



**«Εκπόνηση Μελετών για τη Στρατηγική Περιβαλλοντική
Εκτίμηση του Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης
Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων», MIS 375406.**

Τεχνολογίες Υπεράκτιων Αιολικών Σταθμών και οι Προοπτικές τους

Κυριάκος Ρώσης
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας



**ΚΑΠΕ
CRES**

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η εγκατάσταση αιολικών σταθμών γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο

Ειδικά για τους υπεράκτιους αιολικούς σταθμούς:

Πλεονεκτήματα:

Μεγάλες διαθέσιμες εκτάσεις
Μακριά από κατοικημένες περιοχές
Μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό
Λιγότερη ατμοσφαιρική τύρβη
Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των Α/Γ

Βασικό μειονέκτημα:

το υψηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης



ΚΑΠΕ
CRES

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί – Ευρωπαϊκοί στόχοι

Σύμφωνα με την EWEA
Μέχρι το 2020:
η αιολική ενέργεια θα μπορούσε να φθάσει τα
230 GW

Τα **40 GW** θα μπορούσαν να είναι από
υπεράκτιους αιολικούς σταθμούς

Μέχρι το 2030:
150 GW από υπεράκτιους αιολικούς σταθμούς



ΚΑΠΕ
CRES

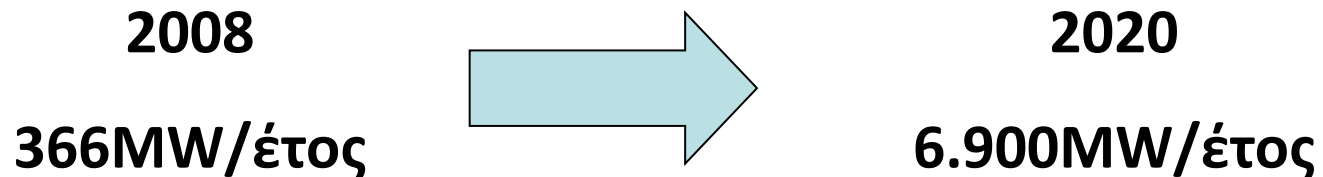
ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί – Ευρωπαϊκοί στόχοι

40 GW από Υπεράκτιους αιολικούς σταθμούς σημαίνει
28%

Ετήσια αύξηση των σταθμών που εγκαθίστανται:

Με άλλα λόγια:

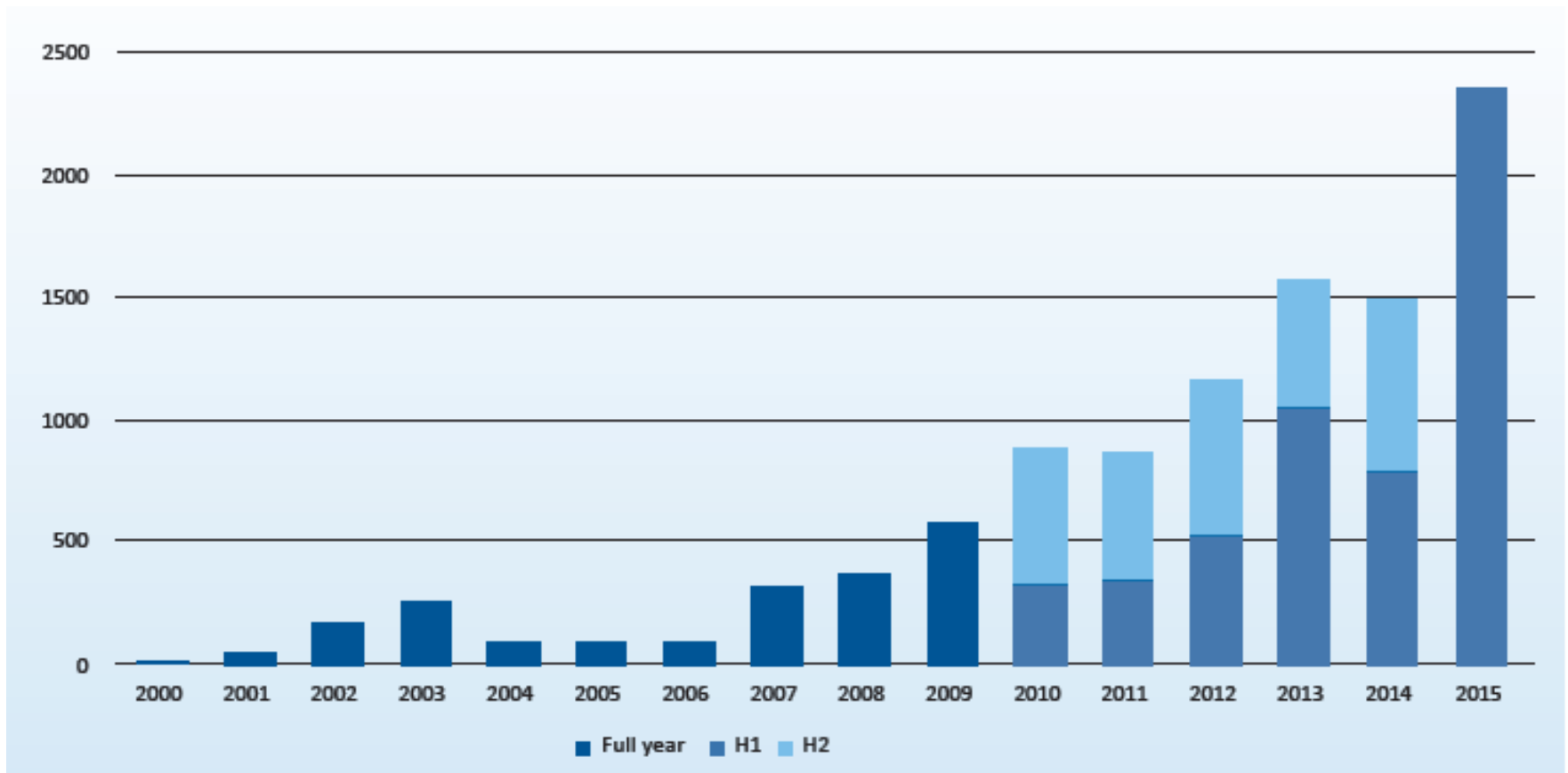


Υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί ισχύος **100GW** έχουν ήδη προταθεί



Υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί ανά έτος

Μέχρι το πρώτο εξάμηνο 2015: 10.4 GW – 3072 Ανεμογεννήτριες



Source: EWEA



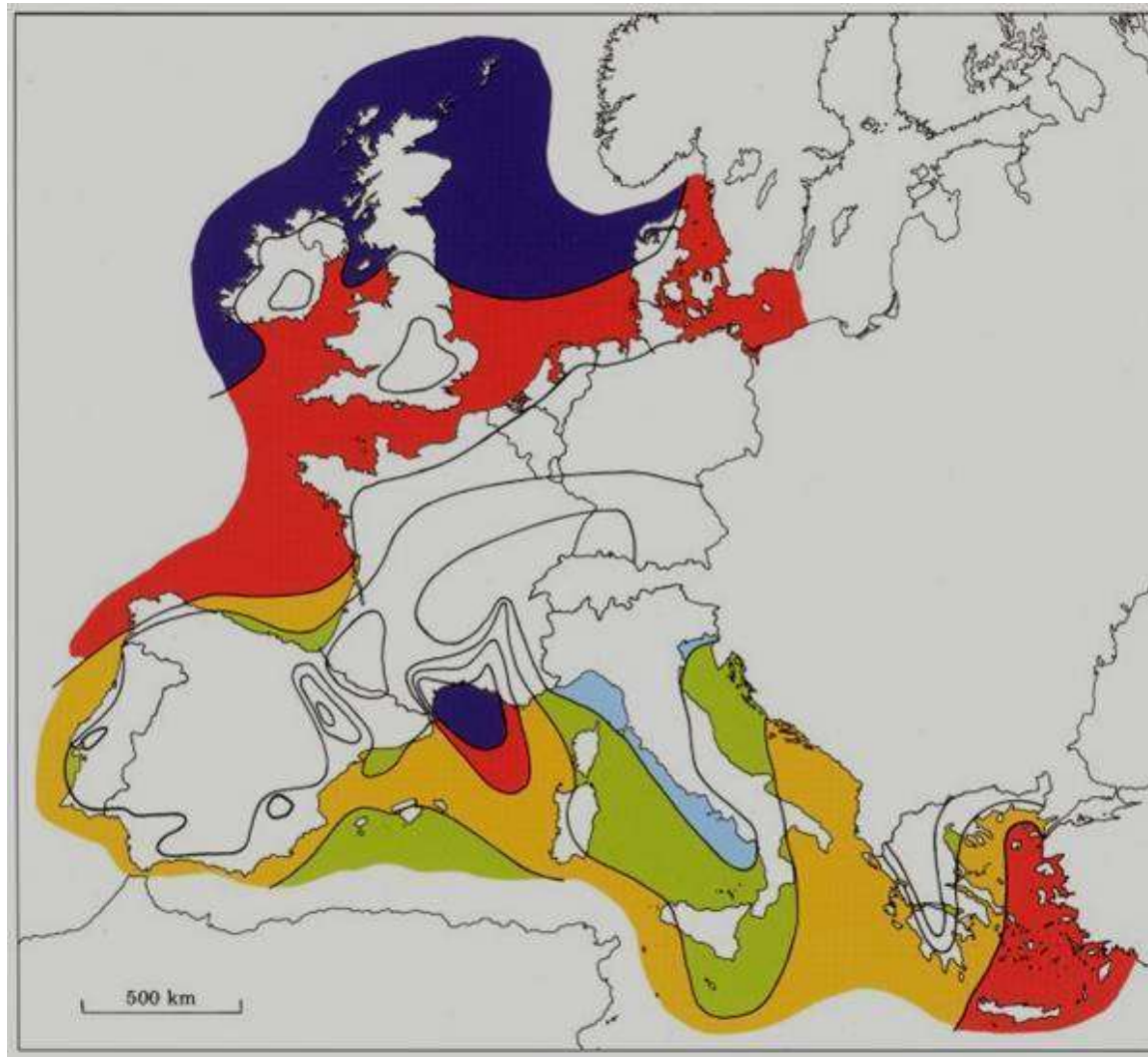
ΚΑΠΕ CRES | ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Χαρακτηριστικά υπερράκτιων αιολικών σταθμών

	2013	2014
<i>Συνολική ισχύς (MW):</i>	6562	8045
<i>Ετήσια ισχύς (MW):</i>	2080	1483
<i>Αριθμός Α/Γ:</i>	418	408
<i>Μέση απόσταση από την ακτή (km):</i>	30	32.9
<i>Μέσο βάθος (m):</i>	20	22.4
<i>Βόρεια Θάλασσα:</i>	72%	63.3%
<i>Ατλαντικός Ωκεανός:</i>	6%	22.5%
<i>Βαλτική Θάλασσα:</i>	22%	14.2%



Το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό



Υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί – Δυνατότητες

Σύμφωνα με την European Environment Agency (EEA):

1) Το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό που είναι οικονομικά αξιοποιήσιμο:

Φθάνει να καλύψει το **80%** της Ευρωπαϊκής ζήτησης για το **2030**

2) Το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό που είναι τεχνικά αξιοποιήσιμο:

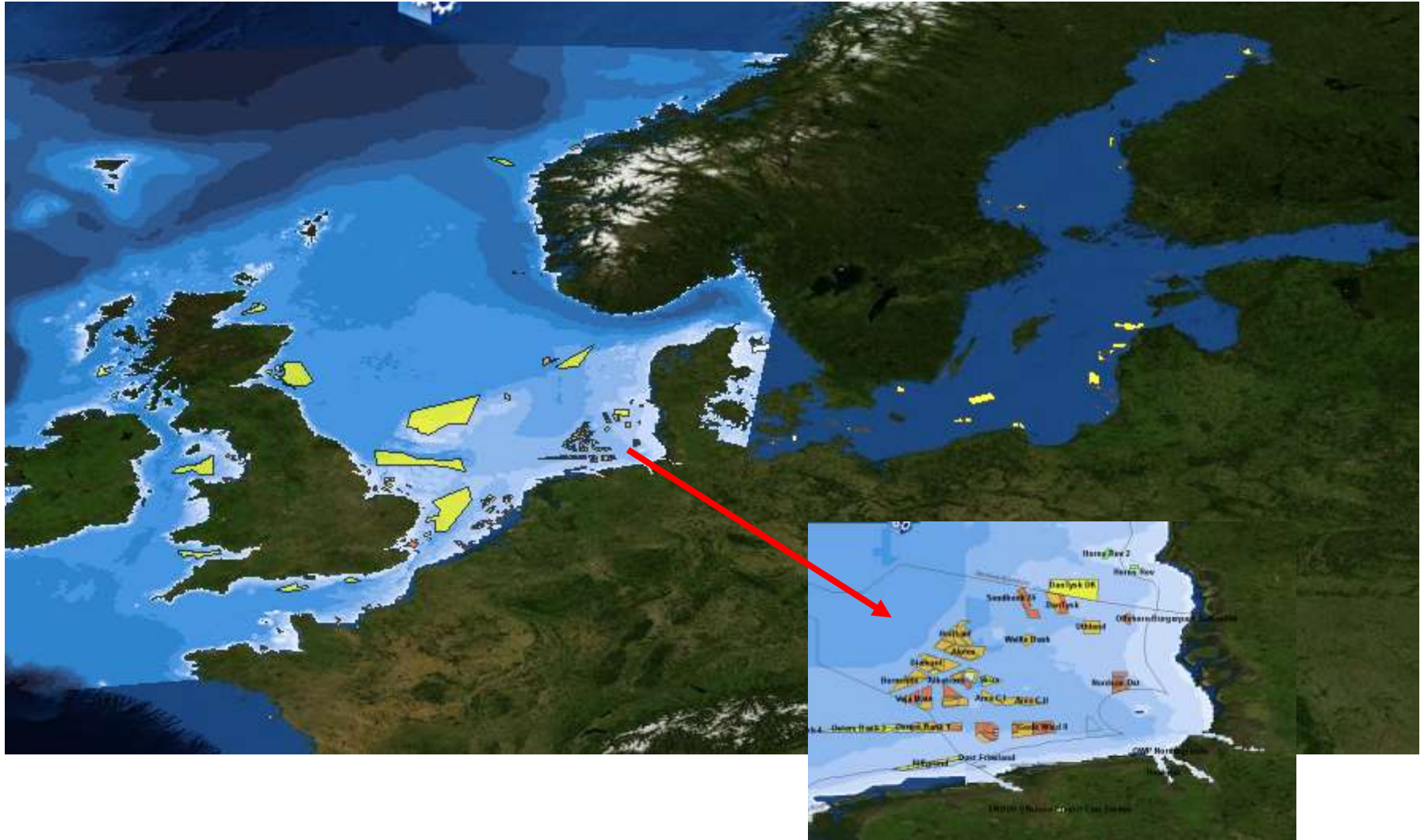
Είναι **7 φορές** μεγαλύτερο από την Ευρωπαϊκή ζήτηση το 2030



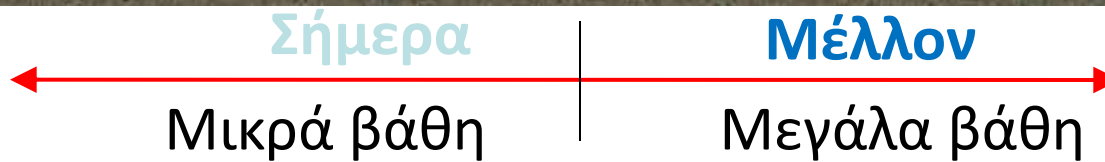
ΚΑΠΕ
CRES

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί στην Ευρώπη



Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών



Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Gravity base: Χρήση έως 40m

- + Μικρός θόρυβος, προσιτό κόστος
- Προβληματική η μεταφορά για μεγάλες Α/Γ, απαιτείται προετοιμασία του βυθού, βαρέως τύπου εξοπλισμός για τη μετακίνηση



Monopile: Χρήση έως 30m ή περισσότερο

- + Εύκολη κατασκευή, μεγάλη εμπειρία
- Θόρυβος, περιορισμοί από το είδος του βυθού και το βάρος της Α/Γ

Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Tripod: Χρήση έως 30m ή περισσότερο

- + Μεγάλη αντοχή, κατάλληλος για μεγάλες, βαριές Α/Γ
- Δύσκολη η κατασκευή, δυσκολίες λόγω βάρους στη μεταφορά



Jacket: Χρήση από 40m και πάνω

- + Μικρός θόρυβος, κατάλληλος για μεγάλες, βαριές Α/Γ
- Μεγάλος κόστος, επίδραση από το κύμα, μεγάλα φορτία, κοπωτικά φορτία, μεγάλος χρόνος εγκατάστασης

Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

	2013	2014
<i>Monopile:</i>	79%	91%
<i>Jacket:</i>	6%	8.1%
<i>Tripod:</i>	14%	0.9%
<i>Triple:</i>	1%	0%
<i>Gravity:</i>	0.2%	0%



ΚΑΠΕ
CRES

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών



Gravity base

Monopile



Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Tripod



Jacket



Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών



Jacket



Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Spar buoy: Χρήση από 120-700m

- + Κατάλληλο για μεγάλα βάθη, λιγότερος χάλυβας
- Μεγάλο κόστος, μικρή εμπειρία στις Α/Γ



Semi-submersible: 100m και πάνω

- + Κατάλληλο για μεγάλα βάθη, λιγότερος χάλυβας
- Μεγάλο κόστος, μικρή εμπειρία στις Α/Γ

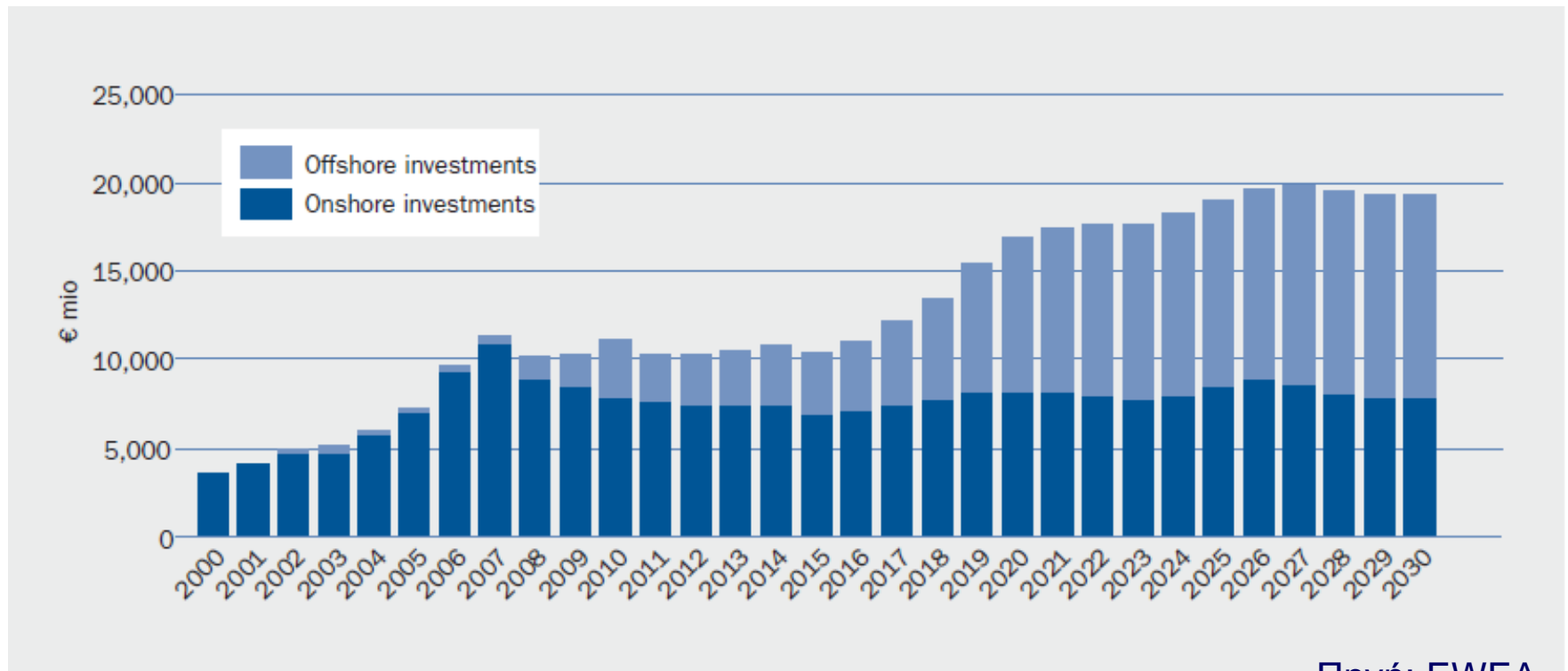
Τρόποι θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Spar buoy



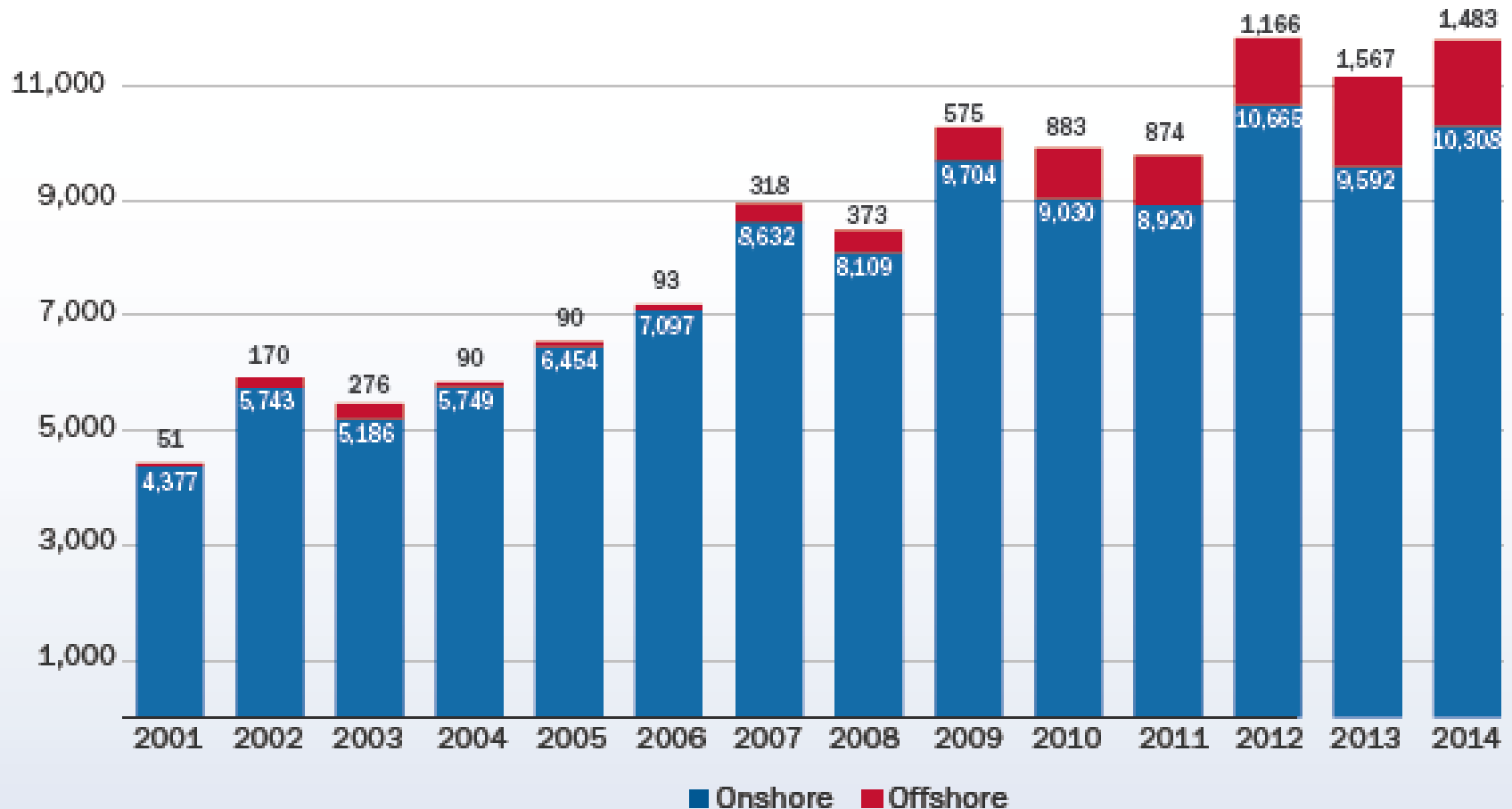
Semi-submersible

Ετήσιες επενδύσεις



Πηγή: ΕΥΕΑ

Ετήσια εγκατεστημένη ισχύς (MW)



Πηγή: ΕΥΕΑ

Παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος εγκατάστασης

Συντελεστής αύξησης του κόστους εγκατάστασης υπερράκτιου αιολικού σταθμού συναρτήσει του βάθους

		Water depth (m)			
		10-20	20-30	30-40	40-50
Cost (EUR/kW)	Turbine	772	772	772	772
	Foundation	352	466	625	900
	Installation	465	465	605	605
	Grid connection	133	133	133	133
	Others	79	85	92	105
	Total cost (EUR/kw)	1 800	1 920	2 227	2 514
Scale factor		1.000	1.067	1.237	1.396

Συντελεστής αύξησης του κόστους εγκατάστασης υπερράκτιου αιολικού σταθμού συναρτήσει του βάθους και της απόστασης από την ακτή

		Distance to coast (km)							
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-100	100-200	> 200
Depth (m)	10-20	1	1.022	1.043	1.065	1.086	1.183	1.408	1.598
	20-30	1.067	1.090	1.113	1.136	1.159	1.262	1.501	1.705
	30-40	1.237	1.264	1.290	1.317	1.344	1.464	1.741	1.977
	40-50	1.396	1.427	1.457	1.487	1.517	1.653	1.966	2.232

Πηγή: ΕΕΑ



ΚΑΠΕ
CRES

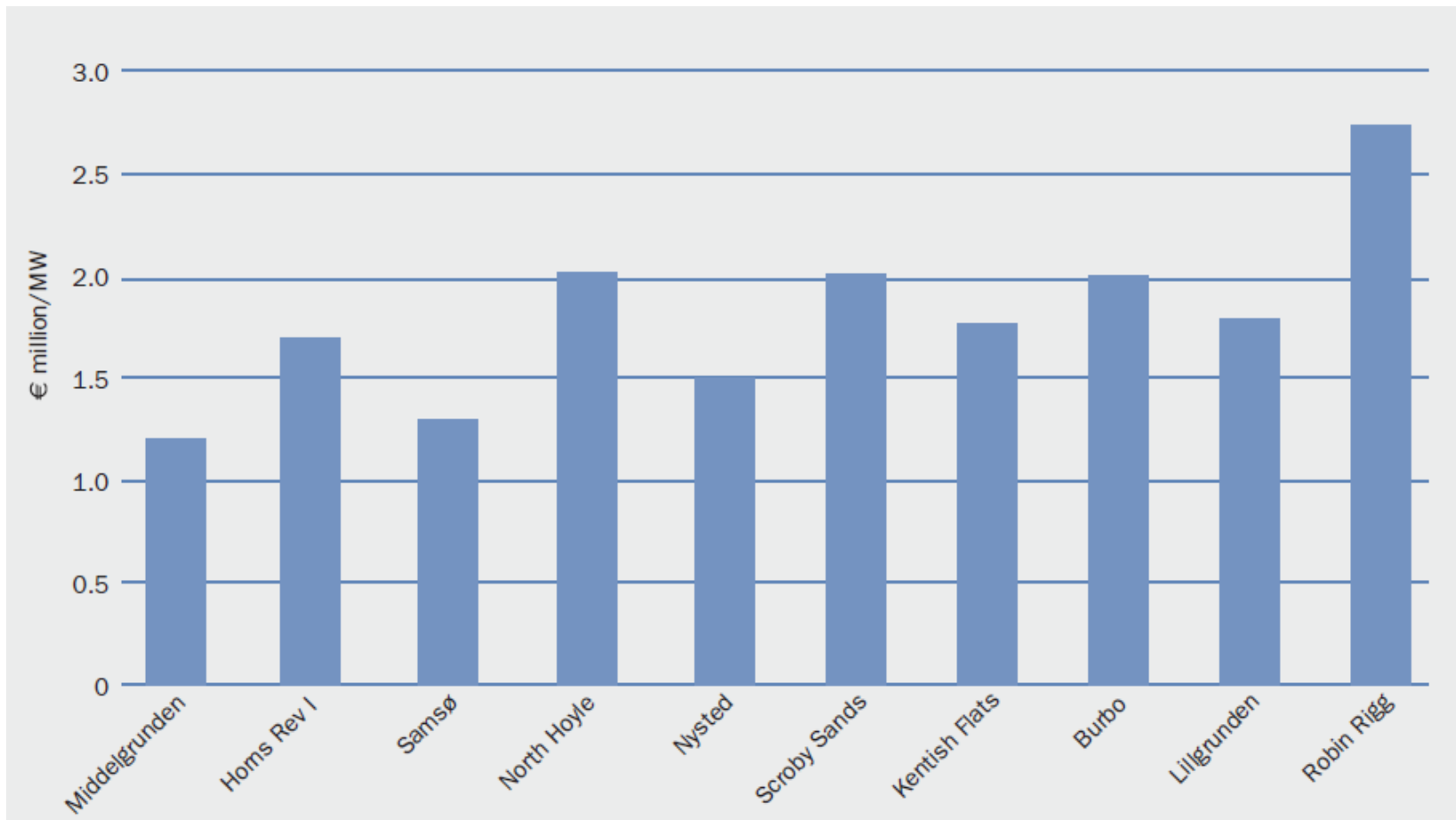
ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τρεις διαφορετικές απόψεις:

Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών σταθμών
€/kW

Αντικείμενο	EWEA	RODSAND II	Ernst&Young
Ανεμογεννήτριες	815	1329	1725
Ηλεκτρικά	355	-	690
Θεμελιώσεις	350	400	805
Άλλα	160	-	40
Σύνολο	1680	2077	3680

Κόστος εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών σταθμών στη Δανία €million/MW



Πηγή: EWEA



ΚΑΠΕ
CRES

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των υπεράκτιων αιολικών σταθμών είναι σχεδόν διπλάσιο των αιολικών σταθμών στην ξηρά

Εκτίμηση κόστους λειτουργίας & συντήρησης υπεράκτιων αιολικών σταθμών €/MWh

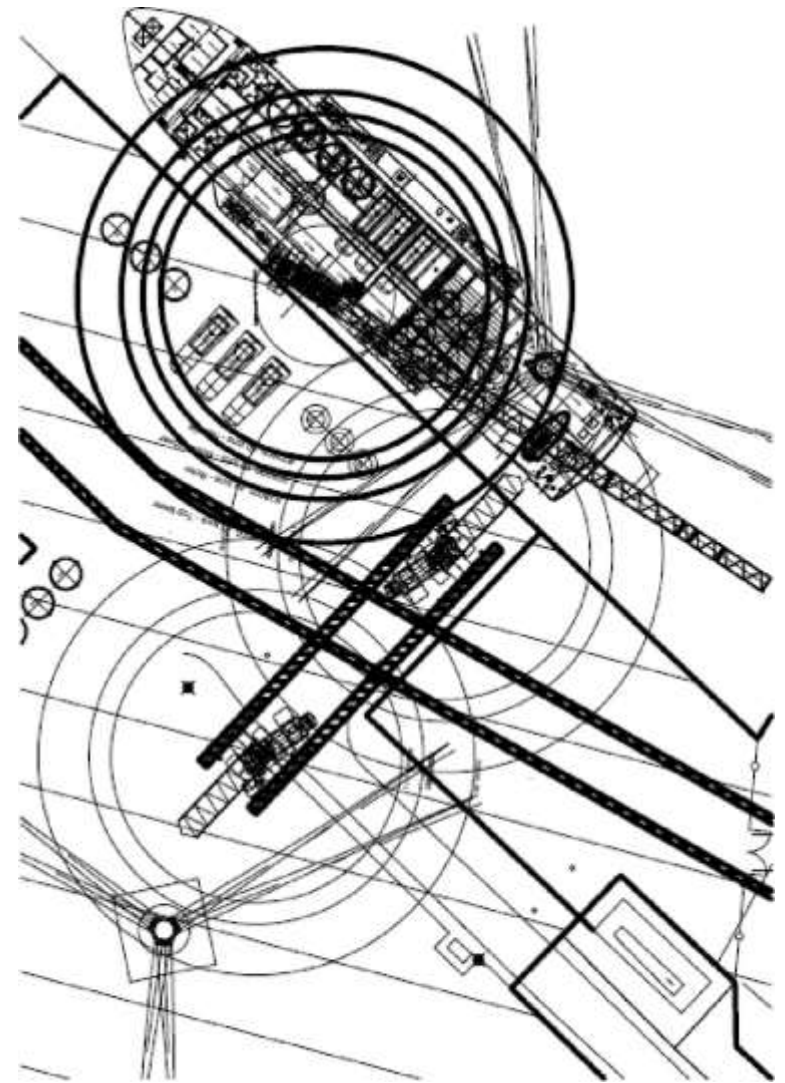
Αντικείμενο	ONSHORE	OFFSHORE
Συντήρηση Α/Γ	7	19
Κόστος δικτύου	2	3
Ασφάλιση	3	4
Μίσθωση γης	2	2
Απομάκρυνση	1	6
Σύνολο	16	34

Πέρα από το αυξημένο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, σημαντικές δυσκολίες παρουσιάζουν:

- Η διαχείριση της διαδικασίας μεταφοράς, αποθήκευσης και συναρμολόγησης των μηχανών



- Η διαμόρφωση κατάλληλων χώρων ελλιμενισμού των σκαφών, κοντά στην περιοχή εγκατάστασης που να διαθέτουν κάποιες στοιχειώδεις υποδομές υποστήριξης και να έχουν πρόσβαση από χερσαία μέσα μεταφοράς



Τεχνικά προβλήματα

- Η διαχείριση των εργοταξίων για την κατασκευή και μεταφορά των θεμελιώσεων και των μηχανών



Τεχνικά προβλήματα

Η μεταφορά και ανέγερση των μηχανών και των θεμελιώσεων τους, απαιτεί τη χρήση ειδικού τύπου κατασκευών όπως:

Φορηγίδες μεταφοράς των τμημάτων των μηχανών, πχ των πτερυγίων και της ατράκτου



Τεχνικά προβλήματα

Πλωτοί γερανοί με δυνατότητα ανύψωσης μεγάλου βάρους και όγκου σε μεγάλο ύψος



Τεχνικά προβλήματα



Photo: Hans Blomberg +46 70 550 0121



**ΚΑΠΕ
CRES** ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ειδικά σκάφη



Ειδικά σκάφη



Ειδικά γεωτρήματα – πρέσες



Χωρίς να λείπουν τα απρόοπτα



Αυξημένο κόστος παρουσιάζει η διαδικασία σχεδιασμού και αδειοδότησης των υπεράκτιων αιολικών σταθμών

Απαιτείται πιο εκτεταμένη και εξειδικευμένη έρευνα σχετικά με την επίδραση των σταθμών στη θαλάσσια ζωή και τις ανθρώπινες δραστηριότητες

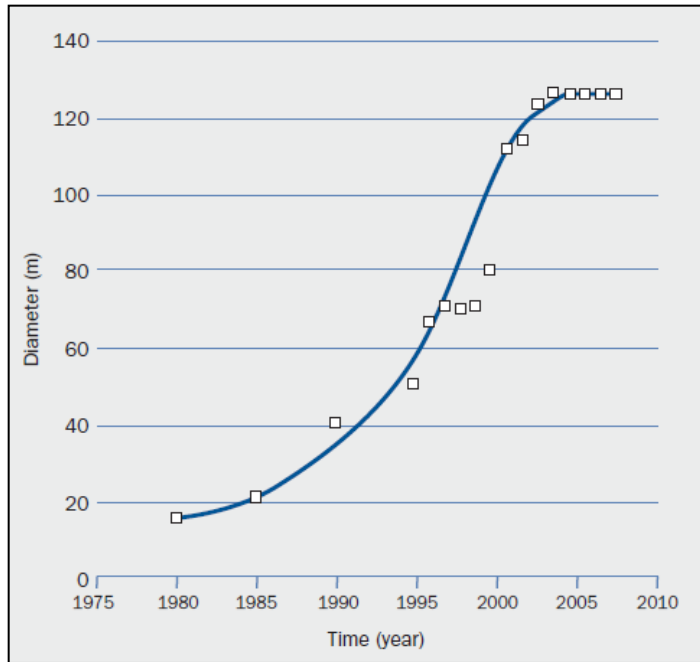
Ειδικά για τη Μεσόγειο, οι μελέτες έχουν ιδιαίτερη δυσκολία

- Τουρισμός
- Αλιεία
- Μεγάλα βάθη
- Πυκνοκατοικημένα παράλια
- Κλειστή θάλασσα
- Έντονη ναυσιπλοΐα

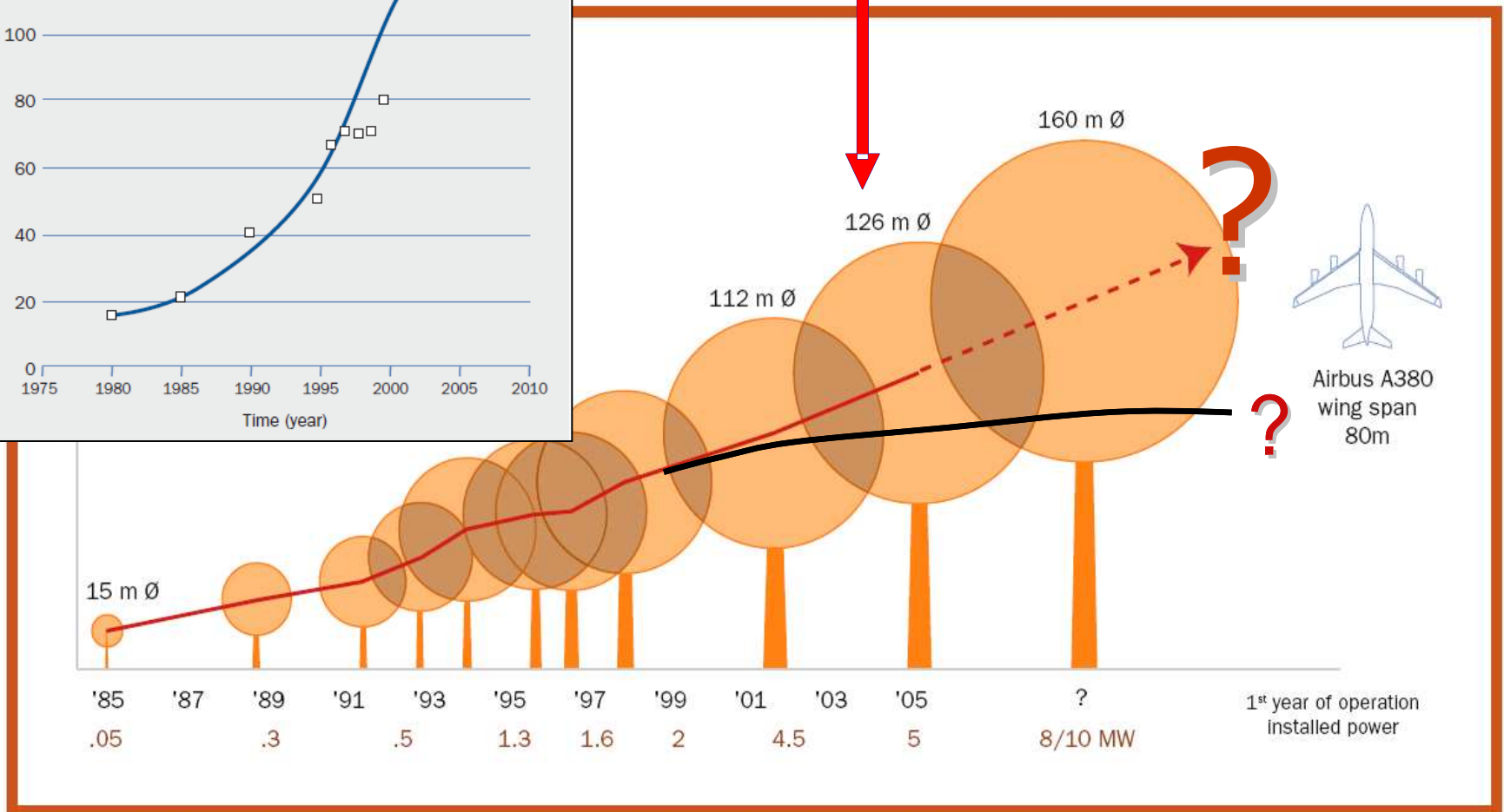
Οπτική όχληση



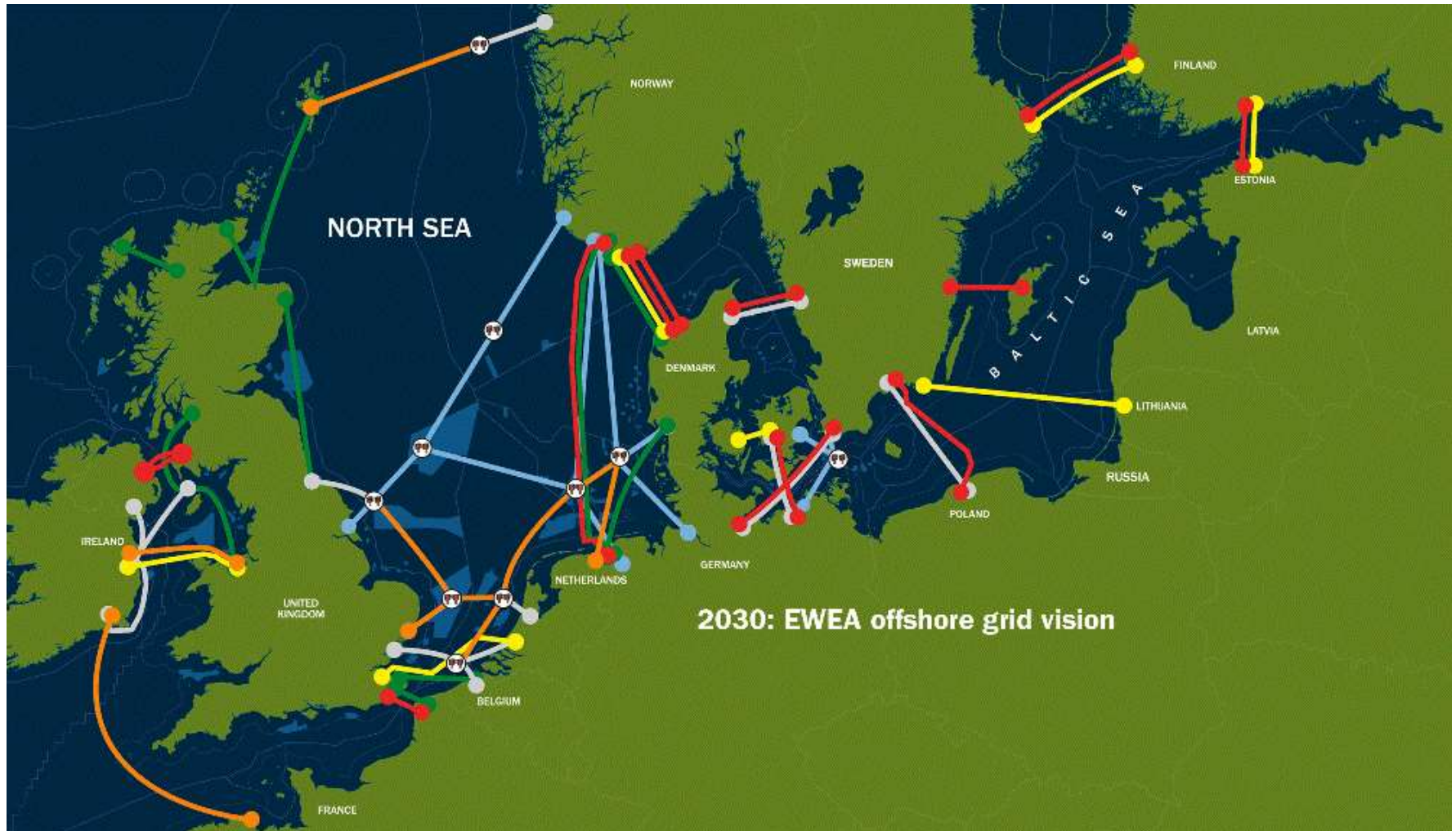
Το μέγεθος των Α/Γ αυξάνει συνεχώς



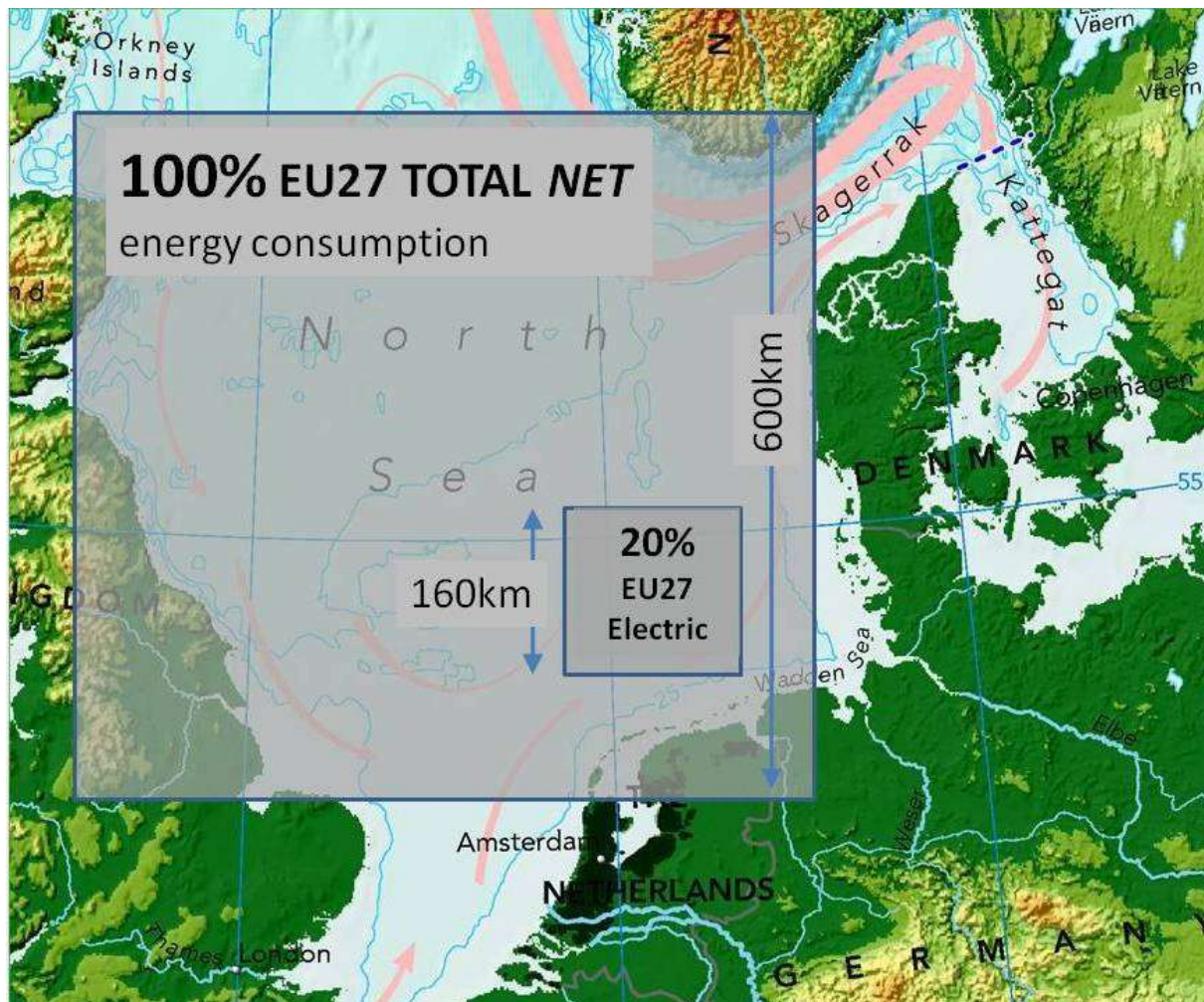
2010



Ενίσχυση και επέκταση των δικτύων



Ο χώρος υπάρχει



Οι βασικές τεχνολογικές προκλήσεις

- **Οικονομικότερες** στηρίξεις - θεμελιώσεις
- **Κατασκευή** πολύ μεγάλων ανεμογεννητριών
- Μείωση των αναπτυσσόμενων φορτίων
- Αύξηση της απόδοσης
- «Μεγέθυνση» των ανεμογεννητριών
- Σημαντική **μείωση του κόστους** λειτουργίας και συντήρησης

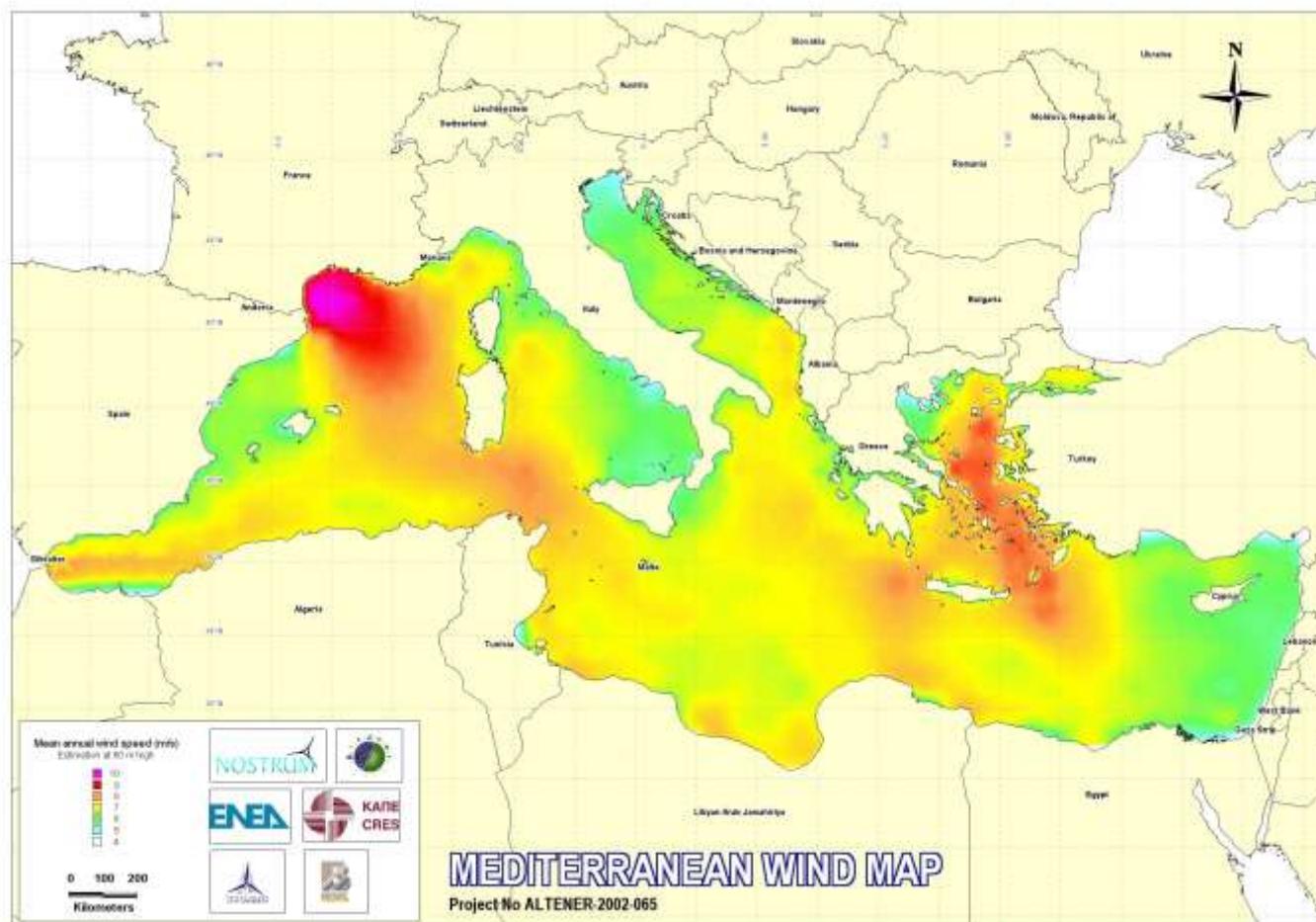


ΚΑΠΕ
CRES

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι Ελληνικές δυνατότητες

Το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας είναι πολύ σημαντικό



Αλλά τα μεγάλα βάθη περιορίζουν τις δυνατότητες (με την υπάρχουσα τεχνολογία)

Απόσταση: 3-24km

Βάθος: < 20m

**Διαθέσιμη έκταση:
1160km²**

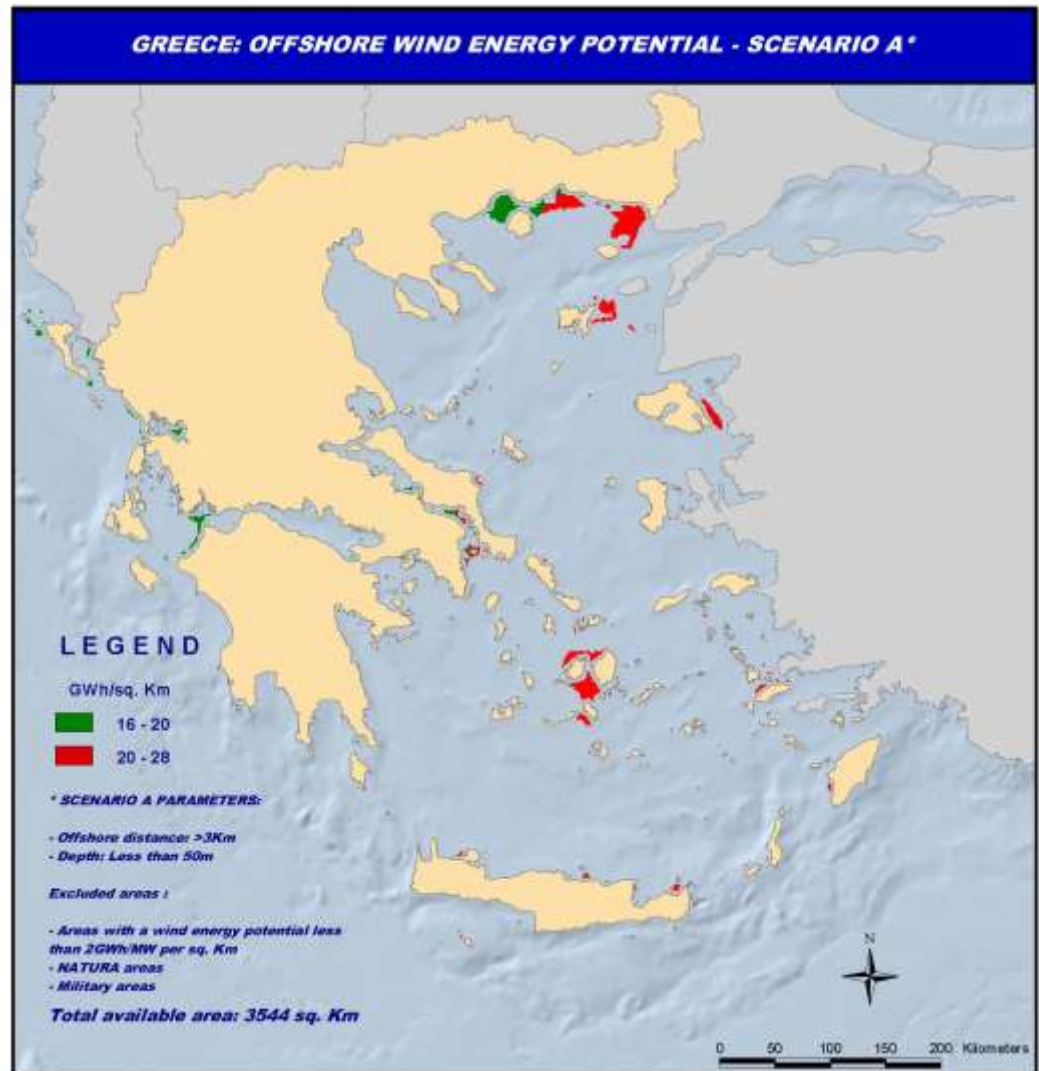


Με την τεχνολογία που αναπτύσσεται όμως διπλασιάζονται οι δυνατότητες

Απόσταση: >3km

Βάθος: < 50m

Διαθέσιμη έκταση:
3544km²



- *Το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό είναι μεγάλο*
- *Το κόστος των υπεράκτιων αιολικών σταθμών είναι μεγαλύτερο από αυτό των σταθμών στη στεριά*
- *Το κόστος της θεμελίωσης, του δικτύου σύνδεσης καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι αυτά που κάνουν τη μεγάλη διαφορά*
- *Η Ελλάδα διαθέτει υπεράκτιο αιολικό δυναμικό – Μπορεί να το αξιοποιήσει κυρίως μέσω τεχνολογιών μεγάλου βάθους*

Υπεράκτιοι αιολικοί σταθμοί

Ευχαριστώ πολύ



ΚΑΠΕ
CRES

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ