

Εναλλακτικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας

**Αποθήκευση Ενέργειας στο Ελληνικό Ηλεκτρικό Σύστημα, με
Ορίζοντα το 2050: Ανάγκες, εμπόδια και απαιτούμενες δράσεις**



Σωτήριος Καρέλλας
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 9
15780 Αθήνα
Email: sotokar@mail.ntua.gr
URL: www.lsbtp.mech.ntua.gr



Μηχανική Αποθήκευση

- Συστήματα συμπιεσμένου αέρα CAES
- Αντλησιοταμίευση

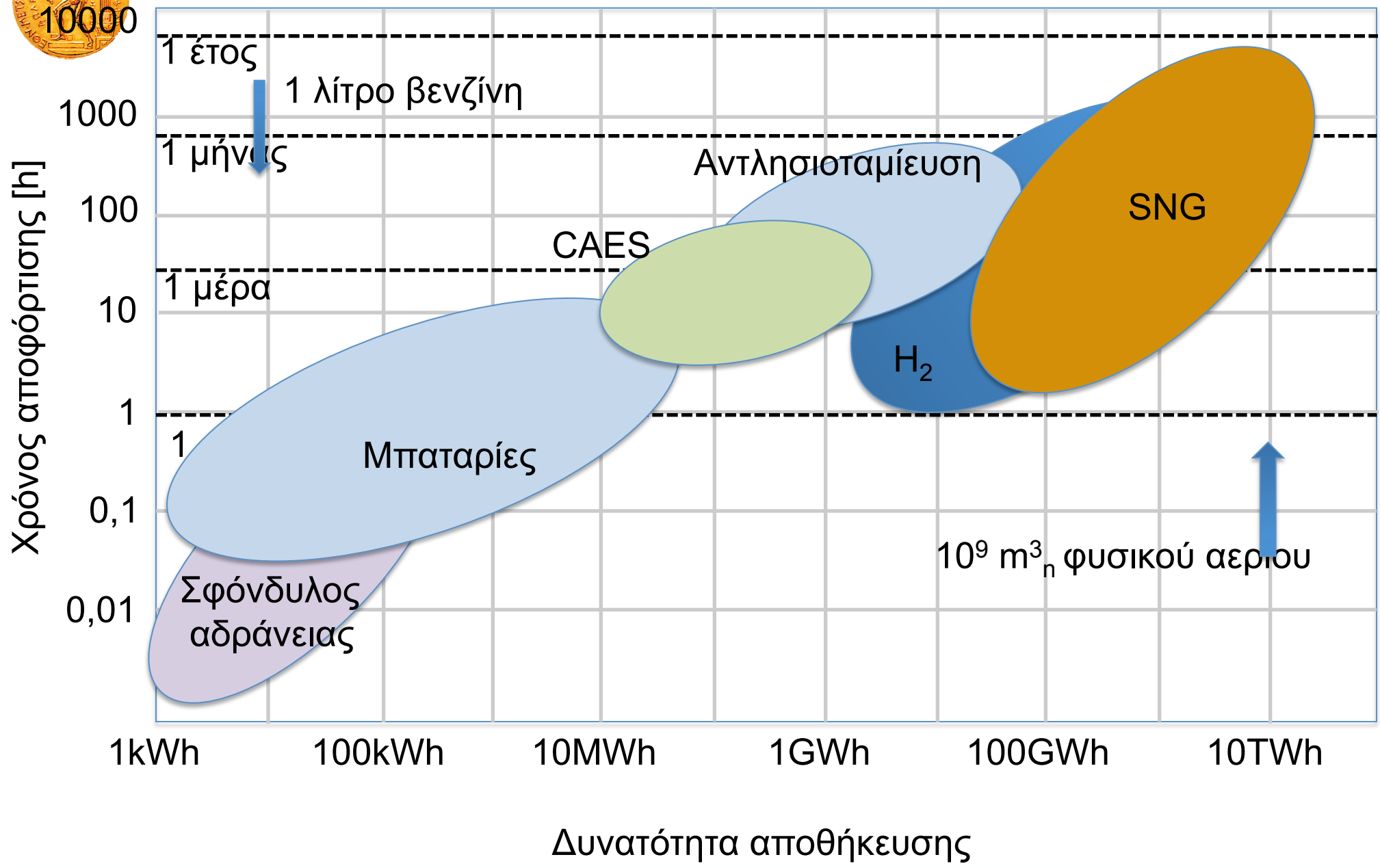
Χημική Αποθήκευση

- Μπαταρίες
- Υδρογόνο
- Υποκατάστατο Φυσικού Αερίου (SNG)
- Υγρά καύσιμα

Θερμική Αποθήκευση

- PCM
- Άλατα
- Νερό

Άλλα





Μηχανική Αποθήκευση

- Συστήματα συμπιεσμένου αέρα CAES
- Αντλησιοταμίευση

Χημική Αποθήκευση

- Μπαταρίες
- Υδρογόνο
- Υποκατάστατο Φυσικού Αερίου (SNG)
- Υγρά καύσιμα

Θερμική Αποθήκευση

- PCM
- Άλατα
- Νερό

Άλλα



Μηχανική Αποθήκευση

- Συστήματα συμπιεσμένου αέρα CAES
- Αντλησιοταμίευση

Χημική Αποθήκευση

- Μπαταρίες
- Υδρογόνο
- Υποκατάστατο Φυσικού Αερίου (SNG)
- Υγρά καύσιμα

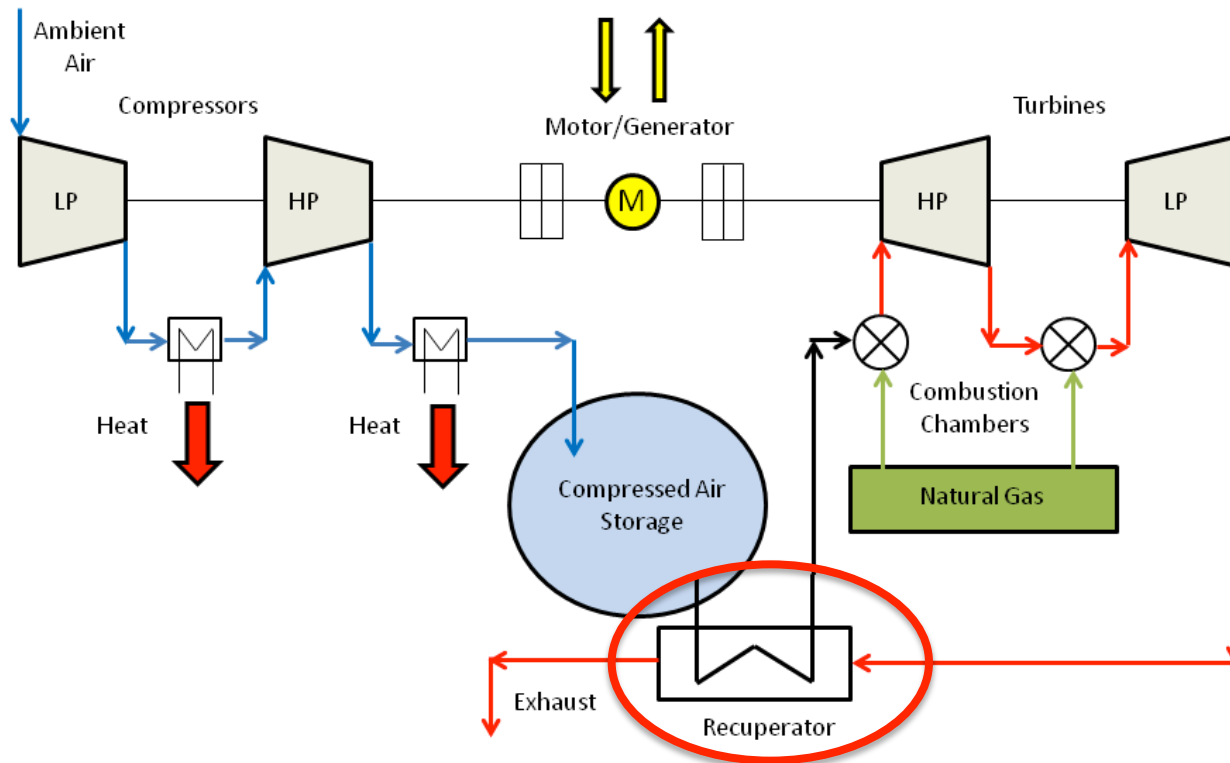
Θερμική Αποθήκευση

- PCM
- Άλατα
- Νερό

Άλλα



Συστήματα αποθήκευσης με πεπιεσμένο αέρα



Παραδείγματα:

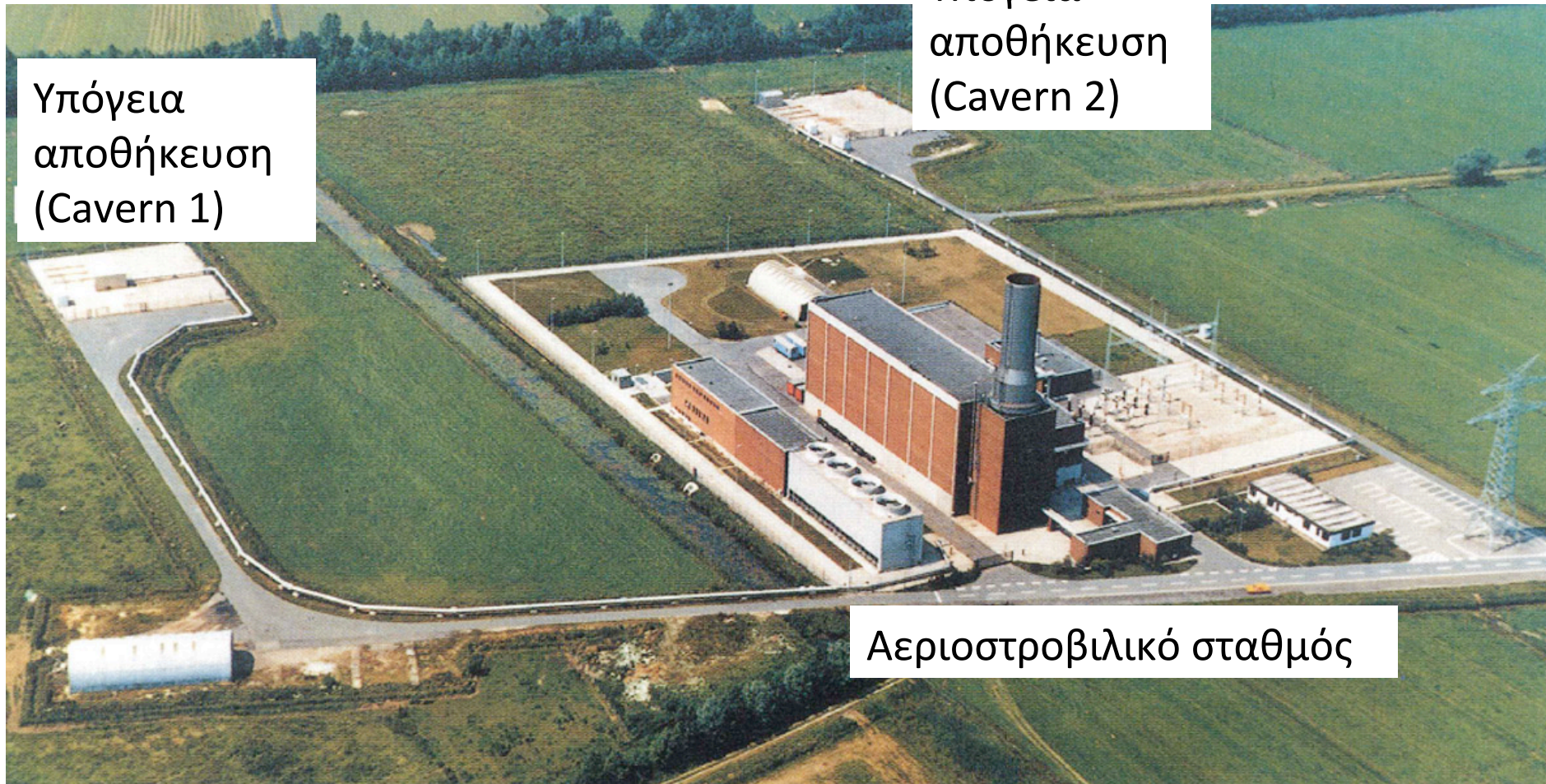
Huntorf (Γερμανία)
McIntosh (ΗΠΑ)

- Μια τεχνολογία αρκετά υποσχόμενη
- Βελτιστοποίηση με ενεργειακή και εξεργειακή ανάλυση
- Μπορεί να υπάρξει μεγάλο ερευνητικό αντικείμενο σε υβριδικά συστήματα αποθήκευσης.....

Παράδειγμα: Μονάδα CAES Huntorf



Παράδειγμα: Μονάδα CAES Huntorf



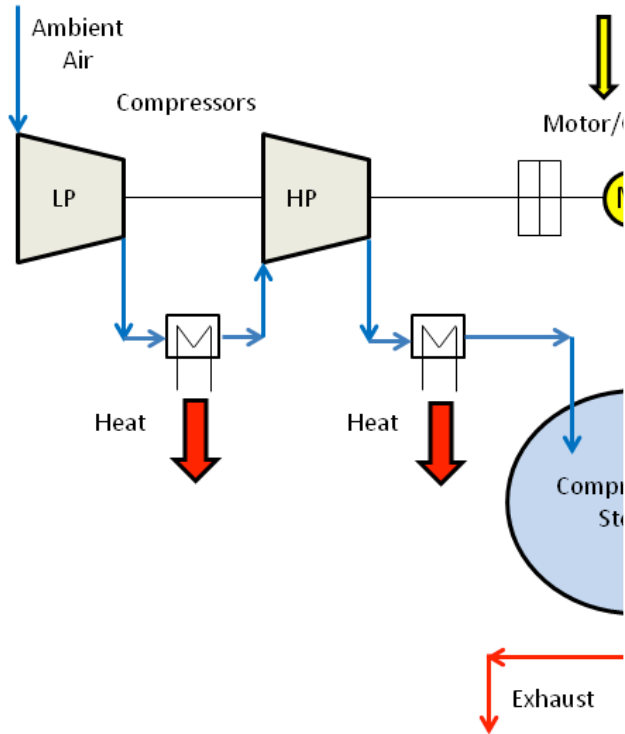
Υπόγεια
αποθήκευση
(Cavern 1)

Υπόγεια
αποθήκευση
(Cavern 2)

Αεριοστροβιλικό σταθμός



Συστήματα αποθήκευσης με πεπιεσμένο αέρα

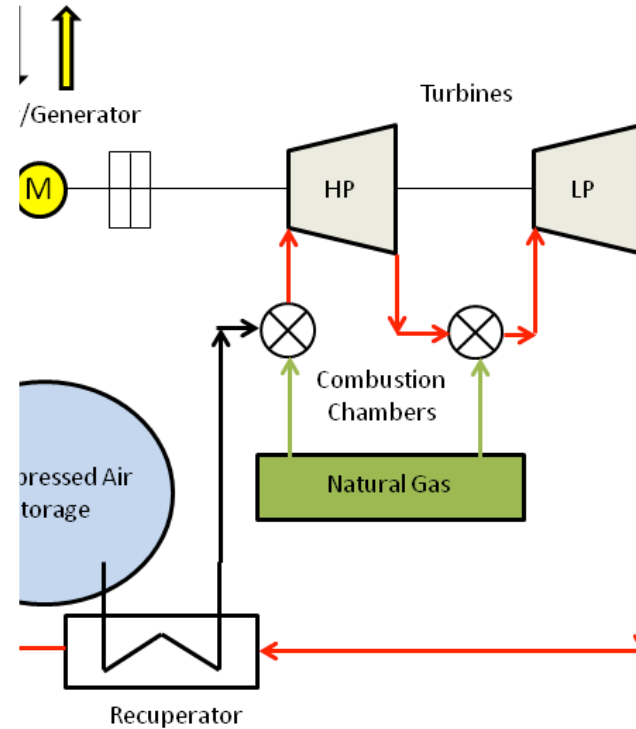


Στάδιο αποθήκευσης



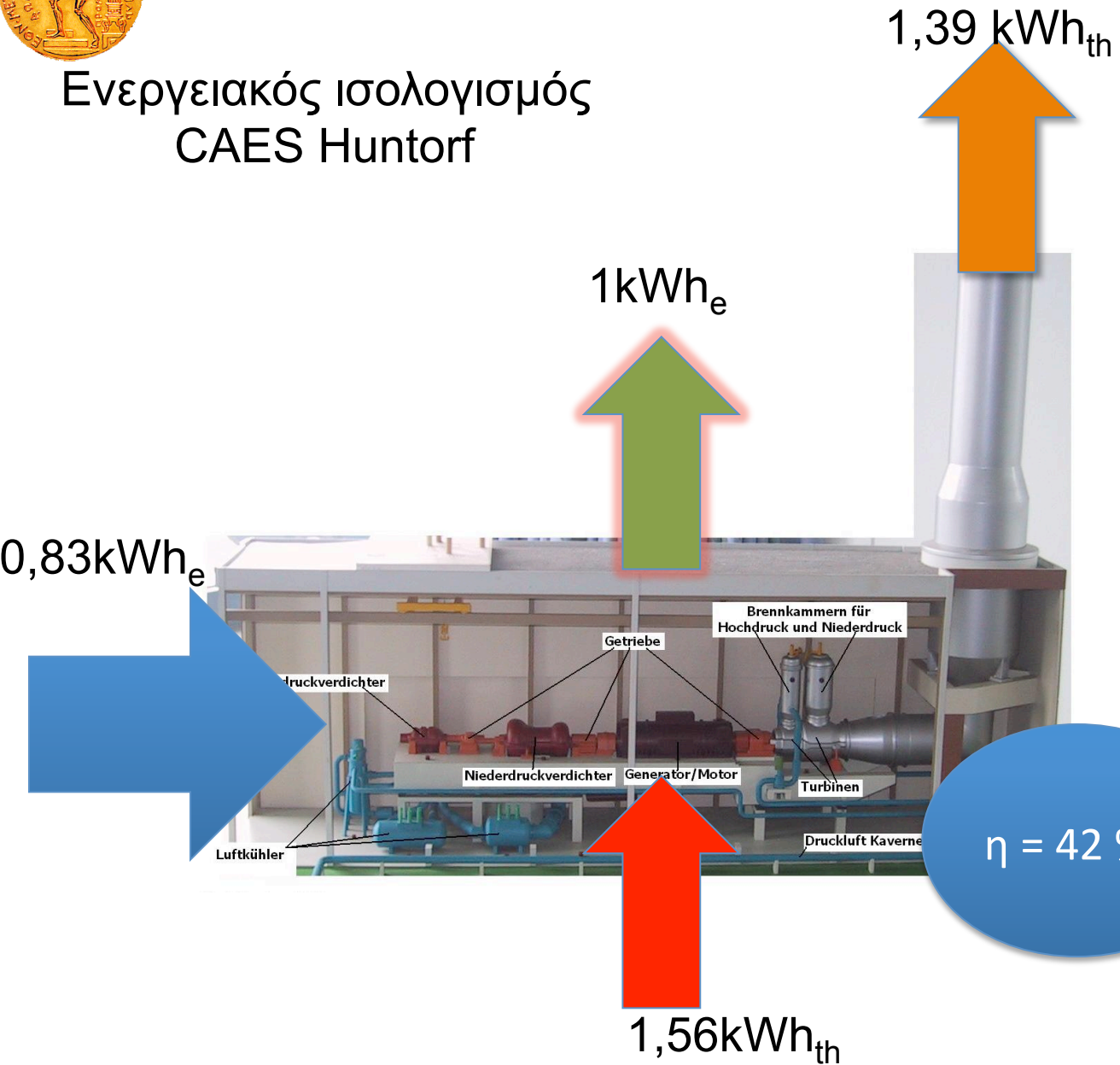
Συστήματα αποθήκευσης με πεπιεσμένο αέρα

Στάδιο Παραγωγής
ηλεκτρικής ενέργειας





Ενεργειακός ισολογισμός CAES Huntorf



Τεχνικά χαρακτηριστικά

- output 320 MWe * 2h
- input 60 MW * 8h
- 2 σπηλιές χωρητικότητας 150.000 m³
- Πίεση 50..70 bar

$\eta = 42 \%$



McIntosh Alabama

$\eta = 54 \%$



Input:

0,69 kWh_e

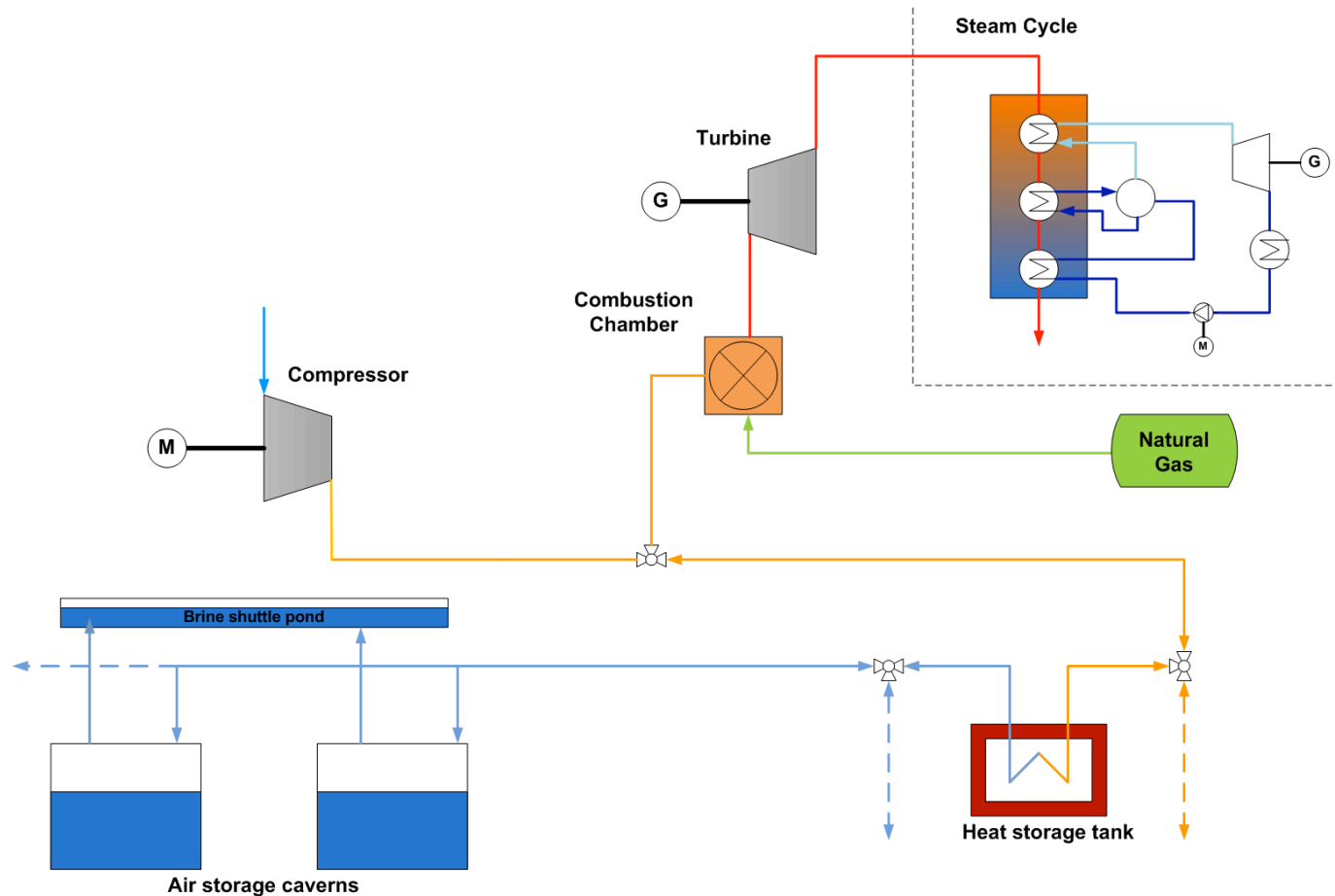
1,17 kWh_{th} Φυσικό
αέριο

Output:

1 kWh_e



Συστήματα συμπιεσμένου αέρα «συνδυασμένου κύκλου»





Μηχανική Αποθήκευση

- Συστήματα συμπιεσμένου αέρα CAES
- Αντλησιοταμίευση

Χημική Αποθήκευση

- Μπαταρίες
- Υδρογόνο
- Υποκατάστατο Φυσικού Αερίου (SNG)
- Υγρά καύσιμα

Θερμική Αποθήκευση

- PCM
- Άλατα
- Νερό

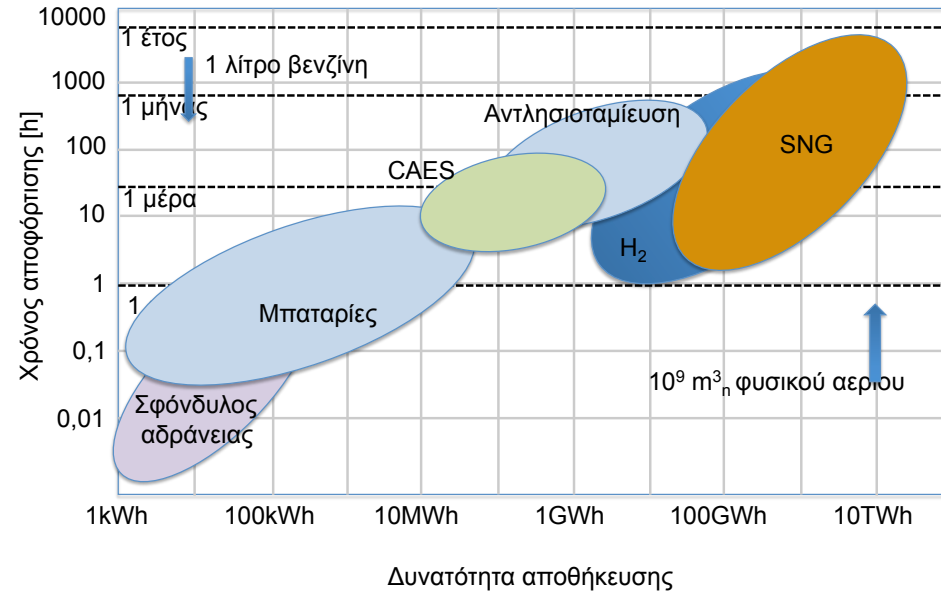
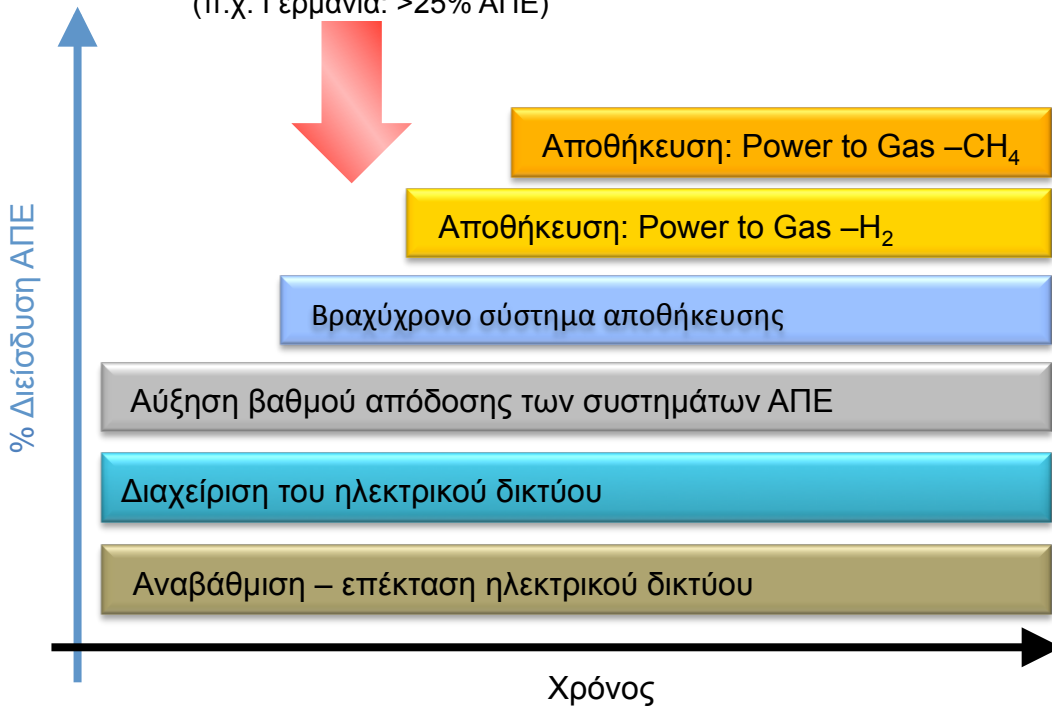
Άλλα



Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

EU 2013

(π.χ. Γερμανία: >25% ΑΠΕ)



Η τεχνολογίες Power to Gas (H₂/SNG) έχουν τη μεγαλύτερη δυνατότητα από άποψη μεγέθους και χρόνου (Τάξη μεγέθους TWh)



Η ενέργεια:

- Δεν μπορεί να καταναλωθεί
- Μπορεί να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί
- Μπορεί να μετατραπεί σε άλλη μορφή

Οι χημικοί φορείς ενέργειας:

- **Περιέχουν** χημική ενέργεια (χημική ενθαλπία)
- **Παράγονται** για μεταφορά και αποθήκευση
- **Από** ορυκτές και ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές ή από σύνθεση των συστατικών τους
- **Χρησιμοποιούνται** σε συστήματα μετατροπής ενέργειας ή διεργασίες χημικής σύνθεσης

Χημικός φορέας: Φυσικό αέριο

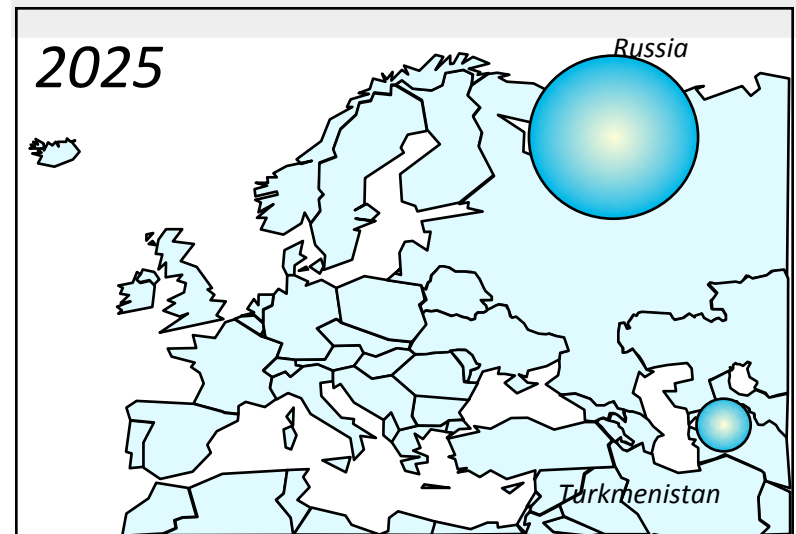
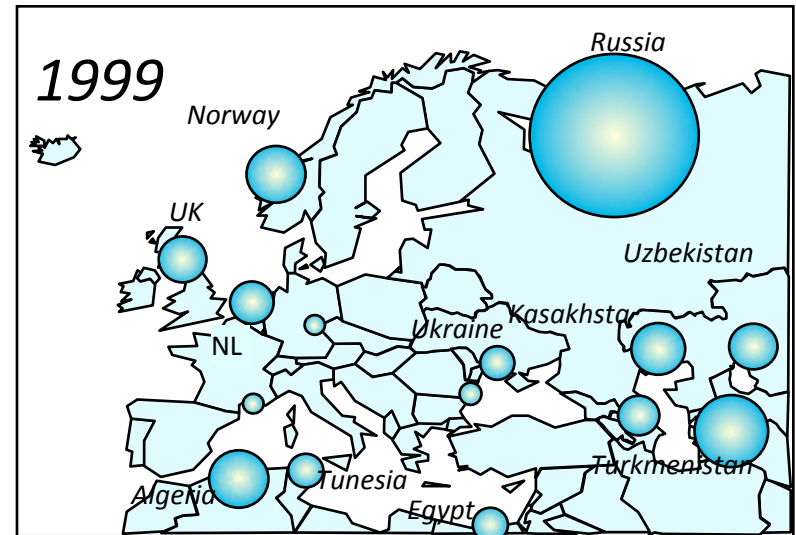
ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ;



Συνδυασμός με δέσμευση CO₂;

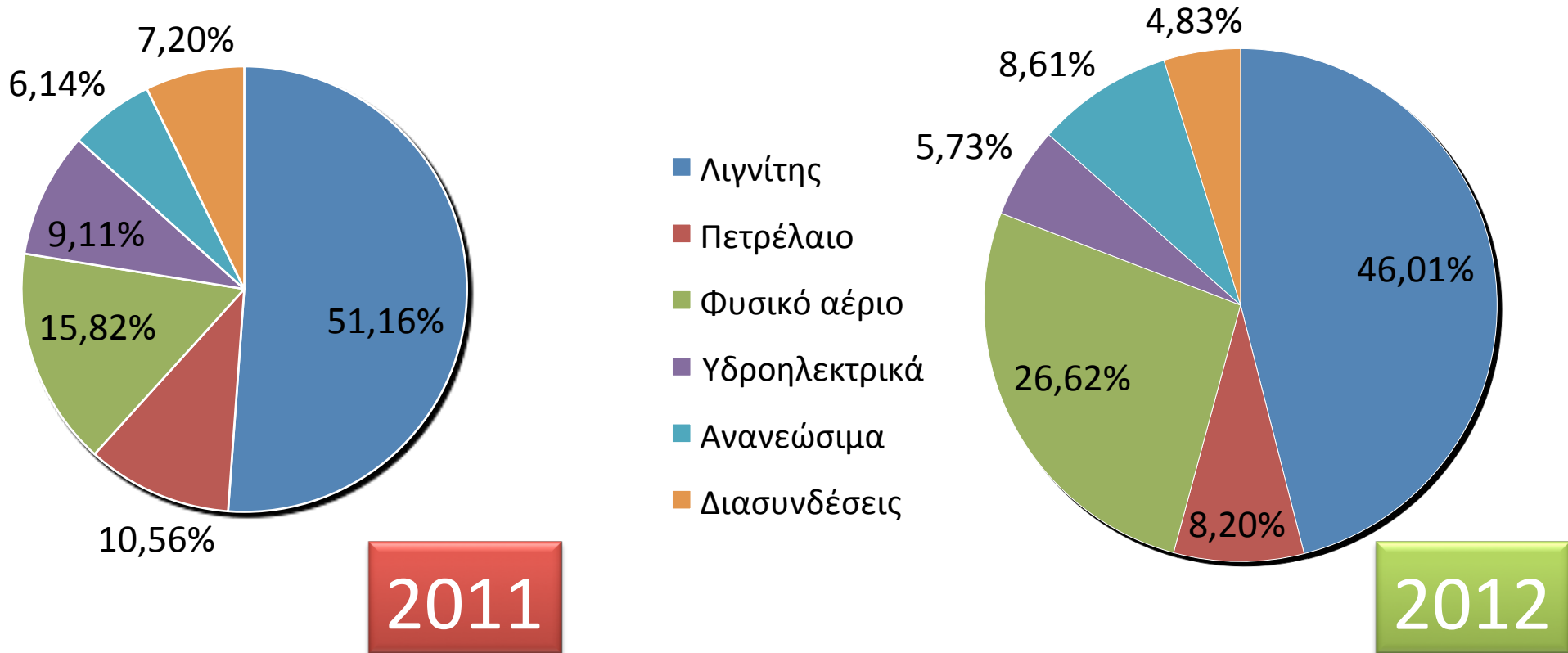


Ευρωπαϊκό Φυσικό Αέριο



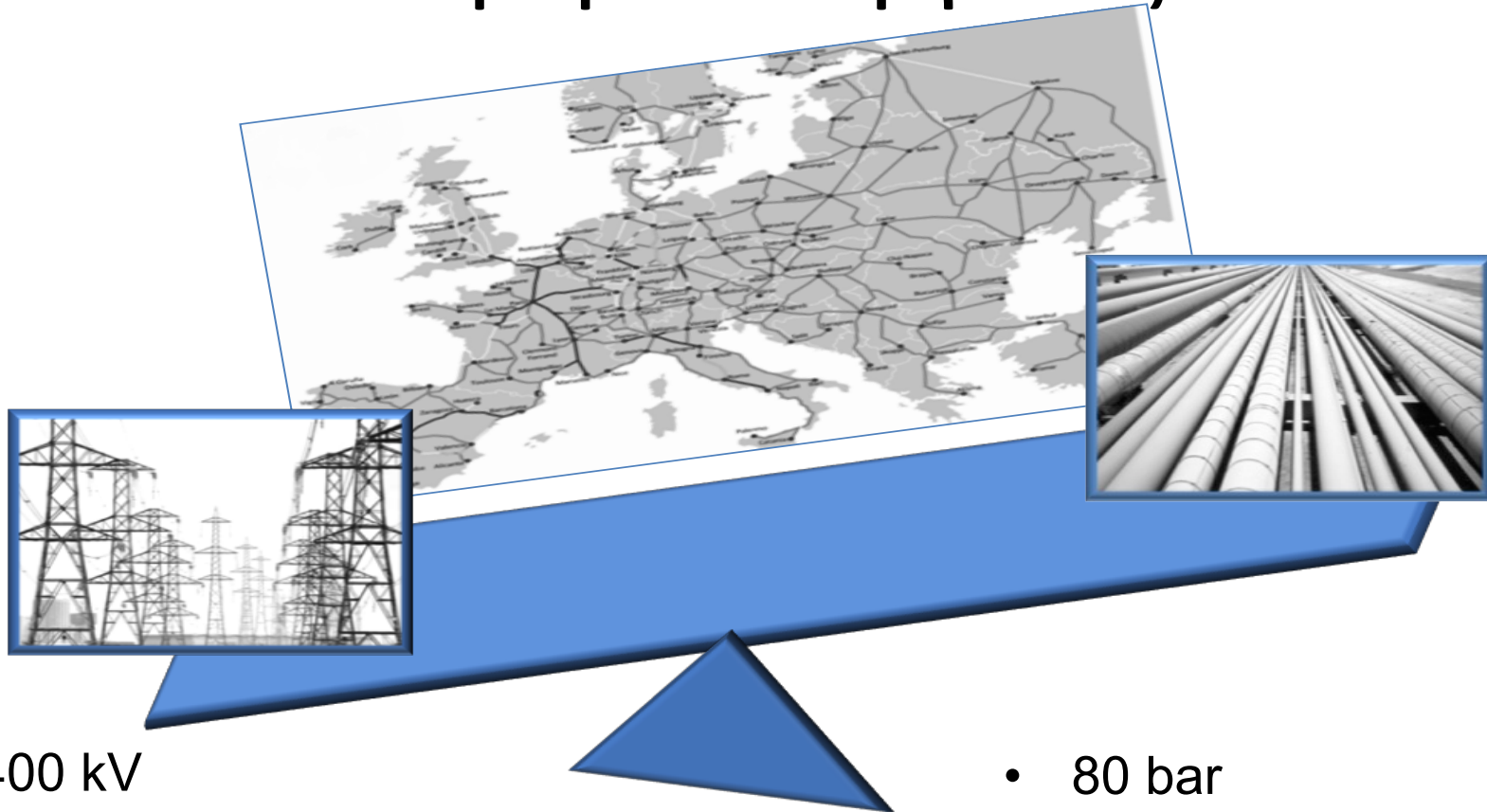


Ενεργειακό μείγμα της χώρας



Φυσικό αέριο: Το εθνικό καύσιμο της Ελλάδας!!!!

Μεταφορά ενέργειας

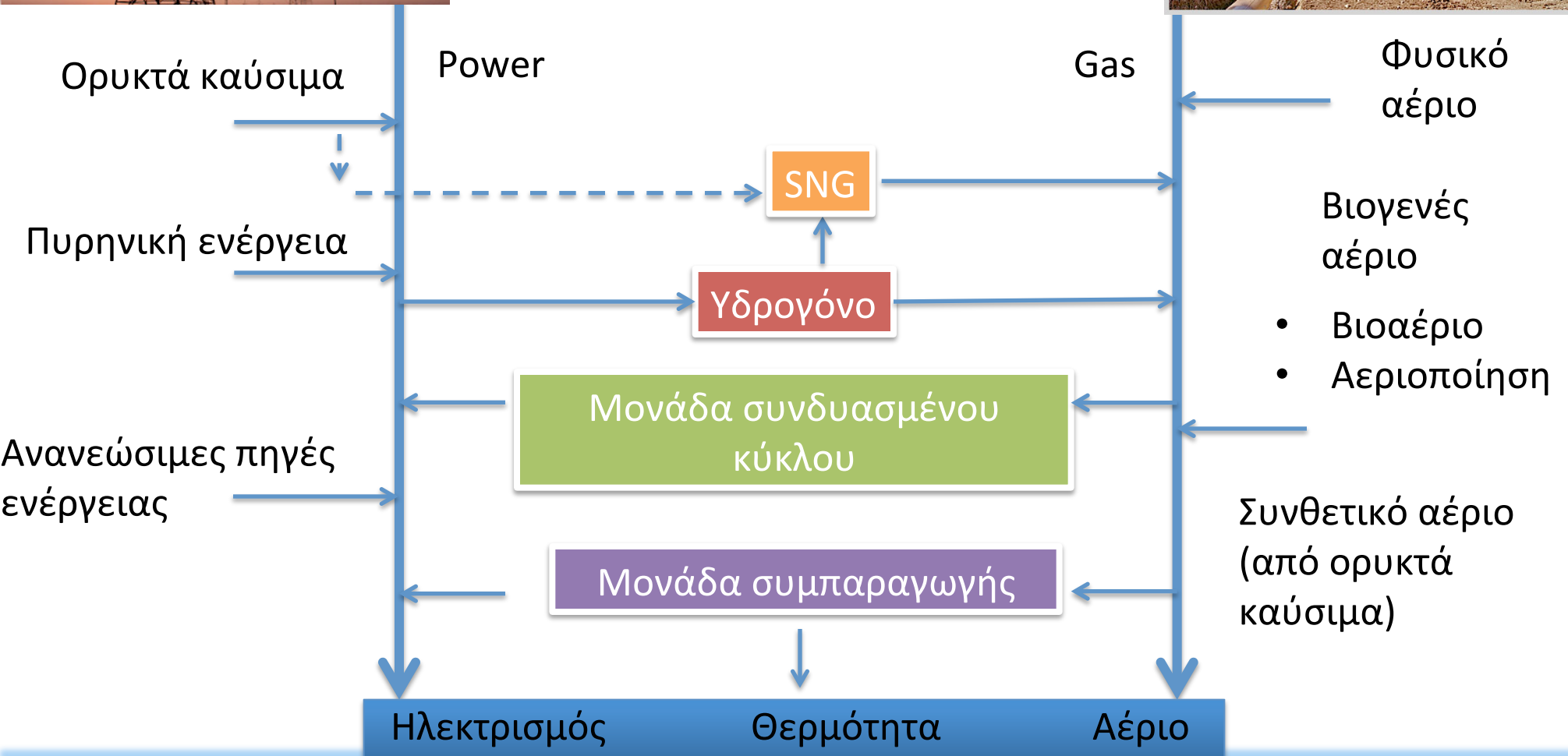


- 400 kV
- AC
- $2 \cdot 1,8 \text{ GW}_e$
- 5% απώλειες στα 500km

- 80 bar
- 1200 mm
- $30 \text{ GW}_{\text{chem}}$
- 0,5% στα 500km



Power-to-Gas



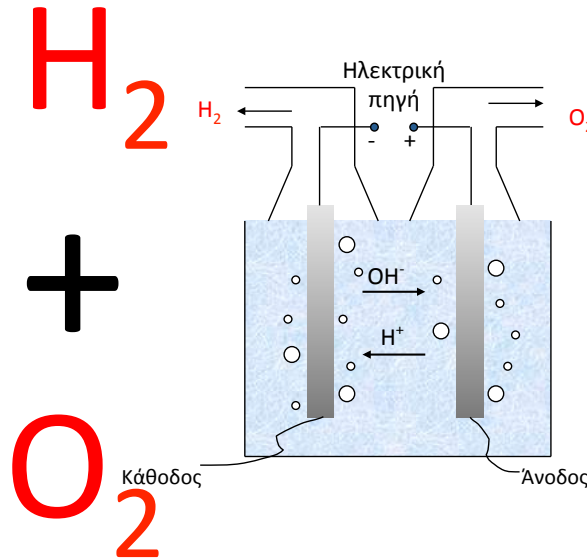


Παραγωγή υδρογόνου



+

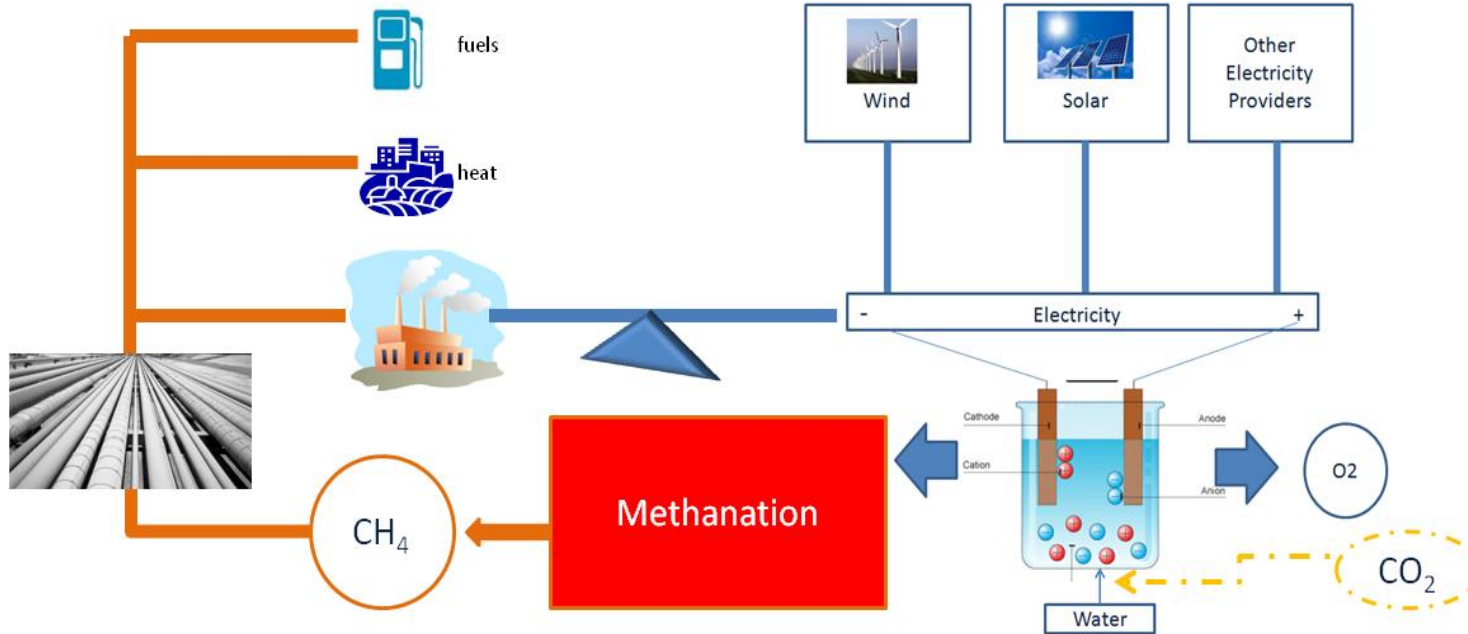
Ενέργεια



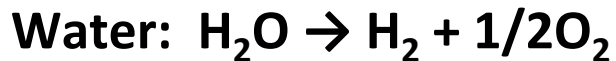
Δίκτυο
αερίου

$\eta = 80\%$

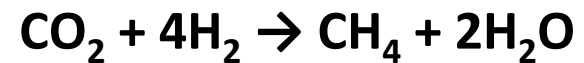
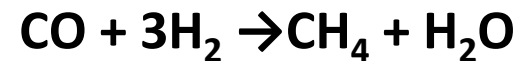
Power2Gas Παραγωγή SNG



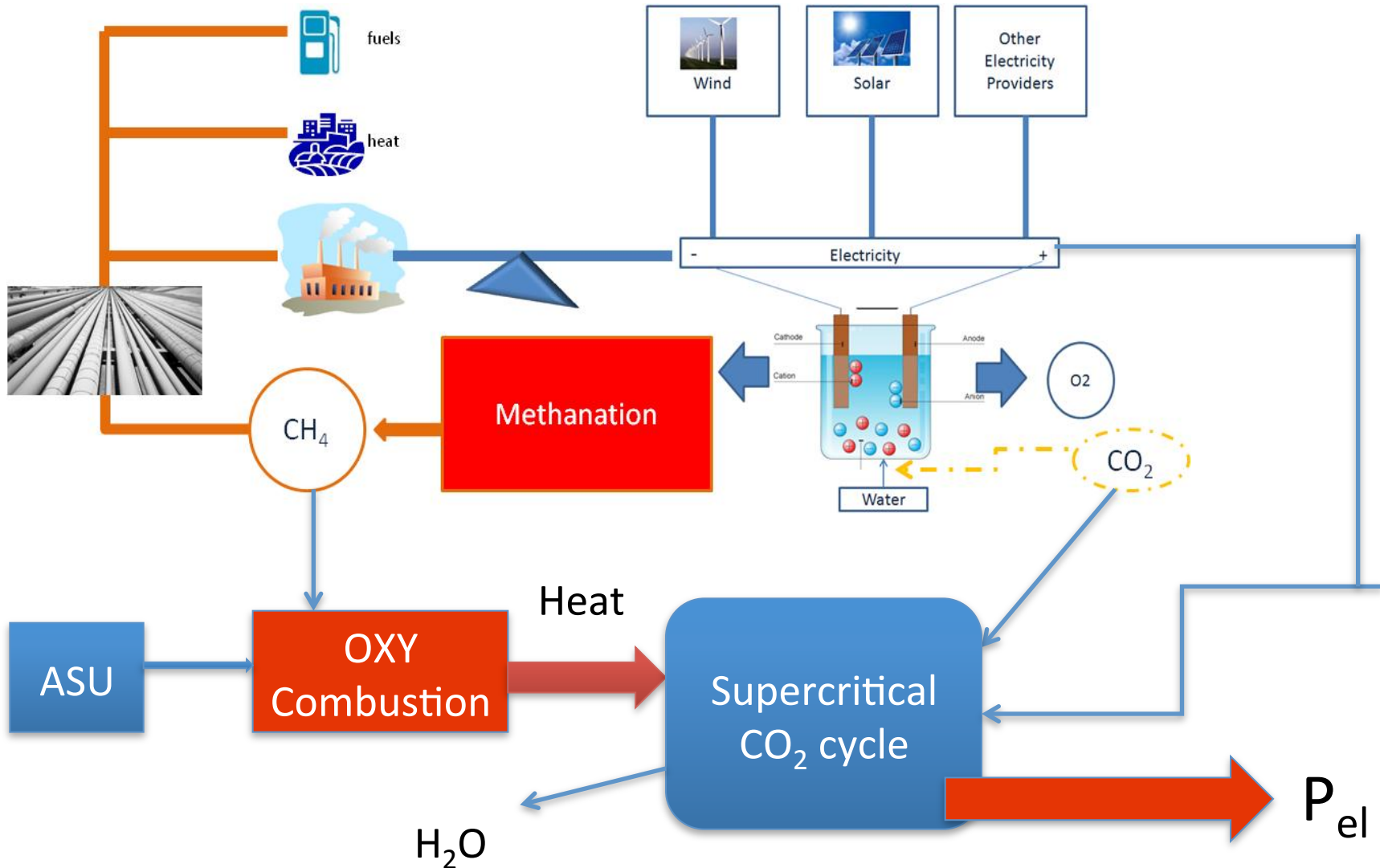
2 route Electrolysis



2 route Methanation process



Power2Gas με υπερκρίσιμο κύκλο CO₂





Γιατί πλατφόρμα μεθανίου;

- Μεθάνιο:
 - Παράγεται από αντίδραση με CO_2 που εκπέμπεται από τους ΑΗΣ (CCU)
 - Είναι συμβατό με υπάρχουσες τεχνολογίες
 - Απευθείας χρήση του σε βιομηχανία και μεταφορές, αλλά και σε οικιακούς καταναλωτές
- Το δίκτυο φυσικού αερίου υπάρχει και έτσι δεν υπάρχουν κάποια τεχνολογικά εμπόδια στην αποθήκευση ενέργειας με αυτόν τον τρόπο.

Απόδοση μεθανοποίησης

$\eta = 80 \%$

Πόσο μεγάλο είναι ένα σύστημα αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας;

Αποθήκευση σε φυσικό αέριο: 260 GWh

17 μέρες



Χρόνος που μπορεί να δουλέψει με το καύσιμο αυτό ένας θερμικός σταθμός 800MWe

Αποθήκευση υδρογόνου: 84GWh

5 μέρες



Αντλιοσταμείωση (Σταθμός Waldeck): 84GWh

6 ώρες



1,4 ώρες



CAES Huntorf: 0,9GWh



Παραδοχές:

Για το υδρογόνο και το φυσικό αέριο έχει υποτεθεί όγκος ίσος με 300.000m³ (=Huntorf)

Απόδοση μετατροπής: 60%

Πηγή: Eon



Πλοίο, 150.000t λιθάνθρακα, 540GWh_e

Χρόνος που μπορεί να δουλέψει με
το καύσιμο αυτό ένας θερμικός
σταθμός 800MWe

35 μέρες



Αποθήκευση σε φυσικό αέριο: 260 GWh

17 μέρες



Χρόνος που μπορεί να δουλέψει με
το καύσιμο αυτό ένας θερμικός
σταθμός 800MWe

Αποθήκευση
υδρογόνου: 84GWh

5 μέρες



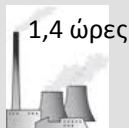
Αντλιοσταμείωση
(Σταθμός Waldeck):
84GWh



6 ώρες



CAES Huntorf:
0,9GWh

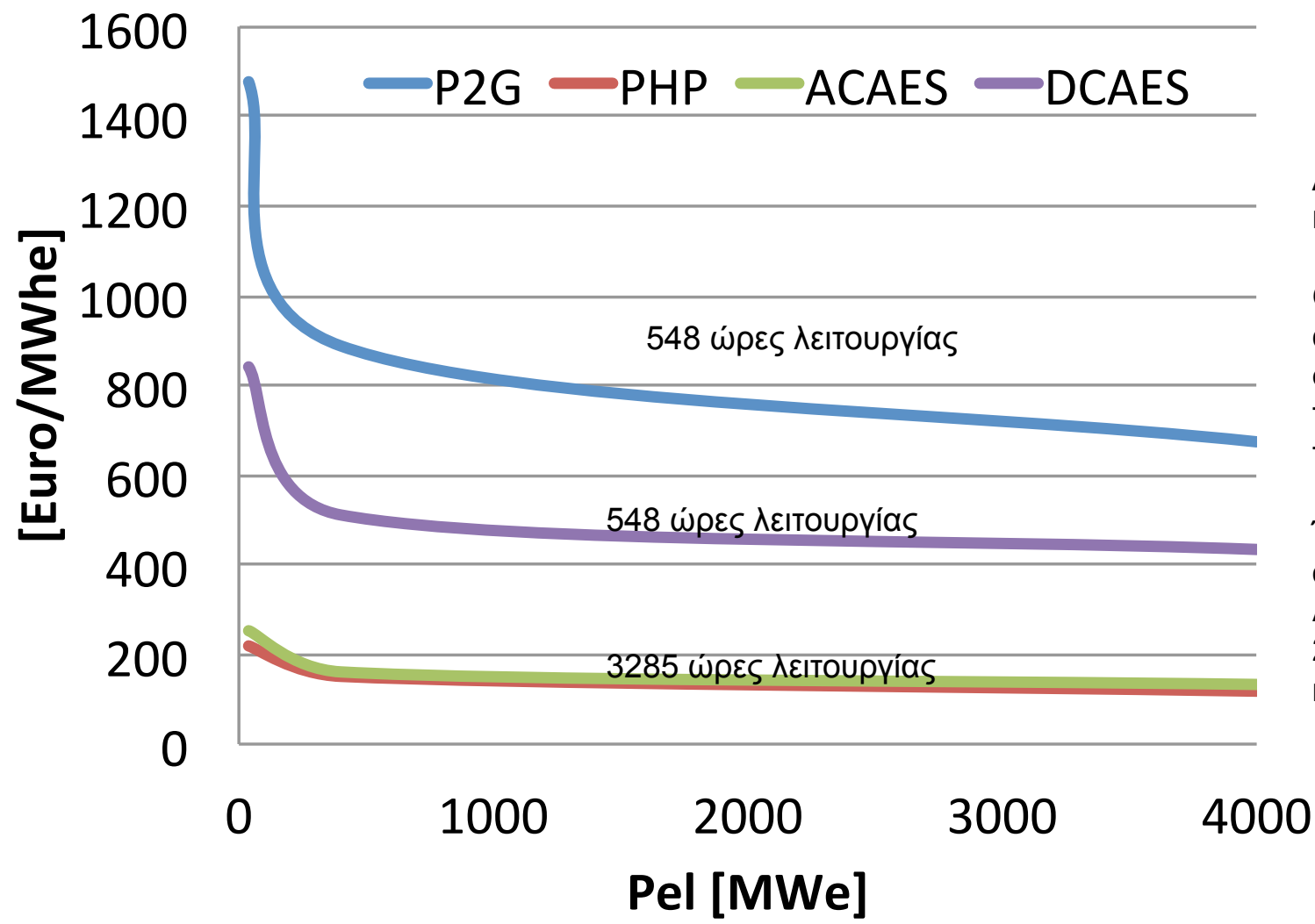


1,4 ώρες

Πηγή: Eon



Τιμές 2012



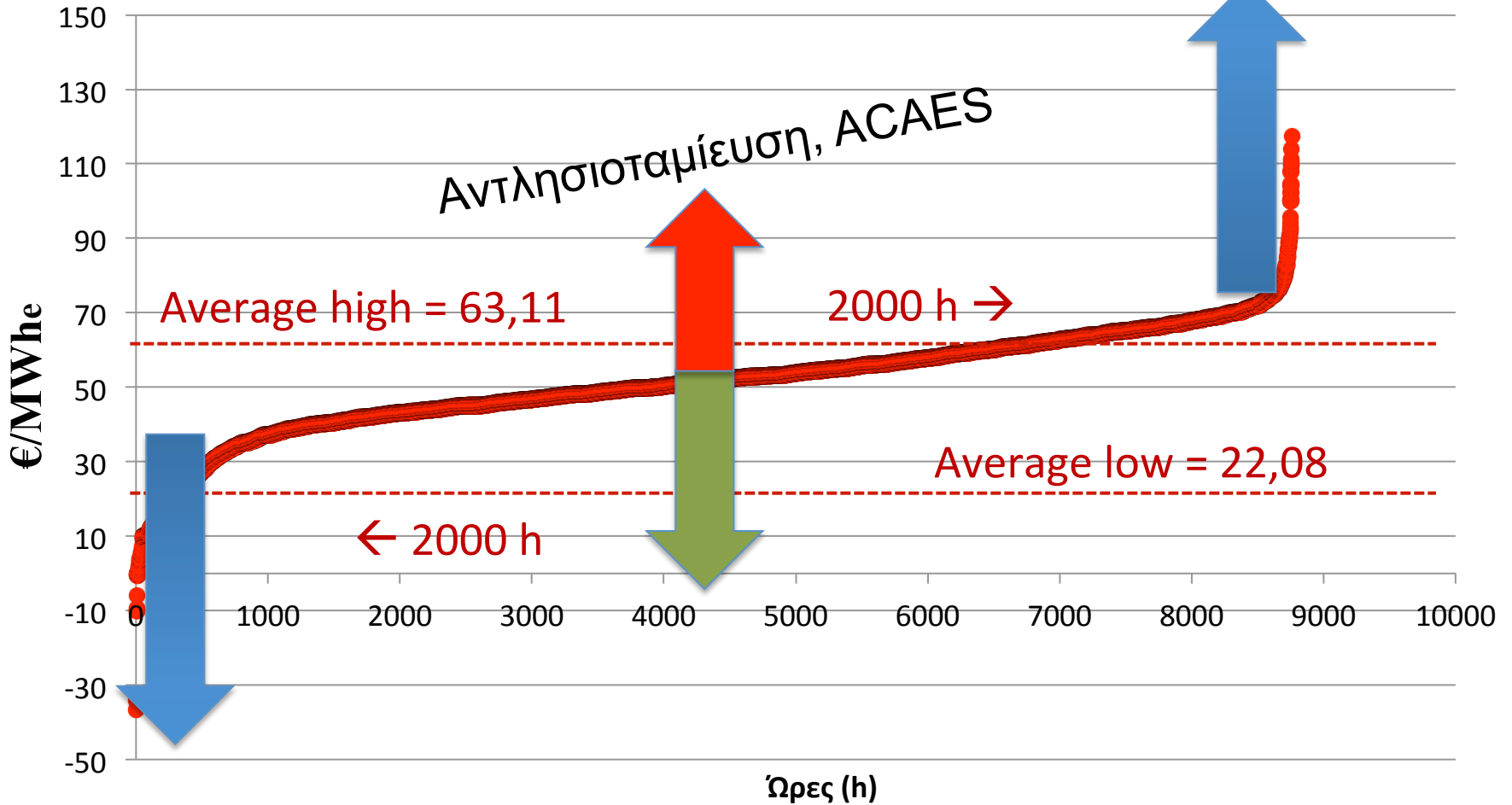
Αν η διακύμανση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας αλλάξει

Οι τεχνολογίες μπορούν να αγοράζουν πιο πολλές ώρες φθινό ρεύμα και να πουλάνε τις ώρες αιχμής σε ακριβότερες τιμές.

Έτσι, το CAPEX τους μειώνεται όσο πιο πολλές ώρες λειτουργούν και οι τιμές του 2012 μπορεί να μειωθούν έως και 60%

ACAES και HPS μπαίνουν πιο πολλές ώρες λόγω του καλύτερου βαθμού απόδοσης ηλεκτρική σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα ACAES δεν είναι τεχνολογικά ώριμο

Γερμανία 2012



Δύο βασικοί-καθοριστικοί παράγοντες:

www.eex.com

SPREAD

Medium Average

Παράδειγμα E-Gas Project της Audi

Audi e-gas plant

CO₂ από μονάδα βιοαερίου EWE AG

H₂ από
ηλεκτρολύτες
ETOGAS GmbH
(πρώην SolarFuel)

Electrolyzers

Methanation Reactor

Compression Station

Amine Scrubber

feed-in station to gas-grid

Audi Project παραδόθηκε 25.6.2013





E-Gas Project της Audi

Ισχύς:

- 6,3 MW_{el} power-to-gas ,
- 1,000 t SNG το χρόνο (e-gas)
- Χημική ένωση 2800 tCO₂ με 520 t H₂

Τοποθεσία: Wertle - Κάτω Σαξονία-Γερμανία

Τελικός χρήστης: LNG, filling stations, Αυτοκίνητα

Partners: Audi, ETOGAS GmbH (πρώην SolarFuel), MT-BioMethan GmbH και EWE AG.

Βαθμός απόδοσης: Δυνατότητα ηλεκτροπαραγωγής 6,3 MW_e και βαθμός απόδοσης 54%

Σκοπός: Βιομηχανοποίηση με δεύτερο σύστημα το 2013 και έναν τρίτο το 2014/15. Βαθμός απόδοσης η> 60%



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας

