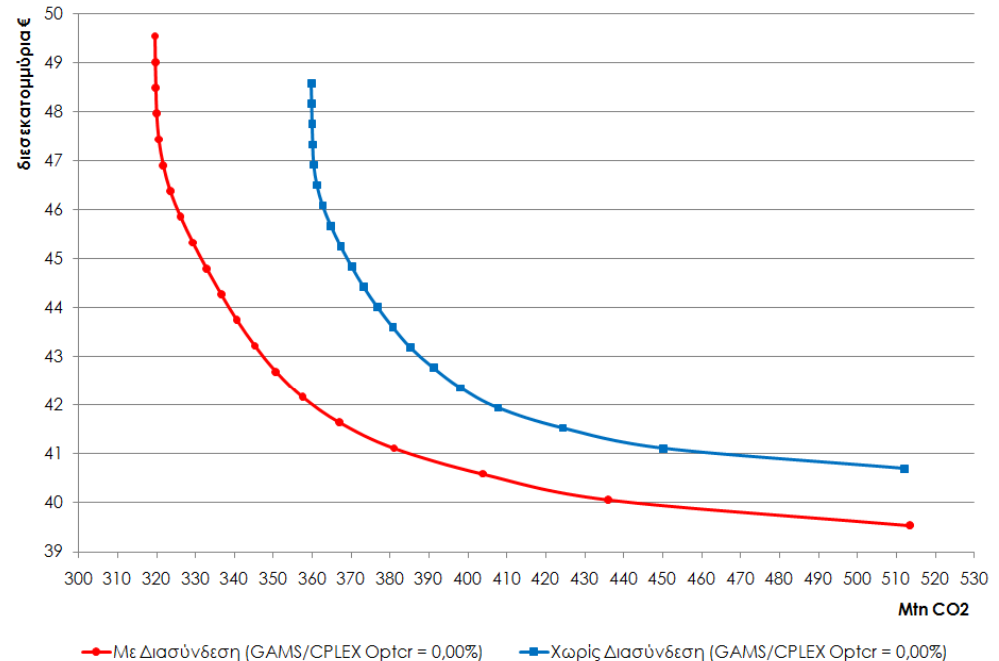


Ομοίως με τις Κυκλάδες εμφατική μείωση στα κόστη παραγωγής ηλεκτρισμού των νησιών

Τα ετησιοποιημένα κόστη επένδυσης ανεβαίνουν λόγω της εγκατάστασης αιολικών πάρκων

# Αποτελέσματα δικριτηριακού μοντέλου

- Η καμπύλη αντιστάθμισης του σεναρίου με διασύνδεση κυριαρχεί παντού επί της αντίστοιχης του σεναρίου δίχως διασύνδεση
- Η ανάπτυξη των διασυνδέσεων είναι συνεχώς επωφελής και για τα δύο εφαρμοζόμενα κριτήρια



- Πάντα υπάρχει μία τιμή του συνολικού κόστους για την οποία πραγματοποιείται μεγαλύτερη μείωση των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> στο σενάριο διασύνδεσης έναντι του σεναρίου μη διασύνδεσης
- Το ίδιο επίπεδο συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> επιτυγχάνεται με οικονομικότερο τρόπο στην περίπτωση της διασύνδεσης

# Συμπεράσματα

- Αυθόρμητη τάση του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος για διασύνδεση των τμημάτων του
- Το ηπειρωτικό σύστημα καλύπτει τα ενδιάμεσα φορτία και τα φορτία αιχμής των νησιών
- Τα νησιωτικά συστήματα καλύπτουν τα φορτία βάσης της ηπειρωτικής Ελλάδας
- Επιτυγχάνεται αρκετά μεγαλύτερη διείσδυση της αιολικής ενέργειας
- Περιορισμός του κυρίαρχου ρόλου του λιγνίτη λόγω της έντονης παρουσίας των αιολικών πάρκων
- Σημαντικός αριθμός αποσύρσεων παλαιών λιγνιτικών μονάδων
- Ενεργειακή απεξάρτηση των νησιών από τα πετρελαϊκά προϊόντα

# Συμπεράσματα

- Το φυσικό αέριο εμφανίζει μικρή συμμετοχή λόγω υψηλού κόστους καυσίμου έναντι στην αιολική ενέργεια και το λιγνίτη
- Τα φωτοβολταϊκά δεν εντάσσονται στο σύστημα λόγω υψηλού κόστους επένδυσης
- Οικονομικά οφέλη λόγω συρρίκνωσης του κόστους καυσίμου και της μεγάλης διείσδυσης των ΑΠΕ
- Μεγάλη πτώση στο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού στα νησιά μετά τη διασύνδεση
- Βελτίωση της συνολικής οικονομικότητας του τομέα ηλεκτροπαραγωγής
- Μειώνονται σημαντικά οι εκπομπές CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub>
- Υπερκάλυψη του στόχου των ΑΠΕ για το 2020

Ευχαριστώ για την προσοχή σας...

*'act **now** to happen **later**'*

---