

## Πλωτά Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα σε Βαθιά Νερά και Υβριδικά Συστήματα Προσωρινής Αποθήκευσης και Ανάκτησης της Ενέργειας



# Μια σημαντική αναπτυξιακή προοπτική για τη χώρα

Του Δρος Αντώνη Δασκαλάκη  
Ναυπηγού Μηχανολόγου και Θαλάσσιου Μηχανικού\*

### 1. Εισαγωγικά

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα αναπτύσσονται σήμερα με ταχείς ρυθμούς δεδομένου ότι προσφέρουν καλύτερης ποιότητας αιολικό δυναμικό, προσφέρουν νέο χώρο ανάπτυξης, που δεν είναι διαθέσιμος στον χερσαίο χώρο, υπερβαίνουν σοβαρά προβλήματα κοινωνικής αποδοχής, περιβαλλοντικών προβλημάτων, αλλά και περιβαλλοντικού ακτιβισμού και φαινόμενα τύπου NIMBY (Not In My Back Yard) που αποτελούν μια από τις βασικότερες αιτίες καθυστέρησης ή και ματαίωσης επενδύσεων.

Μάλιστα η διαθεσιμότητα και η συνέχεια χώρου στις θαλάσσιες περιοχές θα δώσει τη δυνατότητα μεγάλων συγκεντρωμένων επενδύσεων που σήμερα δεν είναι δυνατές στο ανάγλυφο και στο κατακερματισμένο τερνόν του χερσαίου Ελληνικού και όχι μόνο χώρου.

Σήμερα επενδύσεις σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις γίνονται διεθνώς σε περιοχές βαθών μέχρι 40 μέτρα με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε πλατφόρμες, εδραζόμενες με διάφορους τρόπους, στον πυθμένα της θάλασσας.

Περιοχές με τέτοια βάθη υπάρχουν ακόμα διαθέσιμες σε χώρες που βρίσκονται στην πρωτοπορία στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών,

όπως η Δανία, η Γερμανία, το UK κλπ. και το κίνητρο για επενδύσεις σε βαθιά νερά είναι ακόμα μικρό.

Στη χώρα μας όμως οι περιοχές με τέτοια βάθη νερού είναι περιορισμένες και αυτές που υπάρχουν βρίσκονται κοντά στις ακτές όπου τα προβλήματα και οι περιορισμοί που προαναφέρθηκαν για τον χερσαίο χώρο υφίστανται και μάλιστα σε μεγαλύτερη ένταση.

**Είναι επομένως σημαντικό θέμα για τη χώρα μας να αναπτύξει εκείνη τις τεχνολογίες που είναι αναγκαίες για να καταστούν βιώσιμες επενδύσεις σε πλωτά συστήματα ικανά να εγκατασταθούν σε βαθιά νερά.**

Γενικότερα, θα λέγαμε, η χώρα μας οφείλει να αναπτύξει θαλάσσιες τεχνολογίες και να βρεθεί στην πρωτοπορία στον τομέα αυτό, δεδομένης της γεωγραφικής της διαμόρφωσης και της εξάρτησης της οικονομικής και κοινωνικής της ανάπτυξης από τον θαλάσσιο και παράκτιο χώρο.

Προσπάθειες ανάπτυξης τέτοιων τεχνολογιών, που θα επιτρέψουν την αξιοποίηση περιοχών με βαθιά νερά, έχουν καταβληθεί και καταβάλλονται στα πλαίσια της «Θαλάσσια Ενεργειακά Συστημάτα ΑΕ» και η πρόσδος που έχει συντελεστεί είναι σημαντική δεδομένων και των συνθηκών που αναπτύσσονται οι ερευνητικές και αναπτυξιακές μας

Περιοχή Βαθών	Επιφάνεια (Κm <sup>2</sup> )	Δυναμικότητα (MW)	Εκμεταλλεύσιμη Δυναμικότητα (MW)	Μέσο μέγεθος Πάρκου ανά περιοχή
Έως 40 μέτρα	5.000	50.000	2.500	20
Έως 300 μέτρα	50.000	1.250.000	125.000	200
Περιοχές ΥΠΕΚΑ	635		420	30

Πίνακας 1.

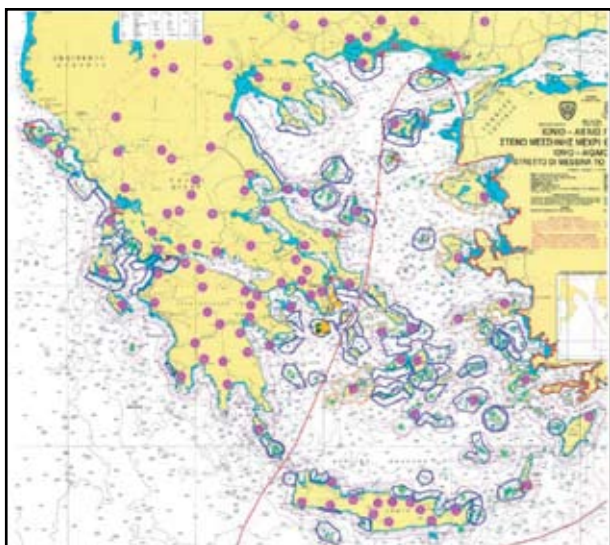
προσπάθειες με την απουσία του κράτους, την έλλειψη οποιουδήποτε ευρύτερου σχεδίου και προοπτικής.

Κυρίως όμως με την καλλιέργεια μιας νοοτροπίας αυτουποβάθμισής μας ως λαού, αλλά και ως επιστημονικού και τεχνικού δυναμικού, αυτουποβάθμισης των πραγματικών του δυνατοτήτων να προσφέρουν στην ανάπτυξη της χώρας.

Στα επόμενα θα γίνει μια προσπάθεια παρουσίασης βασικών τεχνολογικών ευρημάτων στον τομέα των θαλάσσιων τεχνολογιών, ιδιαίτερα των τεχνολογιών για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού στον θαλάσσιο χώρο. Θα γίνει μια προσπάθεια να αξιολογηθεί το μέγεθος του ενεργειακού αποθέματος που καθίσταται αξιοποιήσιμο και των επιπτώσεων στην οικονομία και στην ανάπτυξη της χώρας από την τυχόν αξιοποίησή του.

## 2. Μια πρώτη εκτίμηση του θαλάσσιου αιολικού δυναμικού της χώρας

Στο σχήμα 1 δίδεται Υδρογραφικός χάρτης της Ελλάδας με χαραγμένα τα όρια των χωρικών υδάτων. Επί του χάρτη έχουν σημειωθεί οι θαλάσσιες περιοχές, εντός χωρικών υδάτων, με βάθη νερού έως 40 μέτρα (πράσινη γραμμή), καθώς και οι περιοχές με βάθη έως 200 μέτρα (μπλε γραμμή). Επίσης με κόκκινη γραμμή έχουν σημειωθεί οι περιοχές υπεράκτιων αιολικών πάρκων που έχουν ήδη θεσμοθετηθεί από το ΥΠΕΚΑ.



Σχήμα 1: Χάρτης αξιοποιήσιμων θαλάσσιων περιοχών του Ελληνικού θαλάσσιου συμπλέγματος

Είναι προφανές ότι στη χώρα μας οι περιοχές των 30-40 μέτρων είναι περιορισμένες σε συνολική έκταση, βρίσκονται κοντά σε ακτές και κατά τεκμήριο είναι περιοχές με άλλες αναπτυξιακές δυνατότητες και προτεραιότητες (τουρισμός, αλιεία κλπ).

Παράλληλα όμως είναι πρόδηλο ότι οι περιοχές αυτές είναι αποσπασμένες και δίδουν τη δυνατότητα για εγκαταστάσεις μικρής δυναμικότητας όπου το κόστος μεταφοράς της ενέργειας είναι σημαντικό κάνοντας την όλη επένδυση αμφίβολης οικονομικής βιωσιμότητας.

Μια πρώτη εκτίμηση δίδουν τα βασικά στοιχεία στον πίνακα 1:

Τα στοιχεία του πίνακα δίδουν την τεχνική μόνο δυνατότητα αξιοποίησης και όχι την οικονομική. Αν ληφθεί υπόψη αυτή η οικονομική βιωσιμότητα τα δεδομένα καθίστανται συντριπτικά σε βάρος των αβαθών νερών δεδομένου ότι οι μικρής δυναμικότητας εγκαταστάσεις παρουσιάζουν πολύ μεγάλο κόστος μεταφοράς της ενέργειας καθώς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανά μονάδα και η οικονομική τους βιωσιμότητα τίθεται εν αμφιβόλω.

Με δυνατότητα εγκατάστασης αιολικών πάρκων σε μεγάλα βάθη νερού και αξιοποίησης αυτών των περιοχών ξανοίγεται ένα τεράστιο αναπτυξιακό πεδίο ικανό να καταστήσει τη χώρα μεγάλο ενεργειακό παραγωγό, αλλά και όπως θα επισημανθεί στα επόμενα, να τροφοδοτήσει με δουλειά ένα τεράστιο παραγωγικό τομέα της χώρας με χιλιάδες θέσεις εργασίας.

Πέρα όμως από το πρόβλημα του βάθους θεμελίωσης που προαναφέρθηκε υπάρχουν και άλλοι σοβαροί τεχνικοί λόγοι που θέτουν περιορισμούς στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών.

Ο βασικότερος όλων είναι η ίδια η φύση της αιολικής ενέργειας που βασίζεται σε ένα "καύσιμο", καθαρό μιν, που προσφέρεται δωρεάν, αλλά που έχει στοχαστικό χαρακτήρα, η διαθεσιμότητά του δεν συμβαδίζει με τη ζήτηση και η μεταβλητότητά του δημιουργεί τεράστια προβλήματα ευστάθειας του δικτύου στο οποίο διοχετεύεται.

Τα τεχνικά αυτά προβλήματα επιβάλλουν περιορισμούς στο ποσοστό της συνολικής ισχύος που μπορεί να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και περιορίζουν ακόμα περισσότερο τις δυνατότητες αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με συστήματα προσωρινής αποθήκευσης ενέργειας με τη μορφή πεπιεσμένου αέρα σε αεροφυλάκια τύπου μπαλονιού εγκατεστημένα στο βυθό της θάλασσας και μεθόδους ανάκτησης της ενέργειας αυτής που μπορούν ταυτόχρονα να αξιοποιούν και άλλες ήπιες μορφές ενέργειας.

Παρά το γεγονός ότι το παρόν άρθρο δεν μπορεί να υπεισέλθει σε τεχνικές λεπτομέρειες, στα επόμενα δίδεται μια σύντομη παρουσίαση των τεχνολογιών που αναπτύσσονται στους δύο κρίσιμους τομείς που προαναφέρθηκαν, ήτοι στις τεχνολογίες βαθέων υδάτων και στις τεχνολογίες προσωρινής αποθήκευσης για να δοθεί το μέτρο των δυνατοτήτων που ξανοίγονται για την ανάπτυξη αυτής της χώρας.

## 3. Τεχνολογίες βαθέων υδάτων

Θα πρέπει εξ αρχής να σημειωθεί ότι τεχνολογίες βαθιών νερών έχουν ήδη αναπτυχθεί και εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία στον πετρελαϊκό τομέα και έχουν δώσει τη δυνατότητα όχι μόνο έρευνας, αλλά και εκμετάλλευσης κοιτασμάτων σε πολύ μεγάλα βάθη νερού που ξεπερνούν



τα 2.000 μέτρα.

Η τεχνολογία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί αφού βέβαια ληφθούν υπόψη οι τεχνικές και οικονομικές ιδιομορφίες μιας αιολικής εγκατάστασης, πράγμα που εκφεύγει των ορίων του παρόντος.

Μια βασική κατηγορία πλωτών συστημάτων που προορίζεται για βαθιά νερά είναι αυτή της εντατικής επίπλευσης, tension leg όπως έχει επικρατήσει να λέγεται στον πετρελαιικό τομέα. Την τεχνολογία αυτή έχουμε ήδη αναπτύξει σχεδιάζοντας πλατφόρμες ικανές να φέρουν ανεμογεννήτριες 3 και πλέον MW.

Για λόγους παρουσίασης και μόνο δίδονται τα ακόλουθα σχήματα:

Στο σχήμα 2 δίδεται, σε τρισδιάστατη εικόνα, πλατφόρμα εντατικής επίπλευσης που έχει σχεδιασθεί και είναι ικανή να φέρει ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 850 KW και ικανή να εγκατασταθεί σε μεγάλα βάθη νερού που υπερβαίνουν τα 200 μέτρα.

Στο σχήμα 3 δίδεται μια σύγκριση του τρόπου που κινείται ένα σύστημα σε εντατική επίπλευση σε σχέση με ένα κλασσικό πλωτό σύστημα που επιπλέει ελεύθερα.

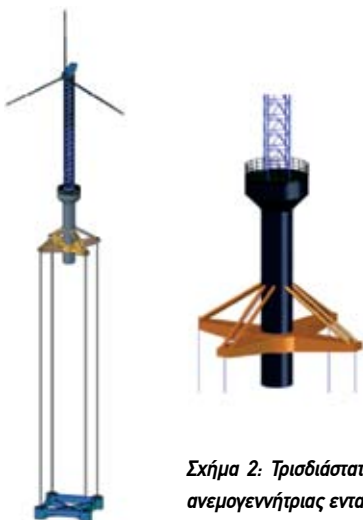
Μια βασική παρατήρηση είναι ότι το σύστημα σε εντατική επίπλευση κινείται πάντα με το κατάστρωμά του οριζόντιο σε αντίθεση με το ελεύθερα επιπλέον που παρουσιάζει γωνιακές κινήσεις. Η ιδιότητα αυτή είναι ιδιαίτερως χρήσιμη για εφαρμογές στον τομέα των αιολικών όπου ο ιστός μπορεί να έχει ύψος πάνω και από 100 μέτρα.

Στο σχήμα 4 δίδεται μια όμοια γεωμετρικά πλατφόρμα που σχεδιάζεται για να φέρει ανεμογεννήτρια 3 MW.

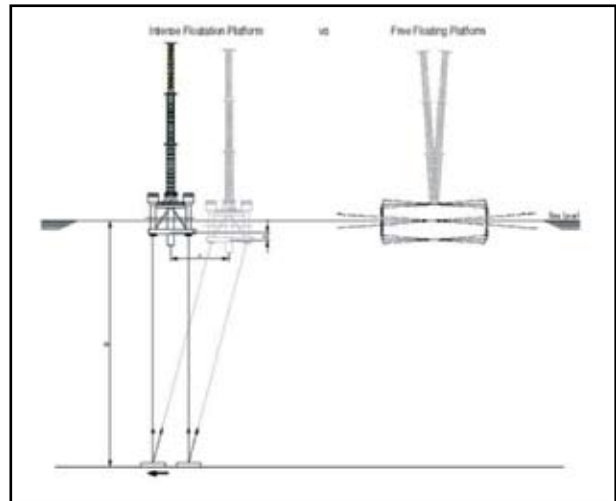
Το μέγεθος αυτό είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη μεγάλων αιολικών πάρκων στην Ελληνική επικράτεια και είναι απόλυτα ρεαλιστικό τουλάχιστον από τεχνικής άποψης. Για την οικονομική πλευρά του ζητήματος αναφορά γίνεται στα επόμενα.

Στο σχήμα 5 δίδεται ο τύπος των γραμμών αγκύρωσης που αναπτύσσονται και είναι τύπου «μπλοκ», όπου η κάθε γραμμή αγκύρωσης συνίσταται από πολλαπλές γραμμές παρέχοντας την αναγκαία αντοχή και εφεδρική αντοχή. Αντίστοιχης φιλοσοφίας είναι και η σχεδίαση των αγκυρών συγκράτησης της πλατφόρμας.

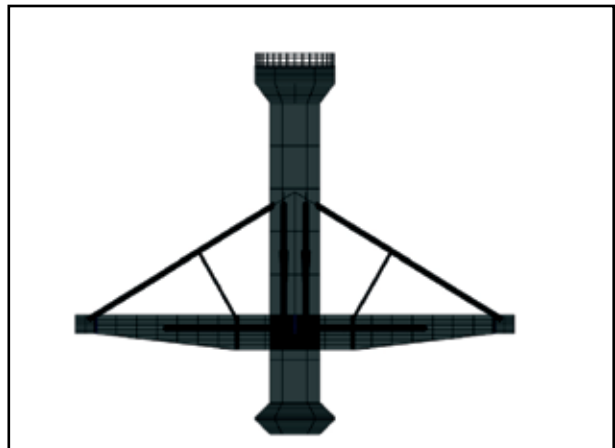
Στο σχήμα 6 δίδεται ειδική πλωτή πλατφόρμα εντατικής επίπλευσης, αυτοεγκαθιστούμενη με αναδιπλούμενο ιστό μεγάλου ύψους ικανή να μετράει όλες τις βασικές παραμέτρους σχεδίασης ενός αιολικού πάρκου (ταχύτητες και διευθύνσεις ανέμου, ταχύτητες ρευμάτων, ύψη και περίόδους κυμάτων κλπ).



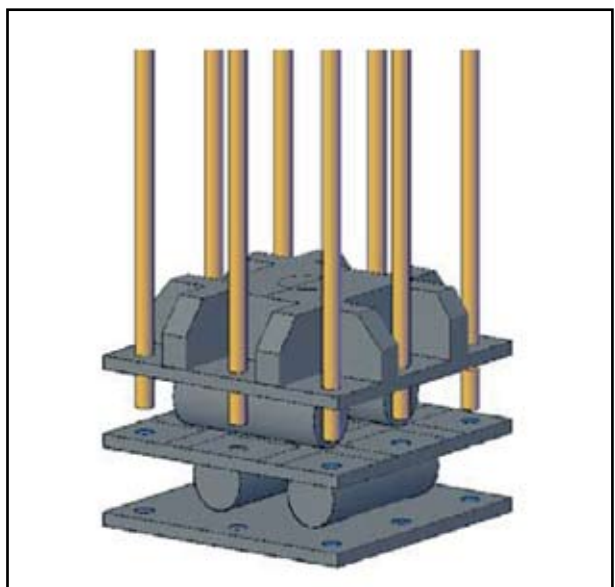
**Σχήμα 2:** Τρισδιάστατη απεικόνιση πλατφόρμας ανεμογεννήτριας εντατικής επίπλευσης.



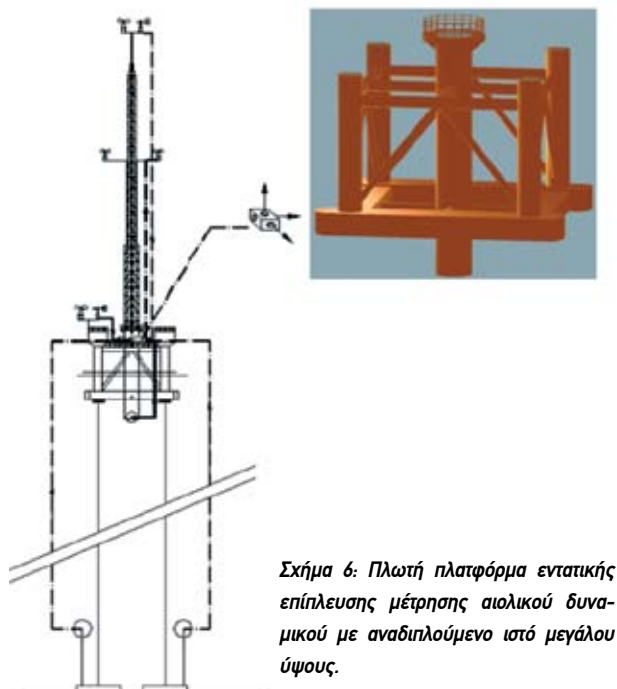
**Σχήμα 3.** Σύγκριση του διαφορετικού τρόπου που κινείται μια πλατφόρμα σε εντατική επίπλευση σε σύγκριση με μια ελεύθερα επιπλέουσα.



**Σχήμα 4.** Πλατφόρμα εντατικής επίπλευσης ικανής να φέρει ανεμογεννήτρια 3 MW.



**Σχήμα 5:** Γραμμή αγκύρωσης σε μορφή Μπλοκ πολλαπλών γραμμών.



**Σχήμα 6:** Πλωτή πλατφόρμα εντατικής επίπλευσης μέτρησης αιολικού δυναμικού με αναδιπλούμενο ιστό μεγάλου ύψους.

#### 4. Υβριδικά Συστήματα με προσωρινή αποθήκευση ενέργειας και εξασφάλισης ελεγχόμενης παροχής ισχύος προς το δίκτυο με αξιοποίηση και άλλων ήπιων μορφών ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε η αιολική ενέργεια έχει άστατο χαρακτήρα λόγω του στοχαστικού χαρακτήρα του ανέμου και η διαθεσιμότητα του «καυσίμου» δεν συμπίπτει με την ζήτηση.

Όμως εκτός της αναντιστοιχίας προσφοράς και ζήτησης η παραγόμενη ενέργεια έχει μεγάλη μεταβλητότητα μη προβλέψιμη ούτε σε μικρό, αλλά ούτε και σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα.

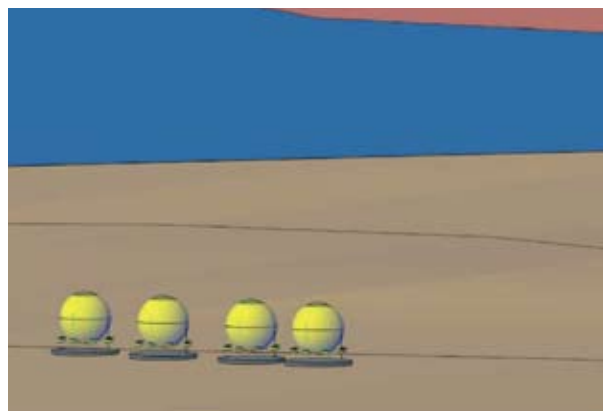
Το στοιχείο αυτό σε συνδυασμό με την ίδια τη φύση της ζήτησης που και αυτή έχει στατιστικό χαρακτήρα και σε ένα μεγάλο μέρος της είναι απρόβλεπτη, δημιουργεί τεράστιο πρόβλημα στον διαχειριστή του δικτύου ο οποίος οφείλει ανά πάσα χρονική στιγμή να διατηρεί την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Προς αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων έχουμε αναπτύξει συστήματα προσωρινής αποθήκευσης της ενέργειας με τη μορφή πεπιεσμένου αέρα σε αεροφυλάκια τύπου μπαλονιού που εγκαθίστανται στον βυθό της θάλασσας.

Στο σχήμα 7 δίδεται η μορφή μιας τέτοιας εγκατάστασης μπαλονιών με ελαστικό περίβλημα. Το μπαλόνι περιβάλλεται με ειδικής κατασκευής δίκτυο στο οποίο αναρτώνται βάρη που εξασφαλίζουν την ομαλή συρρίκνωση του σε άφορτη κατάσταση, ενώ σε έμφορτη κατάσταση λειτουργούν αθροιστικά στις άγκυρες βαρύτητας που συγκρατούν το μπαλόνι αγκυρωμένο στο βυθό.

Μπαλόνια αυτού του τύπου με διάμετρο έως και 50 μέτρα και χωρητικότητα  $65.000 \text{ m}^3$  αναπτύσσονται σήμερα σε συνεργασία με συνεργαζόμενη εταιρεία που ειδικεύεται σε κατασκευές με ειδικό πλαστικό ύφασμα.

Το πλεονέκτημα της εγκατάστασης στο βυθό της θάλασσας σε μεγάλα βάθη νερού είναι τεράστιο δεδομένου ότι η επικρατούσα πίεση είναι μεγάλη και σταθερή, η εσωτερική πίεση του αέρα ισοσταθμίζεται με την



**Σχήμα 7:** Συστοιχία μπαλονιών εγκατεστημένων στο βυθό

ομοιόμορφα κατανεμημένη πίεση του νερού στην εξωτερική επιφάνεια του μπαλονιού. Αυτό καθιστά δυνατή την κατασκευή αεροφυλακίων μεγάλων διαστάσεων με ελαφρά υλικά χαμηλών απαιτήσεων αντοχής. Ανάλογα με το βάθος νερού η πίεση μπορεί να είναι πολύ μεγάλη (10 bar στα 100 m νερού, 15 bar στα 150 m κλπ) και η ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί είναι επίσης πολύ μεγάλη.

Τυπικοί υπολογισμοί δίδουν τα ακόλουθα χονδρικά στοιχεία:

- Μια τυπική ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 3 MW με μέση ισχύ 1,3MW, σε διάρκεια 10 ωρών παράγει 1.300 KWh (capacity factor 43%).
- Σε βάθος νερού περί τα 200 μέτρα με πίεση 20 bar ο απαιτούμενος χώρος αποθήκευσης ανέρχεται σε περίπου  $8.000 \text{ m}^3$  εξαρτώμενος όμως σε μεγάλο βαθμό από τις επικρατούσες θερμοκρασίες.
- Ένα μπαλόνι διαμέτρου 50 μέτρων με όγκο περί τα  $65.000 \text{ m}^3$  μπορεί επομένως να χωρέσει την παραγωγή 8 ανεμογεννητριών, του μεγέθους που περιγράψαμε, για 10 ώρες.

Ο πεπιεσμένος αέρας παράγεται από αεροσυμπιεστές που λειτουργούν με ηλεκτρικούς κινητήρες που τροφοδοτούνται από το δίκτυο των ανεμογεννητριών.

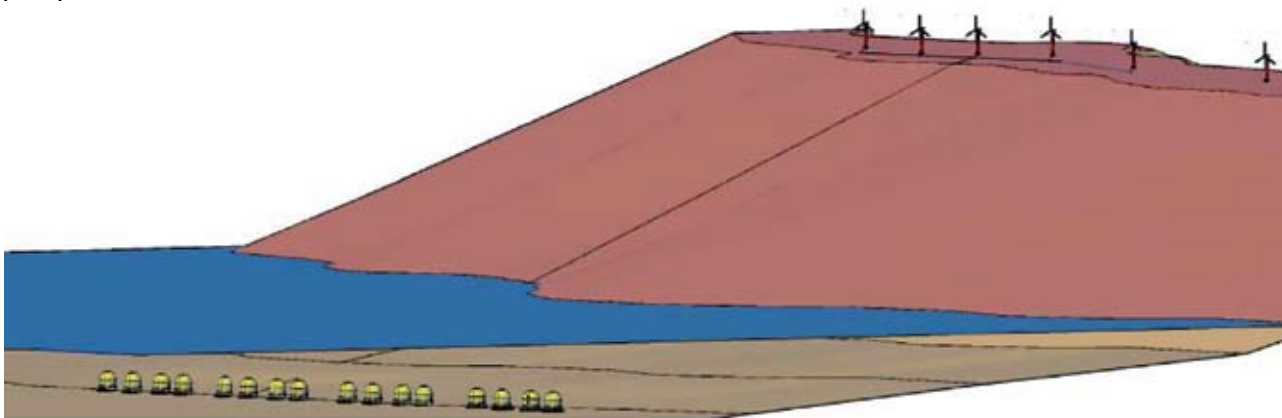
Σύστημα αυτομάτου ελέγχου καθορίζει την ποσότητα της ηλεκτρικής ισχύος που μετατρέπεται σε πεπιεσμένο αέρα.

Το σύστημα αυτομάτου ελέγχου εξασφαλίζει ότι σε περιόδους χαμηλής ζήτησης το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος αποθηκεύεται με τη μορφή πεπιεσμένου αέρα, αλλά ταυτόχρονα εξασφαλίζει ότι και το μεγαλύτερο μέρος της γρήγορα μεταβαλλόμενης ισχύος απορροφάται από τους αεροσυμπιεστές καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, αποδίδοντας έτσι στο δίκτυο υψηλής ποιότητας ομαλή ηλεκτρική ενέργεια και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή του δικτύου.

Σε περιόδους υψηλής ζήτησης ο αποθηκευμένος πεπιεσμένος αέρας εκτονώνεται σε αεροτουρμπίνες. Μάλιστα, δεδομένου ότι η πίεση στα αεροφυλάκια διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια της εκτόνωσης, ίση με τη πίεση του νερού στο βάθος αποθήκευσης, η ποιότητα της παραγόμενης ενέργειας είναι ιδιαίτερως υψηλή και ελεγχόμενη (σταθερή συχνότητα, τάση, αλλά και ένταση ρεύματος).

Στο σχήμα 8 δίδεται μια τρισδιάστατη εικόνα μιας εγκατάστασης που μάλιστα λειτουργεί με ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες στη στεριά.

Είναι γνωστό ότι κατά την εκτόνωση του πεπιεσμένου αέρα η θερμοκρασία του πέφτει δραματικά και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα καύσης, κυρίως φυσικού αερίου για την αναθέρμανση του



Σχήμα 8: Μια απεικόνιση συστάδας χερσαίων ανεμογεννητριών με σύστημα αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα.

αέρα. Ένα τέτοιο σύστημα βέβαια δεν είναι πλήρως καθαρής ενέργειας, ενώ έχει σημαντικό κόστος.

Το προτεινόμενο από εμάς σύστημα αποθήκευσης σχεδιάζεται ώστε να αξιοποιεί τη θερμότητα που παράγεται στους αεροσυμπιεστές κατά τη διάρκεια της συμπίεσης (ανάκτηση θερμότητας), αλλά και να αξιοποιεί άλλες ήπιες μορφές ενέργειας, όπως την ημερήσια διαφορά θερμοκρασίας, τη θερμότητα του θαλάσσιου νερού, θερμό νερό που παράγεται με ηλιακά πάνελς κλπ. για την αναθέρμανση του αέρα κατά τη φάση της εκτόνωσής του στις αεροτουρμπίνες.

Με ένα τέτοιο σχεδιασμό η εγκατάσταση μπορεί να υπερκαλύπτει όλες τις απώλειες που είναι συνυφασμένες με τις μετατροπές ενέργειας και σε ορισμένες περιπτώσεις καιρικών συνθηκών, που τις διαθέτει η χώρα μας, να παρέχει μεγαλύτερο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από εκείνο που χρησιμοποίησε για την παραγωγή του πεπιεσμένου αέρα (Βαθμός απόδοσης μεγαλύτερος της μονάδας!!!).

Σε περιπτώσεις που η εγκατάσταση βρίσκεται κοντά σε γεωθερμικά πεδία και η χώρα μας διαθέτει σημαντικά αναξιοποίητα τέτοια πεδία, αξιοποιείται η ενέργεια του θερμού γεωθερμικού νερού για την αναθέρμανση του αέρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο βαθμός απόδοσης μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερος της μονάδας.

Σημειώνεται ότι με τον τρόπο αυτό μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας, μη κατάλληλα για άμεση

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

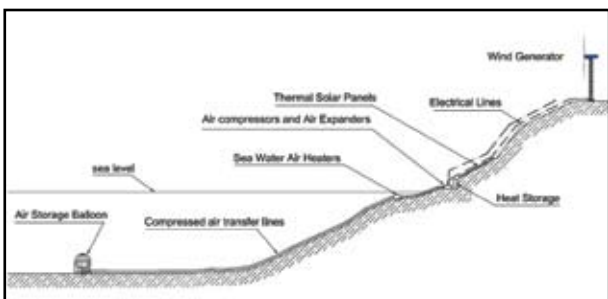
Στο σχήμα 9 δίδεται σχηματικά μια γεωγραφική διάταξη του προτεινόμενου συστήματος.

Επισημαίνεται τέλος ότι ολόκληρη η μονάδα, περιλαμβανομένων των δεξαμενών αποθήκευσης της ανακτώμενης από τους αεροσυμπιεστές θερμότητας, αλλά και του εξοπλισμού των αεροσυμπιεστών και αεροτουρμπινών, ηλεκτρικού εξοπλισμού κλπ μπορεί να εγκατασταθεί σε πλωτό σύστημα, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.

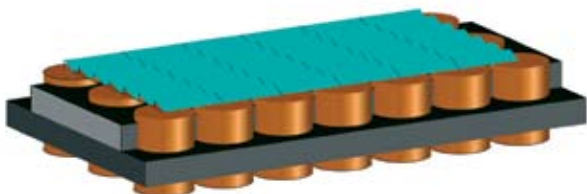
**Σημείωση:** Το αναπτυσσόμενο σύστημα αποθήκευσης και επανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα σε μπαλόνια εγκατεστημένα στο βυθό της θάλασσας αποτελεί τεχνική λύση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κλίμακα του εθνικού δικτύου. Μάλιστα λόγω της δυνατότητας ελέγχου και αντίδρασης σε μικρό χρόνο, η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιείται για την ταχεία εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης του δικτύου (spinning reserve).

### 5. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου υπεράκτιου αιολικού πάρκου- Τυπικό παράδειγμα

Με βάση όσα προαναφέρθηκαν έχουν επισημανθεί πολλές περιοχές της χώρας όπου μπορούν να αναπτυχθούν αιολικά πάρκα τεράστιας δυναμικότητας. Η ανάπτυξη συγκεντρωμένης ισχύος σε μεγάλο μέγεθος αιολικά πάρκα δημιουργεί σημαντικές οικονομίες κλίμακας, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά τα δίκτυα μεταφοράς της ενέργειας, στη λειτουργία και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων κλπ. Στο σχήμα 11 δίδεται η μορφή αιολικού πάρκου που σχεδιάστηκε προκαταρκτικά σε θάλασσα περιοχή κοντά στην Αττική και πλησίον Βραχονοσίδας (ελάχιστη απόσταση από τη Βραχονοσίδα 3,5 χιλιόμετρα). Το πάρκο σχεδιάζεται σε μπλοκ και για λόγους σταδιακής ανάπτυξης του έργου, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τη μορφολογία του πυθμένα. Το σχεδιαζόμενο πάρκο έχει τα ακόλουθα μεγέθη:



Σχήμα 9: Γεωγραφική διάταξη του συστήματος αποθήκευσης-ανάκτησης με χερσαίες Α/Γ.



Σχήμα 10. Διάταξη πλωτού σταθμού υποστήριξης θαλάσσιου αιολικού πάρκου.

Συνολική επιφάνεια που αξιοποιείται:	45	Km <sup>2</sup>
Συνολικός αριθμός εγκατεστημένων μονάδων Α/Γ:	425	
Ονομαστική ισχύς Α/Γ:	3	MW
Συνολική ονομαστική ισχύς πάρκου:	1275	MW (1,275 GW)
Συντελεστής ισχύος (capacity factor):	45	%
Μέση ισχύς αιολικού πάρκου:	573	MW
Μέση παραγόμενη ετήσια ηλεκτρική ενέργεια:	5.000.000	MWh
Ισοδύναμη ποσότητα πετρελαίου:	1.400.000	t

Όμως προσοχή. Η μονάδα με την εγκατάσταση συστήματος αποθήκευσης και ανάκτησης θερμότητας θα έχει πραγματική ισχύ, την περίοδο της μεγάλης ζήτησης (10 ή 12 ώρες ανά ημέρα) που θα προσεγγίζει το 1,3 GW και θα μπορεί να παρέχει περί τις 5.350.000 MWh ετησίως.

Ύψος επένδυσης:	3 δισ. €
-----------------	----------

Στην επένδυση περιλαμβάνεται και η εγκατάσταση αποθήκευσης της ενέργειας, οι εγκαταστάσεις ανάκτησης θερμότητας και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον πεπιεσμένο αέρα, καθώς και το κόστος μεταφοράς της ενέργειας σε κατάλληλο χερσαίο σημείο για την έγχυσή της στο δίκτυο.

Με βάση τα στοιχεία της ΠΑΕ η ηλεκτροπαραγωγή της χώρας κατανέμεται, ανά είδος καυσίμου, ως ακολούθως:

Εγκατεστημένη ισχύς ανά είδος καυσίμου	
Λιγνίτης	4,808.0 MW
Πετρέλαιο	1,160.0 MW
Φυσικό αέριο	2,447.7 MW
Υδροηλεκτρικά	3,022.9 MW
ΑΠΕ	995.2 MW
Σύνολο	12,433.8 MW

Από το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος το 80% περίπου βρίσκεται στη βόρεια Ελλάδα και ιδιαίτερα στα πεδία Κοζάνης και Φλώρινας.

Στην Αττική είναι εγκατεστημένο περίπου το 16% της συνολικής ισχύος (1932 MW), όταν εδώ καταναλώνεται περίπου το 32% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως η Αττική "εισάγει" πάνω από το μισό των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται κυρίως από τη Βόρεια Ελλάδα σε αποστάσεις άνω των 500 χιλιομέτρων με τεράστιες απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς.

Με βάση τα προαναφερόμενα στοιχεία η υπό εξέταση υβριδική μονάδα με πραγματικά εγκατεστημένη ισχύ περί τα 1,3 GW:

- ✓ Υποκαθιστά την παραγόμενη ενέργεια από το πετρέλαιο, στο σύνολο της χώρας
- ✓ Καθιστά την Αττική σχεδόν αυτόνομη ενεργειακά
- ✓ Η ενέργεια που παράγεται μεταφέρεται με καλώδιο που δεν ξεπερνά σε μήκος τα 50 χιλιόμετρα (περιλαμβανομένου και του υποβρυχίου τμήματός του).

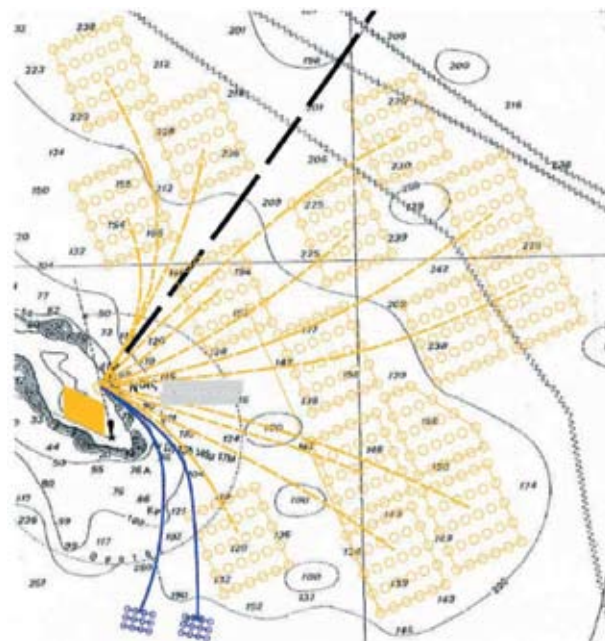
Επισημαίνεται ότι η περιοχή που εξετάζεται μπορεί να αποδώσει εγκατάσταση διπλάσια σε μέγεθος από αυτό που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα.

Πέρα από τα οικονομικά μεγέθη του έργου και τη βιωσιμότητα της ίδιας της επένδυσης εκείνο που έχει τεράστια σημασία και πρέπει να επισημανθεί είναι η δυνατότητα της εγχώριας βιομηχανίας να συμμετάσχει ενεργά στην ανάπτυξή του.

Όλες οι πλατφόρμες ανεμογεννητριών, τα συστήματα αγκύρωσης, τα σκάφη υποστήριξης, οι πλωτοί σταθμοί κλπ μπορούν να κατασκευασθούν στην χώρα μας με αξιοποίηση του αργούντος δυναμικού των ναυπηγείων της χώρας και όχι μόνο.

Ο απαιτούμενος ηλεκτρικός εξοπλισμός μπορεί να κατασκευασθεί, στο μεγαλύτερο ποσοστό του, στη χώρα μας.

Ακόμα ένα τέτοιο έργο από μόνο του θα μπορούσε να υποστηρίξει την ανάπτυξη μονάδας κατασκευής ανεμογεννητριών στη χώρα μας σε



Σχήμα 11: Θαλάσσιο αιολικό πάρκο. Τυπική διάταξη

συνεργασία με ξένο οίκο.

Από την προκαταρκτική σχεδίαση προκύπτουν ορισμένα ενδεικτικά στοιχεία:

- Αριθμός πλατφορμών για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών : 425
- Εκτιμώμενο βάρος μεταλλικής κατασκευής: 210.000 t
- Εκτιμώμενος αριθμός Εργατωρών κατασκευής: 16.800.000 ΕΩ

**Μόνο το στοιχείο αυτό υποδεικνύει περίπου 2.500 θέσεις εργασίας για πέντε έως επτά έτη, ήτοι σχεδόν πλήρη κάλυψη της δυναμικότητας των μεγάλων ναυπηγείων της χώρας.**

Εκτός όμως από τα οικονομικά μεγέθη στη φάση ανάπτυξης ενός τέτοιου έργου υπάρχουν και τα οικονομικά μεγέθη της λειτουργίας του.

Το έργο αυτό όπως προαναφέρθηκε μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος των αναγκών της Αττικής σε ηλεκτρική ενέργεια και θα απαλλάξει τη χώρα από ένα τεράστιο βάρος εισαγωγών σε καύσιμα, ενώ σημαντικό ποσοστό του μπορεί να εξάγεται.

Η επίπτωσή του στο ισοζύγιο τρεχουσών συναλλαγών της χώρας, που είναι και το μεγάλο της πρόβλημα, είναι εμφανής.

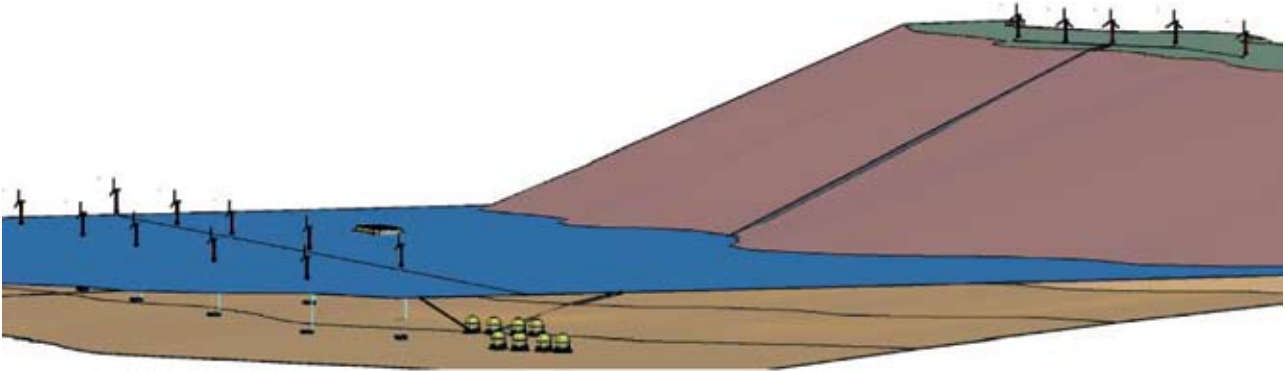
## 5. Προοπτικές ευρύτερης ανάπτυξης

Από την εξέταση του χάρτη του σχήματος 1 στο θαλάσσιο χώρο του Αιγαίου και Ιονίου μπορούν να αναπτυχθούν περισσότερα από 20 θαλάσσια αιολικά πάρκα μεγέθους ίσου ή και πολύ μεγαλύτερου του προηγούμενου παραδείγματος.

Από αυτά περίπου 10 τέτοια έργα μπορούν να αναπτυχθούν σε περιοχές κοντά σε γεωθερμικά πεδία με δυνατότητα επαύξησης του παραγόμενου αιολικού δυναμικού ακόμα και κατά 50%.

Μια τέτοια προοπτική θα επέσυρε για τα επόμενα 15 με 20 χρόνια επενδύσεις άνω των 100 δισ. Ευρώ, συμπεριλαμβανομένων και των αγωγών σύνδεσης με τα Ευρωπαϊκά δίκτυα, θα δημιουργούσε χιλιάδες θέσεις εργασίας και θα καθιστούσε τη χώρα τον μεγαλύτερο ενεργειακό





**Άποψη μιας συνδυασμένης υβριδικής εγκατάστασης που δεν είναι ουτοπία**

τροφοδότη της Ευρώπης με μέση εξαγωγίμη ισχύ άνω των 30 GW.

Για να γίνουν πιο κατανοητές οι συνέπειες μιας τέτοιας εξέλιξης, η πώληση στα διευρωπαϊκά δίκτυα ενέργειας αυτού του μεγέθους ισοδυναμεί με 15 μονάδες του ΑΕΠ της χώρας, ενώ την απαλλάσσει από εισαγωγές πετρελαιοειδών ύψους άνω των 6 δισ. ετησίως, χωρίς φυσικά να παραγνωρίζεται η συμβολή στην αντιμετώπιση των φαινομένων της κλιματικής αλλαγής.

Βεβαίως ο αντίλογος είναι ότι τέτοια πράγματα δεν γίνονται και ότι κινούνται στη σφαίρα της ουτοπίας.

Πέρα από την παρατήρηση ότι εδώ που βρισκόμαστε μόνο στην ουτοπία μας μένει να αναζητήσουμε δρόμο, γιατί η καθημερινότητά μας συνεχώς μας πληγώνει, διαθέτω σημαντικά τεχνικά και τεχνολογικά

στοιχεία για να πεισθεί και ο πιο κακόπιστος για τη ρεαλιστικότητα του εγχειρήματος.

Οι τεχνολογίες που προτάσσονται στο παρόν άρθρο είναι αντικείμενα παρουσιάσεων σε διεθνή συνέδρια και δημοσιεύσεων σε διεθνή περιοδικά.

Σκοπός όμως είναι να αναδείξουμε τις τεράστιες πραγματικά δυνατότητες αυτού του τόπου και να αρχίσουμε με σύστημα και μέθοδο και κυρίως με εμπιστοσύνη στις δυνατότητές μας να χτίζουμε τη νέα ευημερία αυτού του τόπου. Ευημερία που θα πάψει να βασίζεται σε δανεικά και εξαρτήσεις, αλλά στις ίδιες τις παραγωγικές μας δυνατότητες.

Αυτό που παρουσιάσαμε εδώ είναι μια μόνο πλευρά των δυνατοτήτων της πληγωμένης αυτής χώρας.

