

20/6/2022

Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και μελλοντικές προοπτικές

Μάθημα: Διανεμημένη παραγωγή

Καθηγητής: Μηνάς Αλεξιάδης

Όνομα: Τσιμπλιαρίδης Νικόλαος

AEM: 9652

E-mail: tenikola@ece.auth.gr

Εαρινό εξάμηνο

2021-2022

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΜΕΡΟΣ Α: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΗΜΕΡΑ.....	4
Α. Αντλησιοταμίευση (PHS)	4
Β. Συστήματα συμπιεσμένου αέρα (CAES).....	6
Γ. Μπαταρίες-BESS.....	8
Δ. POWER TO GAS(H₂ , CH₄)	11
Σύγκριση συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	14
ΜΕΡΟΣ Β: ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΟΥΝ.....	14
Α. Gravity Storage:	15
Β. Buoyancy Energy Storage Technology (BEST).....	16
Γ. Liquid Air Energy Storage (LAES)	17
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	19
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	20

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για εύρεση τρόπων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Καθώς προχωράει όλο και περισσότερο η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φαινόμενο που φαίνεται να εντείνεται και λόγω της πρόσφατης ενεργειακής κρίσης) όπως η αιολική, η ηλιακή και άλλες γίνεται όλο και πιο δύσκολο να διατηρηθεί σταθερή η παραγόμενη ισχύς. Επειδή η ισχύς από τέτοιου είδους πηγές εξαρτάται από εύκολα μεταβαλλόμενα φαινόμενα, όπως την κίνηση των σύννεφων ή την ταχύτητα του αέρα, όχι μόνο δεν είναι εύκολο να διατηρήσουμε ισορροπία στο δίκτυο αλλά δεν μπορούμε ούτε να προβλέψουμε την συνολική παραγωγή. Αυτά τα προβλήματα όμως, θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με την προσωρινή αποθήκευση ενέργειας και την αξιοποίησή της όταν η παραγόμενη ισχύς δεν είναι αρκετή. Λογικό είναι συνεπώς να αναζητούνται αποδοτικοί τρόποι αποθήκευσης ενέργειας.

Οι δυσκολίες στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως είναι γνωστό η ηλεκτρική ενέργεια οφείλεται στην κίνηση ηλεκτρονίων λόγω διαφοράς δυναμικού, ως εκ τούτου είναι προφανές ότι η αποθήκευσή της σε αυτήν την μορφή είναι από την φύση της αδύνατη. Για να αποθηκευτεί συνεπώς απαιτείται πρώτα η μετατροπή της σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας. Η μετατροπή αυτή δημιουργεί τα εξής προβλήματα:

- 1) Ένα τμήμα της ενέργειας που θέλουμε να αποθηκεύσουμε αξιοποιείται για την μετατροπή.
- 2) Υπάρχει το κόστος κατασκευής και συντήρησης των συστημάτων που μετατρέπουν την ενέργεια.
- 3) Το κόστος κατασκευής και των υλικών για τα συστήματα αποθήκευσης.
- 4) Ανάλογα με το σύστημα, μπορεί να υπάρχει διαρροή ενέργειας για μακροχρόνια αποθήκευση ή ακόμη και μείωση της ικανότητας αποθήκευσης. (πχ μπαταρίες)
- 5) Για να αξιοποιηθεί η ενέργεια θα χρειαστεί να την ξαναμετατρέψουμε σε ηλεκτρική

Πλεονεκτήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

- **Αποθήκευση ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης** (π.χ. κατά την διάρκεια της νύχτας) ή σε περιόδους πολύ υψηλής παραγωγής (π.χ. τους καλοκαιρινούς μήνες για φωτοβολταϊκά και μέρες με ισχυρούς ανέμους για τις ανεμογεννήτριες) και αξιοποίησή της όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την στιγμιαία παραγωγή.
- **Η μείωση του κόστους εκκίνησης και τερματισμού λειτουργίας.** Μια πλήρης εκκίνηση ή διακοπή λειτουργίας σταθμών φυσικού αερίου, άνθρακα και πυρηνικών εργοστασίων απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Με την αποθήκευση ενέργειας η ανάγκη για τερματισμό λειτουργίας της γεννήτριας γίνεται λιγότερο συχνή, αφού η πλεονάζουσα ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί. Μειώνεται έτσι η καταναλισκόμενη ενέργεια συνεπώς και το κόστος.
- **Διαχείριση συμφόρησης.** Συμφόρηση μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας συμβαίνει όταν η ενέργεια με το χαμηλότερο κόστος δεν μπορεί να παραδοθεί λόγω ανεπαρκούς ικανότητας μεταφοράς ενέργειας. Μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετικά υψηλό κόστος σε ορισμένες περιπτώσεις. Η αποθήκευση ενέργειας, όταν γίνει στις κατάλληλες τοποθεσίες, φορτίζει σε περιόδους χωρίς συμφόρηση και λειτουργεί ως λιγότερο δαπανηροί τοπικοί πόροι για τη μείωση των απαιτήσεων μέγιστης χωρητικότητας μετάδοσης.
- **Αύξηση της μέγιστης χωρητικότητας συστήματος.** Αφού ταυτόχρονα με την διανομή λόγω παραγωγής υπάρχει και η διανομή από την αποθηκευμένη ενέργεια.

ΜΕΡΟΣ Α: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΗΜΕΡΑ

A. Αντλησιοταμίευση (PHS)

Πως λειτουργεί:

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή νερού σε μια ανώτερη δεξαμενή, που αντλείται από μια άλλη δεξαμενή σε χαμηλότερο υψόμετρο. Σε περιόδους υψηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η ισχύς παράγεται με την απελευθέρωση του αποθηκευμένου νερού από τον άνω ταμιευτήρα με την χρήση στροβίλων όπως σε έναν συμβατικό υδροηλεκτρικό σταθμό. Κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης (όπου η ηλεκτρική ενέργεια έχει χαμηλότερο κόστος), η άνω δεξαμενή ξαναγεμίζει χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια χαμηλότερου κόστους από το δίκτυο για την άντληση του νερού στην επάνω δεξαμενή. Τα αναστρέψιμα συστήματα αντλίας-τουρμπίνας/κινητήρας-γεννήτριας μπορούν να λειτουργήσουν τόσο ως αντλίες όσο και ως στροβίλοι. Λόγω των υδραυλικών και ηλεκτρικών απωλειών που προκύπτουν στον κύκλο άντλησης από τους κατώτερους στους ανώτερους ταμιευτήρες, χάνεται ένα μέρος της ενέργειας. Ωστόσο, αυτές οι εγκαταστάσεις είναι συνήθως πολύ αποδοτικές (οι αποδόσεις φτάνουν πάνω από 80%) και μπορούν να αποδειχθούν πολύ ευεργετικές όσον αφορά την εξισορρόπηση του φορτίου στο συνολικό σύστημα ισχύος.

Πλεονεκτήματα:

- Το PHS είναι μια ώριμη τεχνολογία και καλύπτει πάνω από το 90% της χωρητικότητας παγκοσμίως.
- Μεγάλη περίοδο αποθήκευσης: Λόγω της μικρής εξάτμισης και διείσδυσης, η περίοδος αποθήκευσης του PHS μπορεί να ποικίλλει, από αρκετές ώρες σε ημέρες, ακόμη και χρόνια.
- Υψηλή απόδοση: Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες εξάτμισης και μετατροπής, το 71-85% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού στον άνω ταμιευτήρα μπορεί να ανακτηθεί.
- Σχετικά χαμηλό κόστος ανά kW: Είναι ~ 5 φορές φθηνότερα από τις μπαταρίες και ~4 φορές από την αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα.
- Τα έργα PHS έχουν μεγάλο χρόνο ζωής και μικρό κόστος συντήρησης.
- Δεν μολύνουν, δεν αφήνουν κατάλοιπα και βοηθούν σημαντικά για απεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και μείωση εκπομπών CO₂.

Μειονεκτήματα:

- Το κύριο μειονέκτημα του PHS έγκειται στην έλλειψη διαθέσιμων τοποθεσιών για δύο μεγάλες δεξαμενές και ένα ή δύο φράγματα, σε πεδιάδες, το PHS μπορεί να είναι δύσκολη ή ακόμη και ανέφικτη η υλοποίησή του.
- Μεγάλος χρόνος παράδοσης: περίπου 10 χρόνια, οπότε απαιτούν μακροχρόνιο ενεργειακό προγραμματισμό και στρατηγικό σχεδιασμό ανάπτυξης των υδατικών πόρων
- Υψηλό κόστος: συνήθως εκατοντάδες εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια (ΗΠΑ) για κατασκευαστικά

- Περιβαλλοντικά ζητήματα: Η κατασκευή συστημάτων PHS συνεπάγεται αναπόφευκτα την καταστροφή δέντρων και πρασίνου για την κατασκευή δεξαμενών. Η κατασκευή δεξαμενών θα μπορούσε επίσης να αλλάξει το τοπικό οικοσύστημα, προκαλώντας προβλήματα στη γη και την άγρια ζωή. Η διακοπή των διαδρομών ωστοκίας των ψαριών ή η δημιουργία μεγάλων ταμιευτήρων που γεμίζουν φαράγγια είναι συνήθεις ανησυχίες.

Έργα αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα:

Δεκατέσσερα συνολικά έργα αντλησιοταμίευσης έχει αδειοδοτήσει μέχρι σήμερα η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, αυξάνοντας σε 3.037 MW το χαρτοφυλάκιο των έργων της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Κυρίαρχες εταιρείες στον συγκεκριμένο τομέα είναι η «ΤΕΡΝΑ ενεργειακή» και η «ΔΕΗ ανανεώσιμες». Ένα πολύ σημαντικό έργο που αδειοδοτήθηκε

Το Έργο Κοινού Ενδιαφέροντος «Σύστημα Αντλησιοταμίευσης με δύο ανεξάρτητες άνω δεξαμενές: Αγ. Γεώργιος και Πύργος», βρίσκεται στο Δήμο Αμφιλοχίας, Περιφερειακής Ενότητας Αιτωλοακαρνανίας. Αποτελείται από δύο ξεχωριστές άνω δεξαμενές στις θέσεις «Άγιος Γεώργιος» και «Πύργος» και μια κοινή κάτω δεξαμενή, την υφιστάμενη τεχνητή λίμνη Καστρακίου. Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός θα εγκατασταθεί σε δύο ανεξάρτητους σταθμούς παραγωγής-άντλησης, στα βορειοανατολικά της λίμνης Καστρακίου. Ο σκοπός του Έργου είναι η αποθήκευση ενέργειας με στόχο την υποστήριξη της μέγιστης δυνατής διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών στο μείγμα της ενεργειακής παραγωγής. Η περίσσεια της αιολικής, φωτοβολταϊκής ή/και θερμικής παραγωγής θα αποθηκεύεται υδραυλικά, και αποδίδεται πάλι ως ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα, μέσω των υδροστροβίλων, κατά τη διάρκεια των ωρών υψηλής ζήτησης.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου είναι:

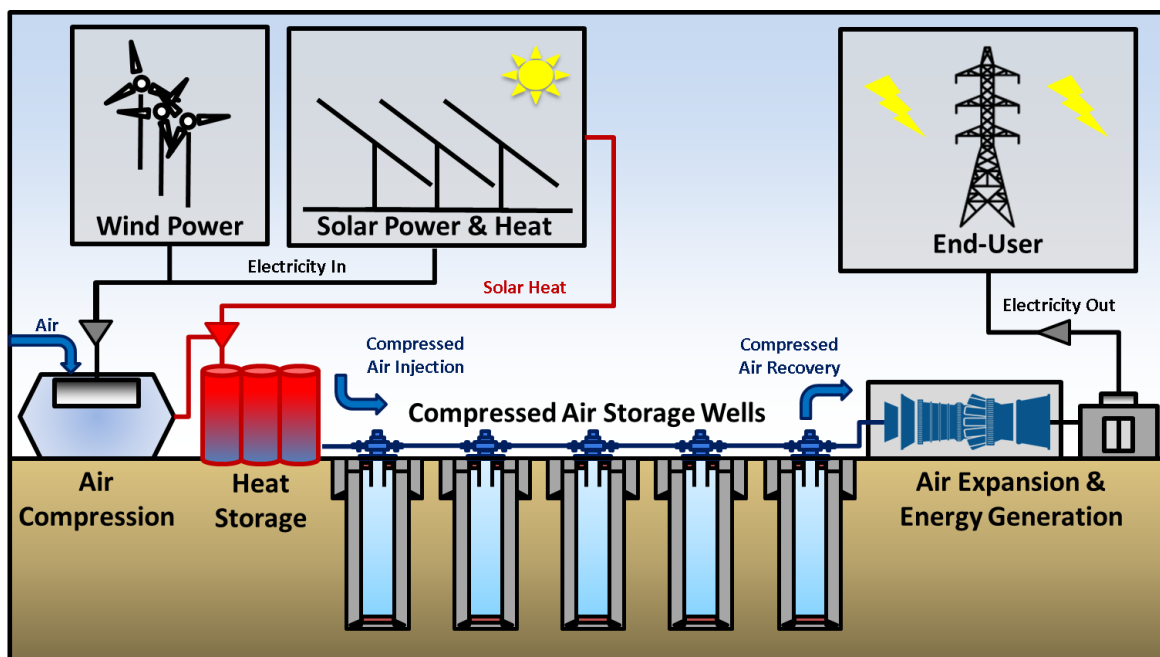
Σταθμός Παραγωγής	«Άγιος Γεώργιος» 4 αναστρέψιμες μονάδες	«Πύργος» 2 αναστρέψιμες μονάδες
Άνω ταμιευτήρας	«Άγιος Γεώργιος»	«Πύργος»
Ωφέλιμος Όγκος (ύδατος)	$\sim 5 \times 10^6 m^3$	$\sim 2 \times 10^6 m^3$
Κάτω ταμιευτήρας	Λίμνη Καστρακίου	Λίμνη Καστρακίου
Ισχύς παραγωγής	460MW	220MW
Ισχύς άντλησης	496MW	234MW



Β. Συστήματα συμπιεσμένου αέρα (CAES)

Πως λειτουργεί:

Η διαδικασία των συστημάτων CAES είναι σχετικά απλή. Η ηλεκτρική ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο ή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία ενός συμπιεστή, ο οποίος αντλεί αέρα σε ένα δοχείο αποθήκευσης. Για αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας, ο πεπιεσμένος αέρας αποθηκεύεται σε υπόγεια σπήλαια, αλλά για εργασίες μικρής κλίμακας μπορεί να αποθηκευτεί σε ειδικές δεξαμενές αποθήκευσης. Όταν χρειαζόμαστε ηλεκτρική ενέργεια, ο πεπιεσμένος αέρας απελευθερώνεται από τη δεξαμενή συγκράτησης και θερμαίνεται χρησιμοποιώντας είτε αποθηκευμένη θερμότητα από τη διαδικασία συμπίεσης είτε θερμότητα που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Ο πεπιεσμένος αέρας διαστέλλεται γρήγορα, περνώντας μέσα από τον στρόβιλο για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η ποσότητα ενέργειας που συγκρατείται από τον πεπιεσμένο αέρα βασίζεται στην πυκνότητά του. Το σπήλαιο ή η δεξαμενή αποθήκευσης πρέπει επομένως να είναι ικανό να αντέχει την ακραία πίεση και την ακραία πυκνότητα αέρα. Για το λόγο αυτό, τα ειδικά δοχεία αποθήκευσης είναι κατασκευασμένα από ισχυρές και ανθεκτικές ίνες άνθρακα.



Πλεονεκτήματα:

- Τα συστήματα CAES μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ μεγάλες κλίμακες. (Έχουν υψηλή χωρητικότητα με τυπικές τιμές 50-300 MW).
- Χαμηλό κόστος συντήρησης
- Η περίοδος αποθήκευσης είναι επίσης μεγάλη, είναι δυνατή η αποθήκευση της ενέργειας για πάνω από ένα χρόνο με πολύ μικρές απώλειες.
- Η γρήγορη εκκίνηση είναι ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα των CAES. Ο χρόνος εκκίνησης κυμαίνεται μεταξύ 9-12 sec σε κανονικές συνθήκες. Συγκριτικά, οι συμβατικοί καυστήρες απαιτούν 20 με 30 λεπτά για μια ομαλή εκκίνηση.
- Το CAES παράγει σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές CO₂ από άλλες μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Χρησιμοποιώντας αδιαβατικές διαδικασίες, οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν σχεδόν στο μηδέν.

Μειονεκτήματα:

- Το κύριο μειονέκτημα των συστημάτων CAES είναι πιθανόν η εξάρτηση από τη γεωλογία του εδάφους. Δεν υπάρχουν πολλά υπόγεια κοιλάματα, κάτι το οποίο περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την χρήση τους, αφού η τεχνητή δημιουργία υπογείων κοιλωμάτων θα ήταν οικονομικά ασύμφορη.
- Μικρότερη απόδοση από άλλα συστήματα.

Έργα CAES:

Παρόλο που η συγκεκριμένη τεχνολογία αποθήκευσης είχε αναπτυχθεί ήδη από το 1870, αυτή τη στιγμή, λειτουργούν μόνο δύο τέτοιου είδους σταθμοί αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε κλίμακα συστήματος σε όλο τον κόσμο. Ένας σταθμός CAES βρίσκεται στο Huntorf της Γερμανίας και ο άλλος (McIntosh) στην Alabama, ΗΠΑ. Το εργοστάσιο Huntorf χρησιμοποιεί ένα σπήλαιο όγκου 310.000m^3 και βάθους 600m με ανοχή πίεσης μεταξύ 50 – 70bar. Λειτουργεί με ημερήσιο κύκλο φόρτισης 8 ωρών παρέχοντας μέγιστη ισχύ 290 MW για 2 ώρες και απόδοση περίπου 42%. Το McIntosh διαθέτει ένα σπήλαιο όγκου 538.000m^3 και βάθους 450m με ανοχή πίεσης μεταξύ 45-76 bar, ενώ παρέχει 226MW για 26 ώρες και απόδοση περίπου 54%. Είναι χαρακτηριστικό ότι και οι δύο σταθμοί είναι διαβατικού τύπου. Βρίσκονται όμως σε εξέλιξη αρκετά σχέδια για ανάπτυξη σταθμών CAES των διαφορετικών τύπων με μεγαλύτερη απόδοση. Ωστόσο, αποτρεπτικός παράγοντας για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων μπορεί να είναι το κόστος, τόσο κατασκευής όσο και λειτουργίας.



CAES powerplant in Huntorf, Germany

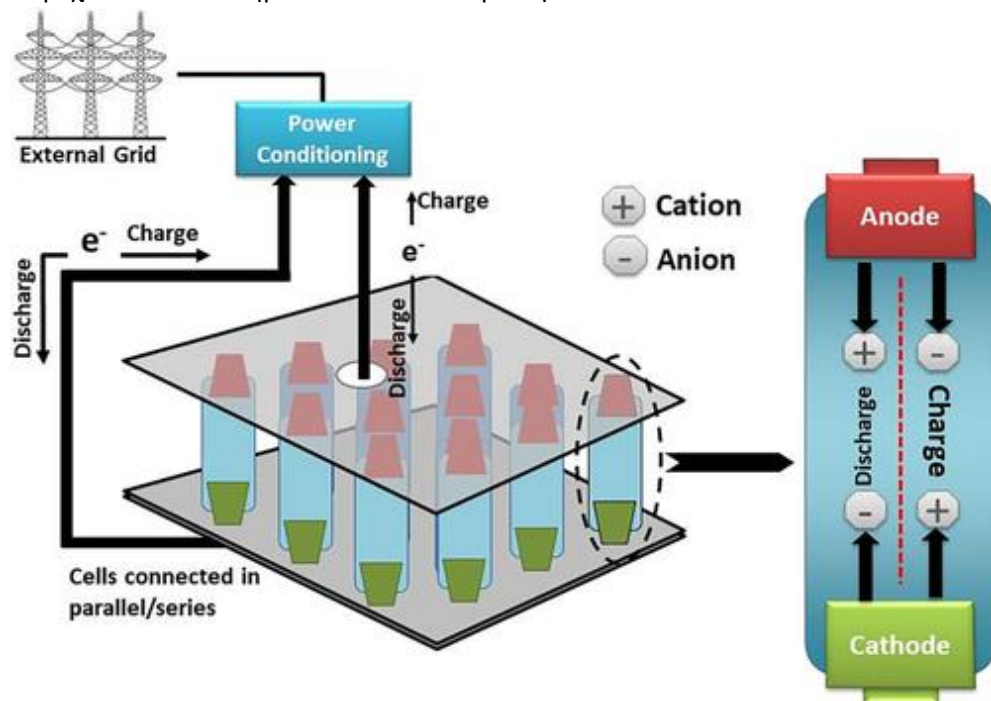
Όπως γίνεται προφανές στην Ελλάδα δεν υπάρχει ούτε κάποιο έργο, ούτε κάποιο πλάνο για μελλοντικά έργα τέτοιου είδους.

Γ. Μπαταρίες-BESS

Πως λειτουργεί:

Το BESS είναι ένα σύνθετο σύστημα που περιλαμβάνει hardware components μαζί με software χαμηλού και υψηλού επιπέδου. Τα κύρια μέρη του BESS περιλαμβάνουν:

- Ένα σύστημα μπαταρίας. Περιέχει μεμονωμένες μπαταρίες συνδεδεμένες παράλληλα που σχηματίζουν πακέτα μπαταριών. Οι μπαταρίες μπορούν συνήθως να αντικατασταθούν.
- Ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS). Ένα BMS διασφαλίζει την ασφάλεια του συστήματος μπαταρίας. Παρακολουθεί την κατάσταση των στοιχείων της μπαταρίας όπως η κατάσταση φόρτισης (SOC) και η κατάσταση της υγείας (SOH).
- Ένας αμφίδρομος μετατροπέας που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται από τις μπαταρίες σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που παρέχεται στις εγκαταστάσεις ή και το αντίστροφο για φόρτιση.
- Ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS). Αυτό είναι υπεύθυνο τον έλεγχο της ροής ενέργειας μέσα σε ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας. Ένα EMS συντονίζει την εργασία των παραπάνω συστημάτων ώστε να αποθηκεύεται ενέργεια στις μπαταρίες ή να παρέχεται στο σύστημα όταν είναι απαραίτητο.



Τα BESS ποικίλλουν ανάλογα με την ηλεκτροχημεία ή την τεχνολογία μπαταρίας που χρησιμοποιούν. Κύριοι τύποι BESS είναι:

Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-Ion):

Είναι ο πιο συχνός τύπος μπαταρίας σε συστήματα BESS αφού αποτελεί περίπου το 90% των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπαταριών μεγάλης κλίμακας στον κόσμο.

Τα πλεονεκτήματα μιας μπαταρίας Li-ion:

- Είναι ελαφριά και συμπαγής
- Έχει υψηλή χωρητικότητα και ενεργειακή πυκνότητα
- Χαμηλή συντήρηση
- Μεγάλη διάρκεια ζωής

- Φορτίζεται εύκολα και γρήγορα και
- Έχει χαμηλό ρυθμό αυτό-εκφόρτισης

Τα μειονεκτήματα μιας μπαταρίας Li-ion:

- Υψηλό κόστος κατασκευής
- Αναφλεξιμότητα και μη αντοχή σε ακραίες θερμοκρασίες
- Υπερ-φόρτιση και την υπερ-εκφόρτιση όταν χρησιμοποιούνται σε πακέτα μπαταριών που μπορεί να προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας ή και την πιο γρήγορη φθορά τους.
- Εξάρτηση από το λίθιο

Μπαταρίες μολύβδου-οξέος (PbA):

Η μπαταρία μολύβδου-οξέος είναι η παλαιότερη τεχνολογία μπαταριών και αρχικά δεν μπορούσε εύκολα να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση μεγάλης κλίμακας αφού χάνουν την ικανότητα να φορτίζονται όταν μένουν αποφορτισμένες πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω της κρυστάλλωσης του θειικού μολύβδου. Πλέον όμως υπάρχουν μπαταρίες μολύβδου οξέος που ρυθμίζονται με βαλβίδες (VRLA) και είναι καταλληλότερες για λύσεις αποθήκευσης από τις παλαιότερες αντίστοιχες μπαταρίες.

Τα πλεονεκτήματα μιας μπαταρίας PbA:

- Είναι μια από τις φθηνότερες λύσεις αποθήκευσης ενέργειας.
- Είναι εξαιρετικά ανακυκλώσιμες
- Μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής
- Μεγάλη χωρητικότητα
- Εύκολη συντήρηση.

Τα μειονεκτήματα μιας μπαταρίας PbA:

- Η αργή φόρτιση
- Μεγάλο βάρος
- Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα

Μπαταρίες ροής:

Σε αντίθεση με τις συμβατικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες στις οποίες η ενέργεια αποθηκεύεται σε στερεό υλικό ηλεκτροδίων, οι μπαταρίες ροής αποθηκεύουν ενέργεια σε διαλύματα υγρών ηλεκτρολυτών. Ο πιο κοινός τύπος μπαταρίας ροής είναι η μπαταρία οξειδοαναγωγής βαναδίου (VRB). Οι άλλοι τύποι αποτελούνται από χημικές ουσίες ψευδάργυρου-βρωμίου, ψευδαργύρου-σιδήρου και σιδήρου-χρωμίου.

Τα πλεονεκτήματα μιας μπαταρίας ροής:

- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Ευκολία επέκτασης του συστήματος, απλή προσθήκη παραπάνω όγκου υγρού ηλεκτρολύτη
- Γρήγορο χρόνο απόκρισης
- Χαμηλό κίνδυνο πυρκαγιάς, επειδή οι μπαταρίες ροής περιέχουν μη εύφλεκτους ηλεκτρολύτες.

Τα μειονεκτήματα μιας μπαταρίας ροής:

- Χαμηλή ενεργειακή χωρητικότητα
- Χαμηλό ρυθμό φόρτισης/εκφόρτισης

Έργα BESS στην Ελλάδα:

Στην Ελλάδα τα πρώτα συστήματα αποθήκευσης με μπαταρίες φαίνεται να έρχονται μέσα στο 2022 αφού η EuniceEnergyGroup έχει ήδη ξεκινήσει την κατασκευή δύο έργων BESS:

A. PTOLEMAIDABESS

Πρόκειται για μια μονάδα BESS ονομαστικής ισχύος 250 MW και χωρητικότητα αποθήκευσης ίση με 1000 MWh (άρα 4 ώρες λειτουργίας στην ονομαστική ισχύ εξόδου), σημαντικά μεγαλύτερη από το ελάχιστο απαιτούμενο για την επίτευξη ετήσιας ικανότητας παραγωγής ενέργειας 250 GWh. Η μονάδα θα αποτελείται από πακέτα μπαταριών ιόντων λιθίου συνδεδεμένες με πολλαπλούς μετατροπείς DC/AC. Ο σταθμός θα εγκατασταθεί κοντά στους ήδη υπάρχοντες λιγνιτικούς σταθμούς και θα συνδεθεί με το δίκτυο μεταφοράς. Η απόδοση θα είναι περίπου 85% ενώ ο χρόνος ζωής γύρω στα 15 χρόνια.



B. ARCADIABESS

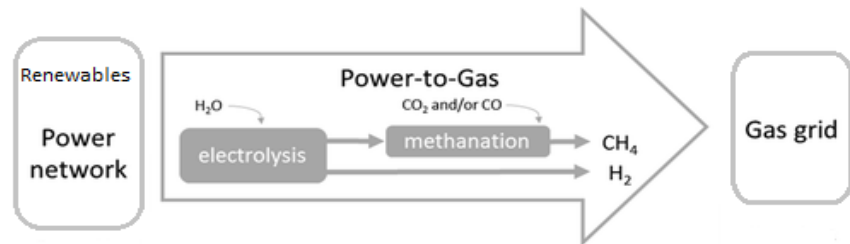
Φαίνεται να είναι πανομοιότυπη επένδυση με το σύστημα αποθήκευσης στην Πτολεμαΐδα αφού τα θεωρητικά νούμερα είναι ακριβώς τα ίδια και εδώ. Μονάδα BESS ονομαστικής ισχύος 250 MW, χωρητικότητα αποθήκευσης ίση με 1000 MWh, μπαταρίες ιόντων λιθίου, απόδοση περίπου 85% και χρόνο ζωής περίπου 15 χρόνια.

Δ.POWER TO GAS(H^2 , CH^4)

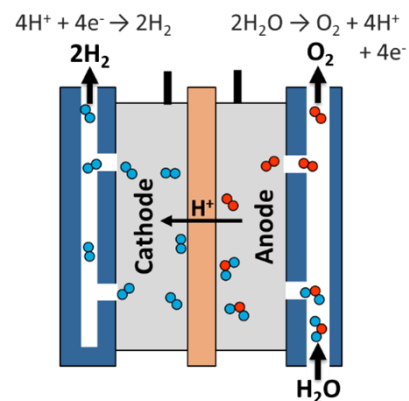
Στην Ελλάδα το 2021 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται κυρίως από το φυσικό αέριο (~42%), το οποίο προέρχεται εξ' ολοκλήρου από εισαγωγές με το 40-45% να το προμηθευόμαστε από την Ρωσία. Οπότε με τις περίεργες πολιτικές συνθήκες που επικρατούν τον τελευταίο καιρό και την ενεργειακή κρίση που τις συνοδεύει έχει γίνει δυσκολότερη αλλά και ακριβότερη η απόκτηση φυσικού αερίου. Και παρόλο που η μεταστροφή σε άλλους τρόπους παραγωγής ενέργειας θα ήταν μία λύση, ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης του συγκεκριμένου προβλήματος θα ήταν η δημιουργία μονάδων αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας με την μορφή υδρογόνου και βιομεθανίου τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν το φυσικό αέριο σε μεγάλο βαθμό.

Πως λειτουργεί:

Power-to-Gas (P2G) είναι η διαδικασία μετατροπής της πλεονάζουσας ανανεώσιμης ενέργειας σε αέριο υδρογόνο μέσω της τεχνολογίας ηλεκτρόλυσης με μεμβράνη πολυμερούς (PEM). Αυτή αποτελείται από μια άνοδο και μια κάθοδο που χωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη από ειδικό πλαστικό υλικό.



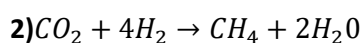
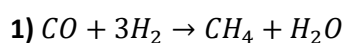
- Αρχικά το νερό αντιδρά στην άνοδο για να σχηματίσει οξυγόνο και θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια).
- Τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος και τα ιόντα υδρογόνου κινούνται κατά μήκος του PEM προς την κάθοδο.
- Στην κάθοδο, τα ιόντα υδρογόνου ενώνονται με τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα για να σχηματίσουν αέριο υδρογόνο.
- Αντίδραση ανόδου: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$
- Αντίδραση καθόδου: $4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2$



Το υδρογόνο μπορεί στη συνέχεια να εγχυθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου. Με αυτόν τον τρόπο, το υδρογόνο μπορεί να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την εξάρτηση από καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα.

Βέβαια υπάρχει ένα όριο στο ποσοστό υδρογόνου που μπορούμε να εκχύσουμε μέσα στο δίκτυο του φυσικού αερίου χωρίς να επηρεαστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος, εξαιτίας την αντοχής των σωλήνων και των μέσων αποθήκευσης. Για αυτό τον λόγο έχει δημιουργηθεί η διαδικασία της μεθανοποίησης κατά την οποία το υδρογόνο αντιδρά με μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα παράγοντας μεθάνιο (SNG-SyntheticNaturalGas) και νερό. Το μεθάνιο αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου και μπορεί να προστεθεί στο δίκτυο χωρίς περιορισμό.

Αντιδράσεις μεθανοποίησης:



Πλεονεκτήματα:

- Μπορεί να έχει έως και μηδενική παραγωγή ρύπων, αφού για την μεθανοποίηση δεσμεύεται διοξείδιο του άνθρακα.
- Δεν χρειάζεται προσαρμογή στο ήδη υπάρχων δίκτυο, αφού θα χρησιμοποιεί το δίκτυο του φυσικού αερίου.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για διάφορες άλλες χρήσεις (αυτοκίνητα, πύραυλοι κτλ).
- Είναι εύκολη η μεταφορά του και μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα.

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλότερη απόδοση από όλες τις προηγούμενες εναλλακτικές, αφού μεγάλο μέρος της ενέργειας χάνεται κατά την ηλεκτρόλυση και την μεθανοποίηση.
- Το παραπάνω συνεπάγεται ότι χρειαζόμαστε και μεγάλο πλεόνασμα ενέργειας από της ανανεώσιμες πηγές για την παραγωγή του.
- Μεγάλο κόστος για την παραγωγή αλλά και την διατήρηση του SNG καθιστούν την τεχνολογία οικονομικά ασύμφορη στις περισσότερες περιπτώσεις.

Έργα POWER TO GAS (PtG) στην Ελλάδα:

A. WHITE DRAGON

Πάνω από 20 προτάσεις έχουν κατατεθεί για έργα PtG στην Ελλάδα τα τελευταία 2 χρόνια με πιο εντυπωσιακή από αυτές να αποτελεί το project WhiteDragon. Η ΔΕΠΑ ως συντονιστής του έργου, (σε συνεργασία με την Advent Technologies, την Damco Energy (Όμιλος Κοπελούζου), τη ΔΕΗ, τον ΔΕΣΦΑ, τα ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ, την Motor Oil, την Σωληνουργία Κορίνθου, τον ΤΑΡ και την ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ) υπέβαλε, προς την Ελληνική Κυβέρνηση και την Ε.Ε., την επενδυτική πρότασή τους, συνολικού ύψους άνω των 8 δισ. Ευρώ, για την ανάπτυξη ενός καινοτόμου, ολοκληρωμένου έργου πράσινου υδρογόνου στην Ελληνική επικράτεια, που καλύπτει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας του υδρογόνου.

Το έργο «WhiteDragon» θα χρησιμοποιήσει ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα (GW) για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης στη Δυτική Μακεδονία. Το υδρογόνο, στη συνέχεια, θα αποθηκεύεται άμεσα (βραχυπρόθεσμη αποθήκευση υδρογόνου) και έμμεσα (διοχέτευση στον αγωγό φυσικού αερίου του ΔΕΣΦΑ) και, μέσω κυψελών καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας, θα προσφέρει στο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας ηλεκτρική ενέργεια ως μία σταθερή μονάδα βάσης συμπαραγωγής πράσινης ενέργειας και θερμότητας. Η παραγόμενη θερμότητα, ως παραπροϊόν της παραγωγής πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας, αρχικά θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά στα δίκτυα τηλεθερμάνσεων της Δυτικής Μακεδονίας και μελλοντικά σε άλλες εφαρμογές που απαιτούν θερμότητα ή/και ψύξη (βιομηχανίες, datacenters, θερμοκήπια κ.λπ.).

Ιδιαίτερα σημαντική, είναι και η σκοπούμενη αναβάθμιση και κεφαλαιοποίηση των υφιστάμενων ενεργειακών υποδομών (ηλεκτρικά δίκτυα και αγωγοί φυσικού αερίου), αφού αρχικά θα πρέπει να γίνει προετοιμασία του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (ΕΣΜΦΑ), ώστε να μπορεί να δεχθεί αυξανόμενα ποσοστά υδρογόνου.

Επίσης στόχος είναι η κατασκευή ενός αποκλειστικού αγωγού μεταφοράς υδρογόνου στην Ελλάδα (hydrogen backbone pipeline), ώστε να προσφέρει δυνατότητες διασύνδεσης των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής πράσινου υδρογόνου με τους μεγάλους τελικούς καταναλωτές (διυλιστήρια, βιομηχανικές μονάδες, κ.λπ.) και δυνατότητες διασύνδεσης με αντίστοιχα συστήματα γειτονικών χωρών. Τέλος, μέσω του ολοκληρωμένου έργου «WhiteDragon» θα διερευνηθεί η δυνατότητα

μεταφοράς και η εξαγωγή υδρογόνου μέσω του Διαδριατικού Αγωγού Φυσικού Αερίου TAP, που ήδη συνδέει την Ελλάδα με τις ευρωπαϊκές αγορές.

Τα βασικά στοιχεία του ολοκληρωμένου έργου:

Συνολικό κόστος επένδυσης:	8,063 δισ. €
Διάρκεια έργου:	2022 – 2029
Παραγωγή υδρογόνου:	250.000 τόνοι/έτος*
Υδρογόνο για άλλες χρήσεις:	58.000 έως 71.000 τόνοι/έτος
Εξοικονόμηση CO2:	11,5 εκατομμύρια τόνοι/έτος

*Το ανανεώσιμο υδρογόνο θα διοχετευθεί σχεδόν εξ ολοκλήρου στους αγωγούς

Β. Σταθμός ανεφοδιασμού μικρών οχημάτων υδρογόνου

Ένα τελείως διαφορετικό πρότζεκτ τόσο σε μέγεθος αλλά και σαν λειτουργία, το οποίο όμως χρησιμοποιεί παρόμοια τεχνολογία ηλεκτρόλυσης είναι οι σταθμοί ανεφοδιασμού οχημάτων υδρογόνου. Πριν από μερικές μέρες (18/5/2022) εγκαινιάστε ο πρώτος από αυτούς στην Αθήνα από το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος».

Ο σταθμός που καινοτομεί χρησιμοποιώντας συμπιεστή τεχνολογίας μεταλλοϋδριδίων και λειτουργεί αθόρυβα με πολύ χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας έχει κατασκευαστεί μέσα στις εγκαταστάσεις του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», στην Αγία Παρασκευή Αττικής. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει μονάδα παραγωγής «πράσινου» υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά, καινοτόμο συμπιεστή υδρογόνου στα 200 bar, δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου σε υψηλή πίεση και σύστημα ανεφοδιασμού των οχημάτων με καύσιμο υδρογόνο.



Σύγκριση συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Χαρακτηριστικά συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (πηγή: TheWorldEnergyCouncil)	Μέγιστη ισχύς Rating (MW)	Χρόνος εκφόρτισης	Κύκλοι ή χρόνος ζωής	Ενεργειακή πυκνότητα (Watt-hour per Litre)	Απόδοση	Approximate Levelized Cost (\$/MWH) {**}
Αντλησιοταμίευση	3,000	4h – 16h	30 – 60 χρόνια	0.2 – 2	70 – 85%	90-150
Συμπιεσμένος αέρας	1,000	2h – 30h	20 – 40 χρόνια	2 – 6	40 – 70%	120-150
Μπαταρίες λιθίου	100	1 λεπτό – 8h	1,000 – 10,000	200 – 400	85 – 95%	260-400 {120-240}
Μπαταρίες Μολύβδου-οξέως	100	1 λεπτό – 8h	6 – 40 χρόνια	50 – 80	80 – 90%	190-230 {140-170}
Μπαταρίες ροής	100	Λίγες ώρες	12,000 – 14,000	20 – 70	60 – 85%	360-400 {120-160}
Power to Gas (H_2, CH_4)	100	Από λεπτά-εβδομάδες	5 – 30 χρόνια	600 (at 200bar)	25 – 45% *	190-350

*Η απόδοση της τεχνολογίας PtG μετριέται για μετατροπή από ηλεκτρική σε υδρογόνο και ξανά πίσω σε ηλεκτρική, αν αξιοποιηθεί και η θερμική ενέργεια που παράγεται η απόδοση μπορεί να φτάσει και ως 60%

**Οι τιμές μέσα σε {} είναι η τιμές που υπολογίζεται ότι μπορούν να κατέβουν οι μπαταρίες μέχρι το 2030.

***Levelized Cost είναι μια τιμή που συνυπολογίζει το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης αλλά και το κόστος ανακύκλωσης των υλικών του συστήματος μετά το πέρας του χρόνου ζωής, προς την συνολική ενέργεια που προσέφερε στο δίκτυο στο ίδιο χρονικό διάστημα.

ΜΕΡΟΣ Β: ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΟΥΝ.

Τον τελευταίο καιρό με την προσπάθεια μετάβασης σε μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές γίνονται όλο και περισσότερες προσπάθειες να βρεθούν πιο οικονομικοί, πιο φιλικόι προς το περιβάλλον και πιο αποδοτικοί τρόποι να αποθηκεύσουμε ενέργεια. Ως εκ τούτου εμφανίζονται συνεχώς καινούργιες ιδέες που ισχυρίζονται ότι είναι το μέλλον της αποθήκευσης ενέργειας. Στην πραγματικότητα όμως οι περισσότερες από αυτές δεν θα γίνουν ποτέ “mainstream” είτε για οικονομικούς, είτε για πρακτικούς ή απλά επειδή δεν έχουν κάποιο πλεονέκτημα συγκριτικά με τις είδη υπάρχουσες λύσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως η χρήση τους θα τους θα μπορούσε να φανεί πολύ χρήσιμη, ενώ η εξέλιξη πληθώρας τεχνολογιών σίγουρα βοηθά στο να βρεθούν πιο γρήγορα καλύτεροι τρόποι αποθήκευσης.

A. Gravity Storage:

Πως λειτουργεί:

Η πλεονάζουσα ενέργεια των ανανεώσιμων πηγών αξιοποιείται για την τοποθέτηση αντικειμένων σε ύψος τα οποία στη συνέχεια χαμηλώνουν υπό φυσική «βαρυτική» δύναμη περιστρέφοντας μηχανικούς κινητήρες και δημιουργώντας ηλεκτρισμό που μπορεί να αποσταλεί στο δίκτυο. Το κόνσεπτ είναι το ίδιο με αυτό της αντλιοσταμείωσης, αφού και τα δύο βασίζονται στην αποθήκευση δυναμικής ενέργειας, αλλά χωρίς να έχει τους αντίστοιχους γεωλογικούς περιορισμούς. Σε περιόδους που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπερβαίνει τη ζήτηση του δικτύου τροφοδοτείται ένα σύστημα γερανών της Energy Vault για να ανυψώσει γιγάντια τούβλα που στοιβάζονται με την βοήθεια κάποιου λογισμικού. Όταν απαιτείται ισχύς, το λογισμικό οργανώνει το διαδοχικό κατέβασμα των τούβλων δημιουργώντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια μέσω της κινητικής ενέργειας που απελευθερώνεται από το βάρος, περιστρέφοντας μεγάλους κινητήρες που παράγουν και αποστέλλουν ηλεκτρική ενέργεια.

Πιθανά προβλήματα:

- Αυξημένο κόστος συντήρησης και κατασκευής.
- Χαμηλή ενεργειακή χωρητικότητα.
- Ογκώδες και αισθητικά άσχημο.
- Η κατασκευή τούβλων θα είναι όχι μόνο ακριβή, αλλά και επιβλαβής για το περιβάλλον με τον αριθμό τούβλων που χρειάζονται για αποθήκευση μεγάλης ποσότητας ενέργειας.
- Κίνδυνος κατάρρευσης ειδικά σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους και αυξημένη σεισμική δραστηριότητα.
- Παραγωγή θορύβου και σκίαση μπορεί να έχουν αρνητικές συνέπειες στην πανίδα της περιοχής, αλλά το καθιστούν και αδύνατο να τοποθετηθεί κοντά σε ανθρώπινες κοινότητες.

Πιθανές εφαρμογές:

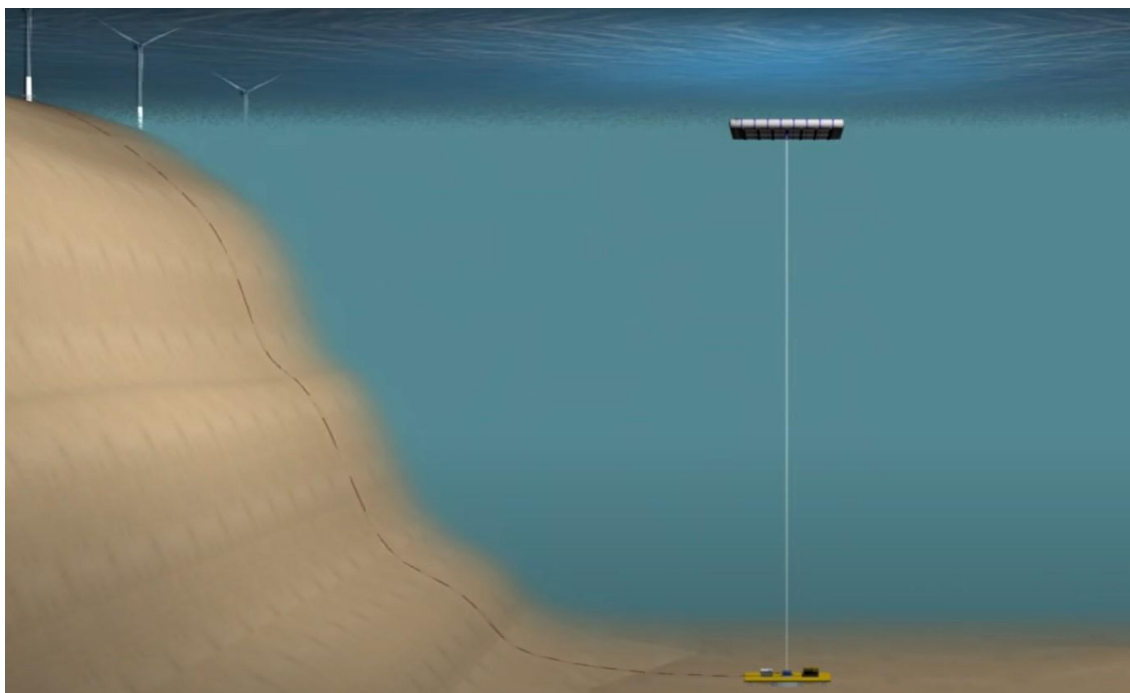
Υπάρχει λόγος που τα έργα αντλησιοταμίευσης αποτελούν πάνω από το 90% της παγκόσμιας χωρητικότητας και αυτός είναι ότι το νερό είναι παντού και είναι φθηνό. Η συγκεκριμένη τεχνολογία στην προσπάθεια της να μην εξαρτάται από την μορφολογία του εδάφους το αντικατέστησε με τούβλα τα οποία είναι όχι μόνο πολύ πιο ακριβά, μπορεί να φθαρούν, να πέσουν αλλά και απαιτούν ένα πολύπλοκο σύστημα με πολλά μηχανικά μέρη (τα οποία αναπόφευκτα θα εμφανίζουν βλάβες) για να στοιβαχθούν σωστά και χωρίς ζημιές. Έτσι φαίνεται ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία μάλλον θα αποτελέσει εναλλακτική σε μέρη που δεν υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστούν έργα αντλησιοταμίευσης και υπάρχει αρκετός κατακόρυφος αλλά όχι οριζόντιος χώρος.



B. Buoyancy Energy Storage Technology (BEST)

Πως λειτουργεί:

Ακόμη ένα σύστημα που αξιοποιεί την δυναμική ενέργεια είναι το BEST, αφού ουσιαστικά αξιοποιείται η ενέργεια που παράγεται από την άνωση που ασκείται σε βυθισμένες δεξαμενές γεμάτες συμπιεσμένο αέρα. Ο προτεινόμενος σχεδιασμός ξεκινά με μια πλατφόρμα στερεωμένη βαθιά στον πυθμένα της θάλασσας με σταθμισμένες άγκυρες. Αυτό συνδέεται μέσω καλωδίων σε μια τεράστια τετράγωνη διάταξη από σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας, ο καθένας γεμάτος με ένα συμπιεσμένο αέριο, όπως αέρα ή υδρογόνο. Η ηλεκτρική ενέργεια που μεταδίδεται από την επιφάνεια μέσω καλωδίων τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για την κίνηση ισχυρών ηλεκτροκινητήρων, οι οποίοι τραβούν τους σωλήνες άνωσης προς τα κάτω προς τον πυθμένα της θάλασσας για να αποθηκεύσουν την ενέργεια. Όταν έρθει η ώρα να απελευθερωθεί ενέργεια, οι σωλήνες απελευθερώνονται και η ισχυρή άνωση τους τραβάει τον ηλεκτροκινητήρα αντίστροφα, μετατρέποντάς τον σε γεννήτρια και τροφοδοτώντας την ισχύ πίσω στο δίκτυο. Οι προσομοιώσεις της ομάδας προβάλλουν ότι αυτό θα μπορούσε να καταλήξει να είναι ένα φθηνό και αποτελεσματικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε ορισμένες περιπτώσεις – ιδιαίτερα υπεράκτια αιολικά πάρκα που λειτουργούν κοντά σε ακτές και νησιά χωρίς βουνά. Είναι μια αντιστάθμιση πυκνότητας ενέργειας έναντι πυκνότητας ισχύος: το σύστημα BEST μπορεί να αποθηκεύσει πολλή ενέργεια με ανταγωνιστικό κόστος, αλλά είναι αργό στην απελευθέρωση της αποθηκευμένης ενέργειας.



Πιθανά προβλήματα:

- Κόστος κατασκευής συστήματος περίπου τετραπλάσιο από αυτό των μπαταριών λιθίου.
- Αυξημένη δυσκολία, κόστος συντήρησης και μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης αναπάντεχων προβλημάτων αφού το σύστημα βρίσκεται κάτω από την θάλασσα.
- Μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην πανίδα της περιοχής.
- Θα υπάρχουν αντιδράσεις της κοινότητας αν τοποθετηθεί κοντά σε τουριστικές περιοχές, παραλίες κτλ.
- Δεν είμαστε ακόμη σίγουροι για το αν θα μπορέσει να εφαρμοστεί στην πράξη αφού ακόμη δεν έχουν κατασκευαστεί συστήματα μεγάλης χωρητικότητας.

Πιθανές εφαρμογές:

- Παράκτιες περιοχές χωρίς βουνά που δεν είναι κατάλληλες για μονάδες αντλησιοταμίευσης. Ωστόσο, πρέπει να είναι περιοχές με μεγάλο βάθος κοντά στην ακτή ώστε να μην αυξηθεί περεταίρω το κόστος εγκατάστασης
- Νησιά που δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και θα ωφελούνταν από συστήματα αποθήκευσης.
- Υπεράκτια αιολικά πάρκα κοντά στην ακτή, αφού μπορούν να συνδεθούν απευθείας με το σύστημα
- Πλωτά υπεράκτια αιολικά πάρκα λόγω των μεγάλων διαθέσιμων βαθών μακριά από τις ακτές των ωκεανών.
- Υπολογίζεται ότι τα συστήματα BEST μπορούν να συμπιέσουν υδρογόνο με απόδοση περίπου 90%, αφού το υδρογόνο δεν χάνει σημαντικό μέρος της επιπλευσιμότητάς του ακόμη και όταν συμπυκνώνεται.

Αυτή η τεχνολογία ακόμη βρίσκεται σε εξέλιξη και είναι αρκετά νωρίς για να ξέρουμε αν η εφαρμογή της θα είναι επιτυχημένη, παρόλα αυτά φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενη και να προσφέρει λύσεις σε μέρη που δεν έχει βρεθεί κάποιος βέλτιστος τρόπος αποθήκευσης. Ειδικά για την Ελλάδα αν δεν υπάρχει περιορισμός από το θεσμικό πλαίσιο και η τεχνολογία φτάσει σε ένα ανταγωνιστικό κόστος θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε αρκετές περιοχές.

Γ. Liquid Air Energy Storage (LAES)

Πως λειτουργεί:

Τα συστήματα LAES ή αλλιώς κρυογονικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνουν τρεις κύριες διαδικασίες: ένα σύστημα φόρτισης, ένα αποθήκευσης και ένα εκφόρτισης. Στο πρώτο στάδιο, το σύστημα φόρτισης (το οποίο αποτελείται από έναν *airliquefier*) χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να αντλήσει αέρα από το περιβάλλον τον «καθαρίζει» και στη συνέχεια τον ψύχει σε χαμηλές θερμοκρασίες (μέσω κύκλου Claude). Στο δεύτερο στάδιο, ο υγρός αέρας αποθηκεύεται σε χαμηλή πίεση σε μονωμένες δεξαμενές χρησιμοποιώντας τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για αποθήκευση υγρού αζώτου και υγροποιημένου φυσικού αερίου. Στο τρίτο στάδιο, όταν απαιτείται ισχύς, ο υγρός αέρας αντλείται από αυτές τις δεξαμενές σε δοχεία υψηλής πίεσης και υπό την επίδραση θερμότητας μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας και ενός ενδιάμεσου ρευστού μεταφοράς θερμότητας. Έτσι ο αέρας διογκώνεται, αποκτά μεγάλη πίεση και κινεί μία γεννήτρια παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Ο πολύ κρύος αέρας αντλείται και συλλαμβάνεται από μία ψυκτική αποθήκη υψηλής ποιότητας όπου αναχρησιμοποιείται αργότερα για να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας υγροποίησης.



Πιθανά προβλήματα:

- Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του LAES είναι η χαμηλή του απόδοση. Το πιλοτικό εργοστάσιο που υπάρχει έχει απόδοση 8% ενώ θεωρητικά μπορεί να φτάσει περίπου το 50% εάν υπάρχει αποτελεσματική ανακύκλωση θερμότητας και κρύου αέρα.
- Δεν είναι πρακτικό για μικρής κλίμακας αποθήκευση ενέργειας. Εάν θα παίζει ρόλο στο μελλοντικό ενεργειακό σύστημα, θα είναι για το δίκτυο εξισορρόπηση και ίσως ως εφεδρική ισχύς για γειτονιές ή μεγάλα κτίρια όπως νοσοκομεία.
- Κίνδυνοι ασφάλειας, επειδή το άζωτο και το οξυγόνο έχουν διαφορετικά σημεία βρασμού, υπάρχει κίνδυνος συγκέντρωσης οξυγόνου και κίνδυνος έκρηξης. Επιπλέον οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας μπορεί να είναι επικίνδυνες τόσο για ανθρώπους όσο και για υλικά.
- Αυξημένο κόστος κατασκευής και συντήρησης: Παρόλο που χρησιμοποιεί ώριμα εξαρτήματα, εξακολουθεί να χρειάζεται πολύ πιο δαπανηρός εξοπλισμός από τις εναλλακτικές λύσεις.

Πιθανές εφαρμογές:

- Όπως και με το GravityStorage, σε όποιο μέρος υπάρχει η δυνατότητα να φτιαχτούν έργα αντλησιοταμίευσης θα προτιμηθούν σε σχέση με τα LAES αφού είναι δοκιμασμένα και οικονομικότερα. Η κρυογονική μέθοδος αποθήκευσης μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική σε μέρη που η αντλησιοταμίευση δεν είναι εφικτή. Έχει ήδη ξεκινήσει η κατασκευή του πρώτου συστήματος αποθήκευσης με τεχνολογία LAES στο Carrington, UK νοτιοανατολικά της Λονδίνης με χωρητικότητα αποθήκευσης 250 MWh.
- Μία άλλη εφαρμογή των LAES είναι να αξιοποιηθούν μαζί με γεωθερμικές εγκαταστάσεις αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα ενέργεια από αυτές αλλά αξιοποιώντας και την θερμότητα που παράγουν για το στάδιο της μετατροπής του υγρού αέρα σε αέρα υψηλής πίεσης, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη απόδοση.



Σύστημα LAES, Carrington, UK

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μολονότι οι υφιστάμενες τεχνολογίες όπως το PHES και το CAES έχουν καταφέρει να αποθηκεύουν ενέργεια με ανταγωνιστικό κόστος, μεγάλη απόδοση και για μεγάλα χρονικά διαστήματα, αμφότερες περιορίζονται σε κατάλληλες γεωγραφίες και γεωλογίες. Η αποθήκευσης με μπαταρίες εμφανίζει την μεγαλύτερη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια (κυρίως μπαταρίες λιθίου) λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας εγκατάστασης και της υψηλής ταχύτητας απόκρισης. Έχει όμως χαμηλή χωρητικότητα (σε ώρες) και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από συγκεκριμένα χημικά στοιχεία, των οποίων η επάρκεια και η τιμή δεν είμαστε σίγουροι πως θα μεταβληθούν στα επόμενα χρόνια. Ωφέλιμο είναι συνεπώς να εξελίσσονται κι άλλες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στην αύξηση του συνολικού αποθηκευτικού χώρου παγκοσμίως, αφού μόνο έτσι θα μπορέσουμε να απαλλαγούμε τελείως από τα ορυκτά καύσιμα και τις αρνητικές τους συνέπειες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Gilbert M. Masters, Επιστ. Επιμ.: Γ. Παπαδάκης
2. <https://www.frontiersin.org/research-topics/10251/long-duration-and-long-term-energy-storage-for-renewable-integration>
3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.527910/full#h5>
4. <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/pumped-hydropower/>
5. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pumped-storage-hydroelectricity>
6. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/abeb5b>
7. https://www.technologycatalogue.com/product_service/cased-wellbore-compressed-air-storage-renewable-energy
8. <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>
9. <https://eunice-group.com/gr/projects/battery-energy-storage-system-bess/>
10. <https://tyndp2020-project-platform.azurewebsites.net/projectsheets/storage/1035>
11. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>
12. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/power-gas-fix-all-problems-or-simply-too-expensive>
13. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.201900181>
14. <https://www.depa.gr/katatethike-i-protasi-white-dragon-gia-ta-simantika-erga-koinou-evropaikou-endiaferontos-ipcei-ydrogonou/>
15. <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/electricity-and-energy-storage.aspx>
16. <https://www.terna-energy.com/drastiriotites/erga-antlisotamieysis/#row-zen>
17. <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019>
18. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/ra/c8ra05564e>
19. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-fuel-basics>
20. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/23/8443/htm>
21. <https://orizon-ate.gr/parousiasi-monadas-apothiskeusis-udrogonou/>
22. <https://www.rae.gr/statistika/>
23. <https://www.energyvault.com/gravity>
24. http://www.fze.uni-saarland.de/AKE_Archiv/AKE2003H/AKE2003H_Vortraege/AKE2003H03c_Crotogino_ea_HuhtorffCAES_CompressedAirEnergyStorage.pdf