

Επιστημονική Ημερίδα
Αποθήκευση Ενέργειας στο Ελληνικό Ηλεκτρικό
Σύστημα, με Ορίζοντα το 2050: Ανάγκες, εμπόδια και
απαιτούμενες δράσεις
(Διοργάνωση στα πλαίσια του Ερευνητικού Έργου *stoRE*)

Γιούλα Τσικνάκου
Πολιτικός Μηχανικός

Παρασκευή, 29 Νοεμβρίου 2013

Έργα Αντλησοταμειευσης (ΑΤΣ) Pumped Hydroelectric Storage (PHS)

Επενδυτικοί στόχοι, προοπτικές και
εμπόδια για την ανάπτυξη
αποθήκευσης ενέργειας στο
ελληνικό σύστημα.

Σύντομο Ιστορικό

- Το πρώτο έργο ΑΤΣ στην Ευρώπη ήταν κοντά στην πόλη Schaffhausen της Ελβετίας στα σύνορα με την Ιταλία και είχε ισχύ 1 MW.
- Το πρώτο έργο ΑΤΣ στις ΗΠΑ λειτούργησε το 1930.
- Την ίδια περίοδο εμφανίσθηκαν και οι πρώτες στροβιλοαντλίες σταθερού αριθμού στροφών, αντί της ανεξάρτητης εγκατάστασης στροβίλων και αντλιών.

Μονάδες μεταβλητού αριθμού στροφών (1)

- Τομή απέτέλεσε η εγκατάσταση στροβιλοαντλιών μεταβλητού αριθμού στροφών (Variable Speed Units), περί τις αρχές της δεκαετίας του 1990 στην Ιαπωνία και περί τα τέλη στην Ευρώπη.
- Τα αποτελέσματα δεν είναι θεαματικά. Από τα εγκατεστημένα 127.000 MW υπάρχουν σε λειτουργία μόνο 17 Μονάδες μεταβλητού αριθμού στροφών, συνολικής ισχύος 3.569 MW και 19 Μονάδες υπό κατασκευή, συνολικής ισχύος 4.558 MW. Όλες είναι σε Ευρώπη, Κίνα, Ινδία, Ιαπωνία.

Μονάδες μεταβλητού αριθμού στροφών (2)

- Η απροθυμία των επενδυτών για την επιλογή αυτού του τύπου των Μονάδων βασίζεται:
 - Στο εξαιρετικά αυξημένο κόστος τους
 - Στην έλλειψη αναγνώρισης των αναβαθμισμένων χαρακτηριστικών τους και αντίστοιχης αμοιβής των προσφερόμενων επικουρικών υπηρεσιών από τους Διαχειριστές Συστήματος
 - Στην πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμών

Η εξέλιξη των Αντλησοταμιευτικών Συγκροτημάτων (ΑΤΣ) παγκοσμίως

- Αποτελούν την πλέον ώριμη τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (αντιπροσωπεύουν το 97% του συνολικού αποθηκευτικού δυναμικού και το 3% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως).
- Με στοιχεία του 2011 είναι σε όλον τον πλανήτη εγκατεστημένα 127.000 MW και ο ρυθμός ανάπτυξής τους είναι 15% ετησίως. Αναμένεται να φθάσουν τα 203.000 MW το 2014.

ΧΩΡΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
	(ΣΤΟΙΧΕΙΑ 2009)
Ιαπωνία	25.183
Ηνωμ. Πολιτείες	21.886
Κίνα	15.643
Ιταλία	7.544
Ισπανία	5.347
Γερμανία	5.223
Γαλλία	4.303
Αυστρία	3.580
Ηνωμ. Βασίλειο	2.744
Ελβετία	1.655
Πολωνία	1.406
Βέλγιο	1.307
Τσεχία	1.147
Λουξεμβούργο	1.100
Πορτογαλία	1.029
Σλοβακία	916
Βουλγαρία	864
Λετονία	760
Ελλάδα	699
Κροατία	293
Ιρλανδία	292

Έργα ΑΤΣ αδειοδοτημένα προς άμεση κατασκευή σε οκτώ χώρες της ΕΕ

ΧΩΡΑ	ΙΣΧΥΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ (MW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (hours)
Λουξεμβούργο	194	6
Γαλλία	1.100	
Αυστρία	1.115	127
Ηνωμ. Βασίλειο	1.260	
Πορτογαλία	1.660	38
Γερμανία	1.700	13
Ελβετία	2.140	61
Ισπανία	2.424	52
ΣΥΝΟΛΟ	11.593	

Η κατάσταση στην Ευρώπη (1)

- Στην Ευρώπη είναι εγκατεστημένα **45.000 MW** εκ των οποίων το 75% βρίσκεται στην Ιταλία, Γερμανία, Γαλλία και Ισπανία.
- Η μεγάλη ανάπτυξη των ΑΤΣ στην Ευρώπη, έγινε την περίοδο 1970-1990, προκειμένου να απορροφήσουν, τις βραδινές ώρες της χαμηλής ζήτησης, την περίσσεια παραγωγής των μεγάλων θερμικών και πυρηνικών Μονάδων και να ανταποκριθούν άμεσα στις απαιτήσεις των ημερησίων αιχμών. Την περίοδο αυτή εγκαταστάθηκαν περί τα **30.000 MW**.
- Ακολούθησε περίοδος βραδείας εξέλιξης. Την περίοδο 1990-2010 κατασκευάστηκαν στην Ευρώπη μόνο 15 νέα έργα ΑΤΣ, συνολικής ισχύος **5.600 MW**.
- Η δεκαετία 2010-2020 χαρακτηρίζεται από πραγματική έκρηξη. Πρόκειται να ολοκληρωθούν 60 νέες εγκαταστάσεις και να ενταχθούν **27.000 MW** νέων ΑΤΣ, τα οποία καλούνται να ενισχύσουν την ραγδαία είσοδο νέων Α/Π και Φ/Β, διαλείπουσας παραγωγής. Το ύψος επένδυσης σε έργα ΑΤΣ εκτιμάται σε €26 billion. Στο ποσόν αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται οι τεράστιες επενδύσεις σε δίκτυα διασύνδεσης οι οποίες πρέπει να προηγηθούν για να ενοποιήσουν κυρίως Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη

Η κατάσταση στην Ευρώπη (2)

- Η επανεκκίνηση του προγράμματος ΑΤΣ την παρούσα δεκαετία 2010-2020, βασίζεται στον Ευρωπαϊκό στόχο του 20-20-20 :
- 20% μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990
- 20% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη ενεργειακή κατανάλωση
- 20% εξοικονόμηση ενέργειας
- 10% συμμετοχή των ΑΠΕ, στη συνολική κατανάλωση μεταφορών

Για την επίτευξη του στόχου αυτού η Ευρώπη αξιοποιεί τις μεγάλες «μπαταρίες» της: Σκανδιναβία , Άλπεις, Πυρηναία

Η κατάσταση στην Ευρώπη (3)

ΙΒΗΡΙΚΗ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ

- Οι χώρες της Ιβηρικής Χερσονήσου αντιμετωπίζουν με μεγάλη επιτυχία την ταχύτατη είσοδο ανανεωσίμων (Α/Π και Φ/Β). Η απρόβλεπτη και διαλείπουσα παραγωγή τους απαιτεί αυξημένες ανάγκες αποθήκευσης. Συγκεκριμένα η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς της Ισπανίας είναι 108.000 MW, εκ των οποίων τα 22.400 MW (20,7%) είναι Α/Π και 6.300 MW (5,8%) Φ/Β.
- Αναμένεται , μέχρι το 2020 να ενταχθούν στην Ισπανία ~4000 MW ΑΤΣ. Η Ιβηρική χερσόνησος θα προηγηθεί έναντι όλων των άλλων ευρωπαϊκών χωρών στο ποσοστό ανανεώσιμων στο ενεργειακό της μείγμα.

Η κατάσταση στην Ευρώπη (4) ΓΕΡΜΑΝΙΑ – ΑΥΣΤΡΙΑ - ΕΛΒΕΤΙΑ

- Οι χώρες με την κατάλληλη γεωμορφολογία , παράδοση και με ισχυρές μεταξύ τους ηλεκτρικές διασυνδέσεις (Γερμανία, Αυστρία και Ελβετία). Αναμένεται μέχρι το 2020 η Αυστρία και Ελβετία να διπλασιάσουν την εγκατεστημένη ισχύ σε ΑΤΣ, η οποία ήδη υπερβαίνει τα 5.000 MW. Η Γερμανία απλώς προβαίνει σε επεκτάσεις των ήδη λειτουργουσών εγκαταστάσεών της και θα κατέχει επίσης ηγετικό ρόλο το 2020.

Η κατάσταση στην Ευρώπη (5)

ΣΚΑΝΔΙΝΑΥΙΚΕΣ ΧΩΡΕΣ

- Η υδροηλεκτρική παραγωγή αντιπροσωπεύει το 55% της συνολικής ετήσιας παραγωγής των 370 TWh του Nordic Power System (NORDEL), το οποίο περιλαμβάνει την Νορβηγία, τη Σουηδία, τη Φιλανδία, την Ισλανδία και την Ανατ. Δανία. Η Νορβηγία έχει συνολική παραγωγή 123 TWh εκ της οποίας το 96% είναι υδροηλεκτρικά.
- Στις χώρες αυτές κυριαρχεί το πλήθος των ήδη λειτουργούντων ΥΗΕ, τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις λειτουργούν και ως αναστρέψιμα (θερινοί μήνες).
- Η χωρητικότητα των ταμιευτήρων της Νορβηγίας αποτελεί το 50% του συνόλου των Ευρωπαϊκών ταμιευτήρων. Η χώρα στοχεύει να αποτελέσει την **‘green battery of Europe’**.
- Με τον τρόπο αυτόν θα αποθηκεύεται στους ταμιευτήρες της η τεράστια παραγωγή όλων των Α/Π παράκτιων και μη, της Βόρειας Θάλασσας.
- Η χώρα, χωρίς να προσθέσει νέα έργα ΑΤΣ, διαθέτει δυναμικό αποθήκευσης 84 TWh .
- Παράλληλα προωθεί μεγάλο σχέδιο διασυνδέσεων της χώρας με υποβρύχιο καλώδιο (HVDC)

Norway transmission capacity

- **NO-Sweden** North/Middle-Norway: 1 100 MW
- South-Norway: 2 050 MW
- **SouthWest-link: 1 200 MW (2019)**

- **NO-Denmark** SK1-3: 950 MW
- **SK4: 600 MW (2014)**

- **NO-Netherlands** NorNed1 (NL): 700 MW
- **NorNed2 (NL): 700 MW (2016)**

- **NO-Germany** NorGer: 1 400 MW (2018)
- **NORD.LINK: 1 400 MW (2018)**

- **NO-England** 1 400 MW (2020)

- **Possible interconnection capacity in 2020:**
- **4 800 + 6 700 = 11 500 MW**

Η κατάσταση στην Ευρώπη (6)

ΓΑΛΛΙΑ ΚΑΙ ΒΕΝΕΛΥΧ

- Στις χώρες αυτές δεν υπάρχει ευρύ πρόγραμμα ανάπτυξης νέων έργων ΑΤΣ. Υπάρχει ικανοποιητικό ποσοστό παλαιών ΥΗΕ και έργων ΑΤΣ για να παραλαμβάνει την περίσσεια των πυρηνικών και να καλύπτει την ημερήσια αιχμή. Τα Α/Π και τα Φ/Β επί του παρόντος είναι άνευ σημασίας στο ενεργειακό μείγμα.
- Στην ενεργειακή αγορά της Γαλλίας εμφανίστηκε περιστασιακά η ανάγκη προσφορών έγχυσης με αρνητικές τιμές, λόγω επιλογής των πυρηνικών μονάδων να μη διακόψουν τη λειτουργία τους, όταν, η απαίτηση της ζήτησης ήταν κάτω από το τεχνικό τους ελάχιστο.
- Γενικά η ενεργειακή αγορά της Γαλλίας δεν είναι ευέλικτη, τα πυρηνικά της την οδηγούν σε μονόδρομο και η υψηλή έγχυση ενέργειας ανανεωσίμων που σχεδιάζεται για το μέλλον από Α/Π, θα απαιτήσει πρόσθετες υποδομές αποθήκευσης και τολμηρές αποφάσεις για το ενεργειακό της μείγμα.

Πλεονεκτήματα

- Παρά τις πολλές κατά καιρούς υποσχέσεις για νέες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, τα έργα ΑΤΣ παραμένουν η μόνη οικονομικά βιώσιμη πρόταση για αποθήκευση μεγάλης κλίμακας. Είναι ~ 5 φορές φθηνότερα από τις μπαταρίες και ~4 φορές από την αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα.
- Είναι ώριμη τεχνολογία με μεγάλο χρόνο ζωής και μικρό κόστος συντήρησης, όπως όλα τα ΥΗΕ.
- Δεν έχουν κατασπατάληση νερού αλλά επαναχρησιμοποίηση, με μόνη απώλεια την εξάτμιση.
- Ανταποκρίνονται άμεσα στις απαιτήσεις των Διαχειριστών του Συστήματος για ρύθμιση συχνότητας και λοιπές επικουρικές υπηρεσίες.
- Η ευελιξία τους διευκολύνει την διείσδυση στο ηλεκτρικό σύστημα μεγάλων ποσοτήτων ανανεώσιμης – διαλείπουσας παραγωγής (Α/Π και Φ/Β), αλλά επιτρέπει επίσης την συνέχιση λειτουργίας θερμικών μονάδων στον βέλτιστο βαθμό απόδοσης (ακόμη και τις ώρες μειωμένης ζήτησης), συμβάλλοντας έτσι έμμεσα στην μη αύξηση των εκπομπών τους.
- Δεν μολύνουν, δεν αφήνουν κατάλοιπα και αποτελούν «κλειδί» για απεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και μείωση εκπομπών CO₂.
- Έχουν **υψηλή εγχώρια προστιθέμενη αξία** και αποτελούν βασικό εργαλείο ανάπτυξης και αντιμετώπισης **υφειακής οικονομικής περιδίνησης**.

Flexibility of different power generation technology (Source: EURELECTRIC)

	Nuclear Power Plants	Hard coal fuelled power plants	Lignite fuelled power plants	Combined-cycle gas power plants	Pumped storage power plants
Start-up time cold	~ 40 hours	~ 6 hours	~ 10 hours	< 2 hours	~ 0,1 hours
Start-up time warm	~ 40 hours	~ 3 hours	~ 6 hours	< 1,5 hours	~ 0,1 hours
Load gradient increase nominal output	~ 5% per minute	~ 2% per minute	~ 2% per minute	~ 4% per minute	> 40% per minute
Load gradient decrease nominal output	~ 5% per minute	~ 2% per minute	~ 2% per minute	~ 4% per minute	> 40% per minute

Σύγκριση Βαθμών Απόδοσης διαφόρων τεχνολογιών

- Η υδροηλεκτρική παραγωγή έχει τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με όλες τις άλλες τεχνολογίες : από 85%-95%
- Τα έργα ΑΤΣ: από 70%-75%
- Οι Μονάδες Φ.Α Σ.Κ φθάνουν σήμερα το 55%
- Οι Μονάδες καύσης στερεών καυσίμων από 41% έως 43%
- Οι πετρελαϊκές από 30% -40%
- Τα Α/Π ~30%
- Τα Φ/Β ~7% - 17%

Προβληματισμός ως προς τη Διαχείριση των έργων ΑΤΣ

- Η EURELECTRIC απορρίπτει σχετικές προτάσεις Διαχειριστών δικτύων (Ισπανών και Ιταλών) να εκδηλώσουν πρόθεση απόκτησης της ιδιοκτησίας των έργων ΑΤΣ.
- Θεωρεί ότι δεν υπάρχει ούτε νομικό επιχείρημα ούτε οποιαδήποτε άλλη αιτιολόγηση.
- Αντίθετα θεωρούν ότι τα έργα αυτά είναι ενταγμένα στα συμβατικά υδροηλεκτρικά και μόνο εταιρείες παραγωγής ενέργειας έχουν τη γνώση και τις δυνατότητες να τα λειτουργού και να τα συντηρούν αποδοτικά.

Εμπόδια σε ευρεία ανάπτυξη ΑΤΣ

- Απαιτούν ειδική γεωμορφολογία που δεν είναι εύκολα διαθέσιμη σε όλες τις χώρες.
- Απαιτούν μακροχρόνιο ενεργειακό προγραμματισμό και στρατηγικό σχεδιασμό ανάπτυξης των υδατικών πόρων
- Ταυτοποίηση κινήτρων ανάπτυξης μεταξύ ΕΕ και εθνικών νομοθεσιών.
- Ως έργα εντάσεως κεφαλαίου και μεγάλου χρόνου μελέτης - κατασκευής, δεν αποτελούν ελκυστική τεχνολογία στο περιφερόμενο παγκόσμιο κεφάλαιο, το οποίο απαιτεί σύντομες αποδόσεις. Ιδιαίτερα στις απελευθερωμένες ηλεκτρικές αγορές ο κύριος ανταγωνιστής τους είναι οι μονάδες ΦΑ ανοικτού κύκλου.
- Για να βελτιωθεί η αποδοτικότητά τους πρέπει να είναι έργα μεγάλης κλίμακας και ως εκ τούτου πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά οι τυχόν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κυρίως από την κατασκευή της άνω και κάτω δεξαμενής.

Μια πολλά υποσχόμενη πρόταση - Okinawa

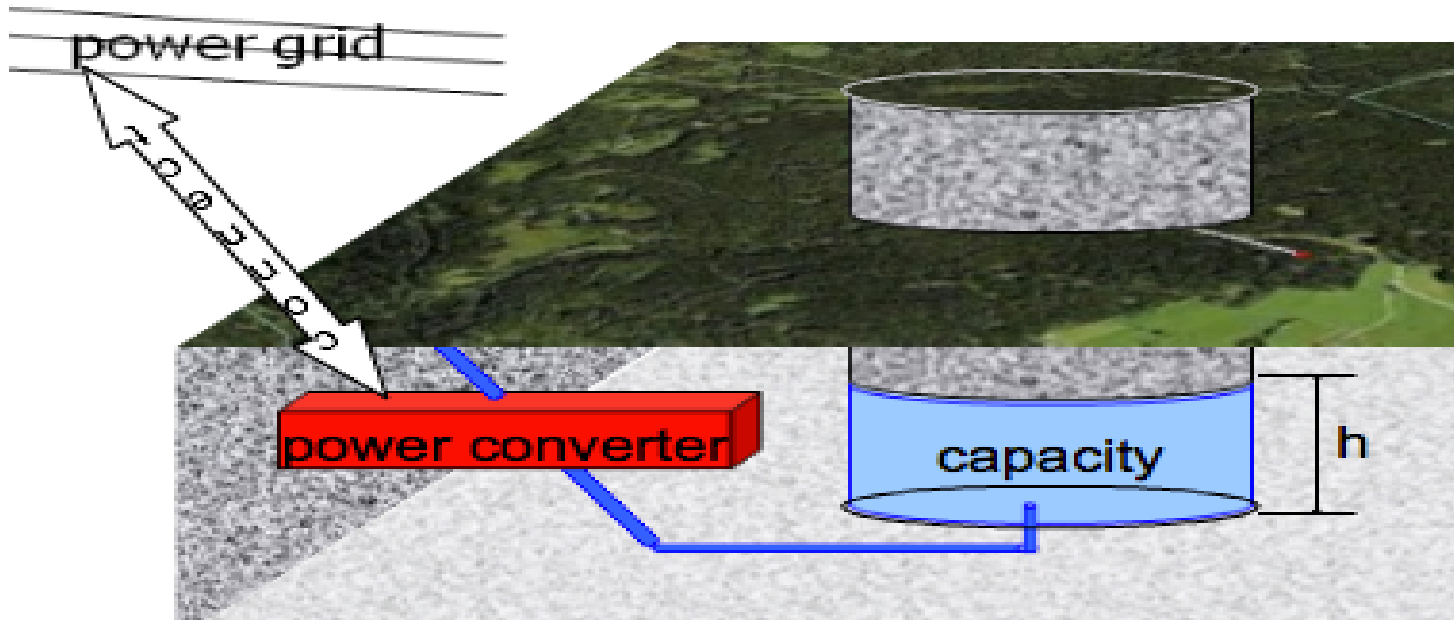


Νήσος Okinawa (Japan) «Κάτω» δεξαμενή η θάλασσα

- Είναι το πρώτο έργο ΑΤΣ αυτού του τύπου. Τέθηκε σε λειτουργία τον Μάιο του 1999.
- Ισχύς 30 MW, ύψος πτώσεως 136m, μέγιστη παροχή 26m³/sec
- Η «άνω» δεξαμενή είναι τεχνητή λιμνοδεξαμενή όγκου 564.000 m³ και έχει ειδική μόνωση
- Οι αγωγοί προσαγωγής και φυγής δεν είναι χαλύβδινοι, αλλά fiber-reinforced plastic tubes.
- Αντίστοιχη πρόταση ετοιμάζουν οι Ιρλανδοί για 480 MW, προκειμένου να παραλαμβάνουν την παραγωγή Α/Π 5000 MW.

Διάφορες άλλες πειραματικές προτάσεις

- Δύο δεξαμενές διαμέτρου 500μ, η μια υπερκείμενη της άλλης, σε βάθος 1 km.

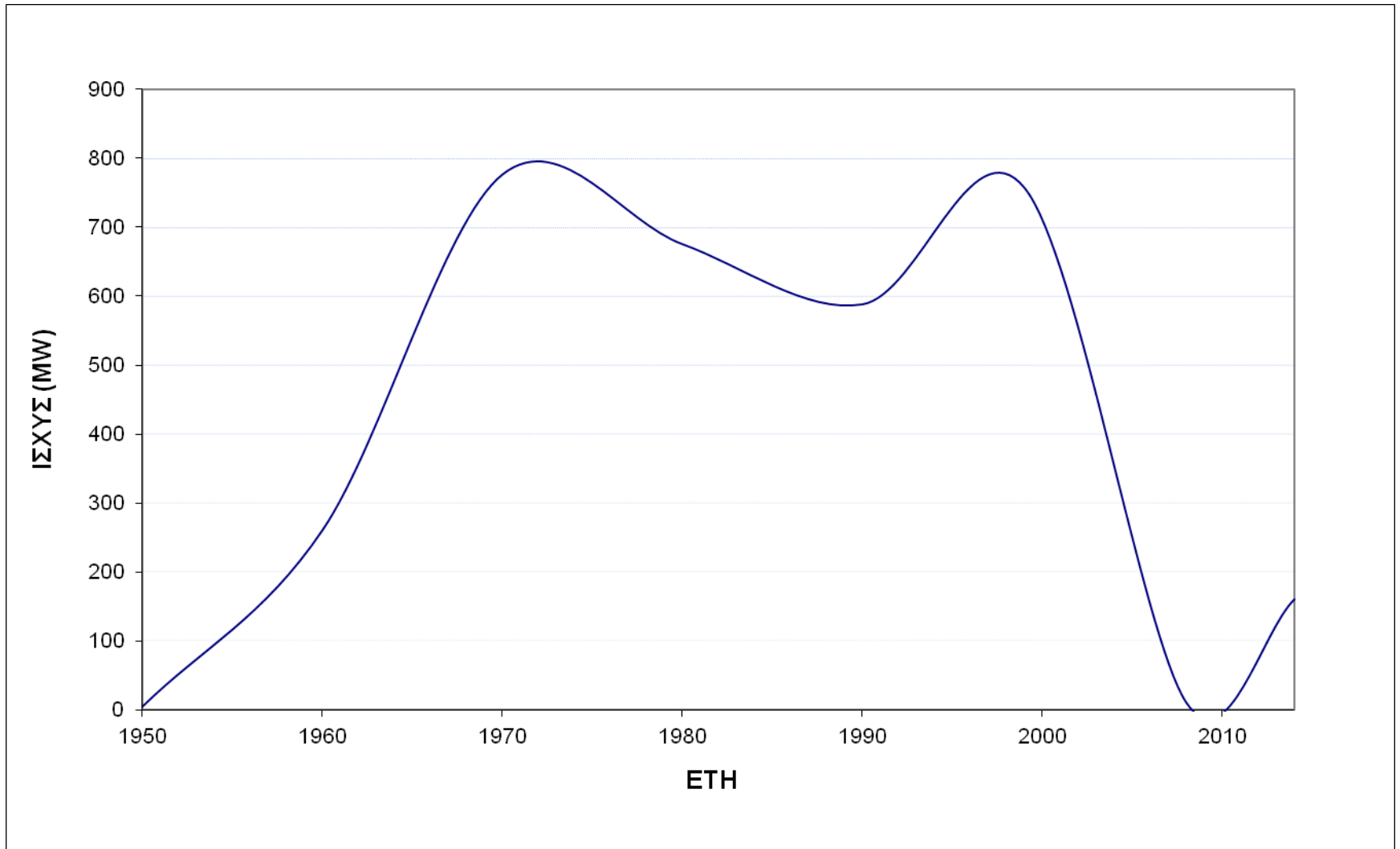


Τα έργα ΑΤΣ είναι ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος

- Η μέχρι σήμερα επικρατούσα αντίληψη ότι τα έργα ΑΤΣ είναι έργα εθνικού ή έστω ευρύτερου περιφερειακού ενδιαφέροντος έχει πλέον καταρριφθεί. Τα έργα αυτά, λόγω της υψηλής σπουδαιότητάς τους, θεωρούνται πανευρωπαϊκού ενδιαφέροντος και συνδυάζονται με ανάπτυξη διακρατικών δικτύων και διασυνδέσεων, ώστε να συμβάλλουν στην ενεργειακή θωράκιση της Ευρώπης και στην περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών, συμπεριλαμβανομένων των υπεράκτιων Α/Π.

ΕΛΛΑΔΑ

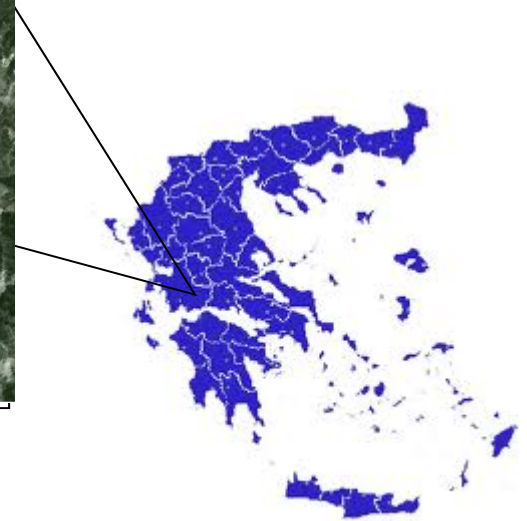
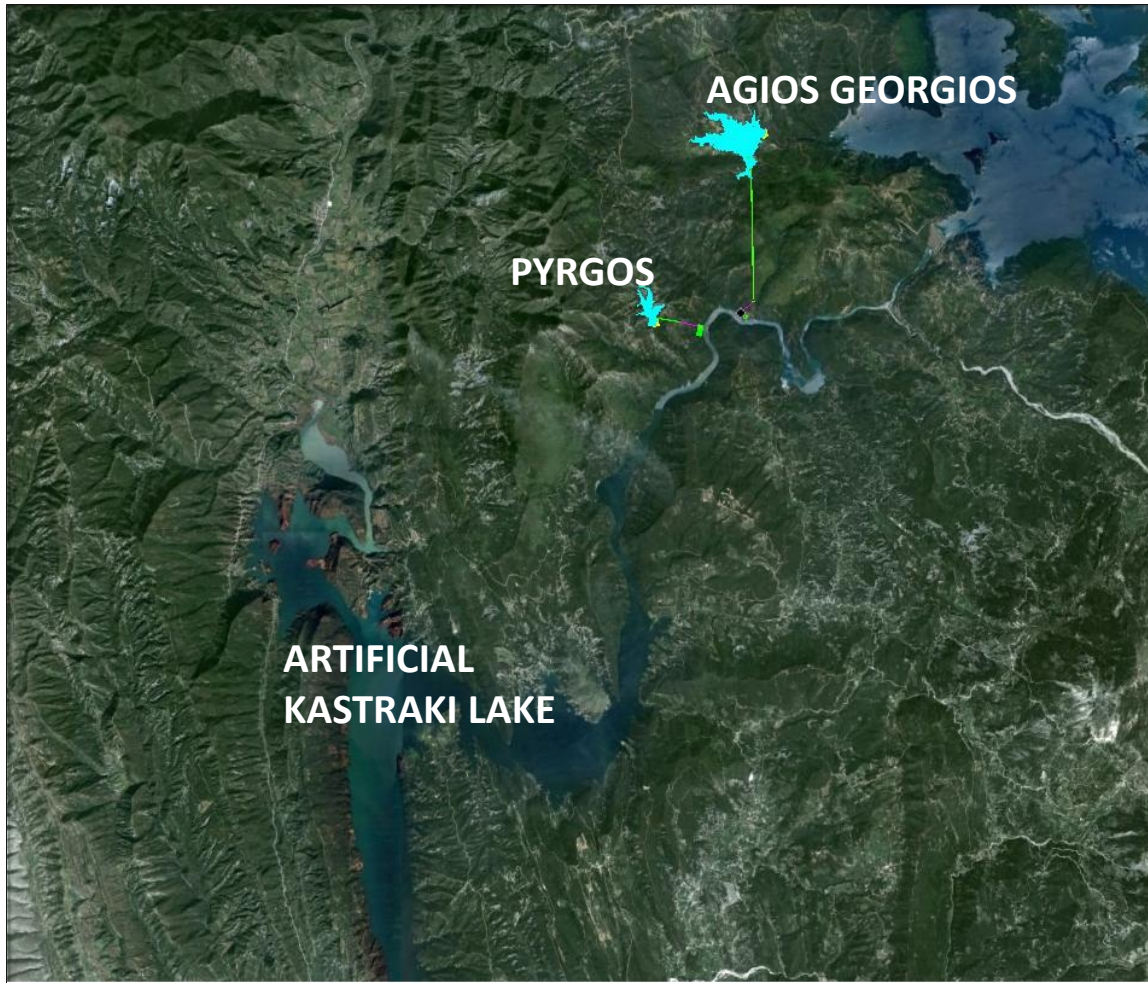
Η διαχρονική εξέλιξη των μεγάλων ΥΗΕ



Το πρόγραμμα ανάπτυξης έργων ΑΤΣ της ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΒΕΤΕ – Ύψος επένδυσης 3.5 billion €

Λίμνη Καστρακίου:	9 έργα, συνολικής ισχύος 1600 MW
Π. Άραχθος:	1 έργο, ισχύος 36 MW (Τεχνητή λίμνη Πουρναρίου II)
Π. Πηνειός:	1 έργο, ισχύος 600 MW (Τεχνητή λίμνη Γυρτώνης)
Λίμνη Τριχωνίδα:	1 έργο, ισχύος 685 MW
Π. Αλιάκμονας:	2 έργα, συνολικής ισχύος 630 MW (Ταμ. Αγ. Βαρβάρας)
Λίμνη Κάρλα:	2 έργα, συνολικής ισχύος 470 MW
Π. Αξιός:	1 έργο, ισχύος 85 MW
Λάδωνας (ΔΕΗ-ΤΕΡΝΑ):	2 έργα, συνολικής ισχύος 244 MW (Ταμ. ΥΗΕ Λάδωνα)
ΣΥΝΟΛΟ:	19 έργα, συνολικής ισχύος 4350 MW

General layout of the complex



Έργα Ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος

- Τα έργα αντλησοταμίευσης Άγιος Γεώργιος και Πύργος, συνολικής ισχύος παραγωγής 590MW, συμπεριελήφθησαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην 1η λίστα έργων Κοινού Ευρωπαϊκού Ενδιαφέροντος (Projects of Common Interest- PCI), η οποία εγκρίθηκε και εξεδόθη στις 14 Οκτωβρίου 2013, στα πλαίσια του σχετικού με τις κατευθυντήριες γραμμές για τις διευρωπαϊκές ενεργειακές υποδομές Κανονισμού.
- Τα εν λόγω έργα επιλέχθηκαν ανάμεσα σε πληθώρα ενεργειακών έργων, λόγω της σημαντικής συμβολής τους στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας όχι μόνο σε εθνικό αλλά κυρίως σε ευρωπαϊκό επίπεδο, εξασφαλίζοντας αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας και ενισχύοντας τις ενεργειακές συναλλαγές με τις γειτονικές χώρες. Σημειώνεται ότι, στον συγκεκριμένο «Διάδρομο Προτεραιότητας» για την Κεντρική, Ανατολική και Νοτιοανατολική Ευρώπη, έχουν επιλεγθεί συνολικά 3 έργα αντλησοταμίευσης: στη Βουλγαρία (Yadenitsa), στην Πολωνία (Mloty) και στην Ελλάδα (Άγιος Γεώργιος και Πύργος).

Βασικά συμπεράσματα σχεδιασμού -κόστους

- Το ύψος πτώσεως πρέπει να υπερβαίνει τα 150 m κατ' ελάχιστον για να εξασφαλίζεται βιωσιμότητα της επένδυσης.**
- Στη Γαλλία θεωρείται ως συμφέρουσα η επένδυση για υδραυλική πτώση μεγαλύτερη των 200 m, ενώ στην Ελβετία άνω των 300 m.**
- Το μήκος των αγωγών προσαρμογής και φυγής θα πρέπει να μην υπερβαίνει συνολικά τα 3 km.**
- Η απαίτηση της ΡΑΕ για ταυτόχρονη παραγωγή και αποθήκευση σε όλη τη διάρκεια του 24-ώρου, δεν είναι πάντοτε εφικτή, λόγω της γεωμορφολογίας της περιοχής και πολλές φορές οδηγεί σε ακύρωση της επένδυσης λόγω υπερβολικού κόστους.**
- Επίσης πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση η απαίτηση μεταβλητού αριθμού στροφών.**

ΠΗΓΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- The Green Battery of Europe: Balancing renewable energy with Norwegian hydro power - *by Bjørn Heineman (ETH ZURICH)*
- EURELECTRIC - Hydro in Europe: Powering Renewables
- 20% Renewables by 2020: a EURELECTRIC Action Plan
- Renaissance for Pumped Storage in Europe, *by Mathias Zuber, consultant*
- Life cycle assessment of a pumped storage plant – NTNU
- EURELECTRIC – Towards 2030
- Pumped storage key to energy storage – IEC
- Market and System Operation Design Adapted to High Wind Penetration.
By J. Rivier Abbad1, P. Ostos Nieto Iberdrola Renovables
- DG ENER Working Paper - The future role and challenges of Energy Storage
- The energetic implications of curtailing versus storing solar- and wind-generated electricity -Energy & Environmental Science

- ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ