

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

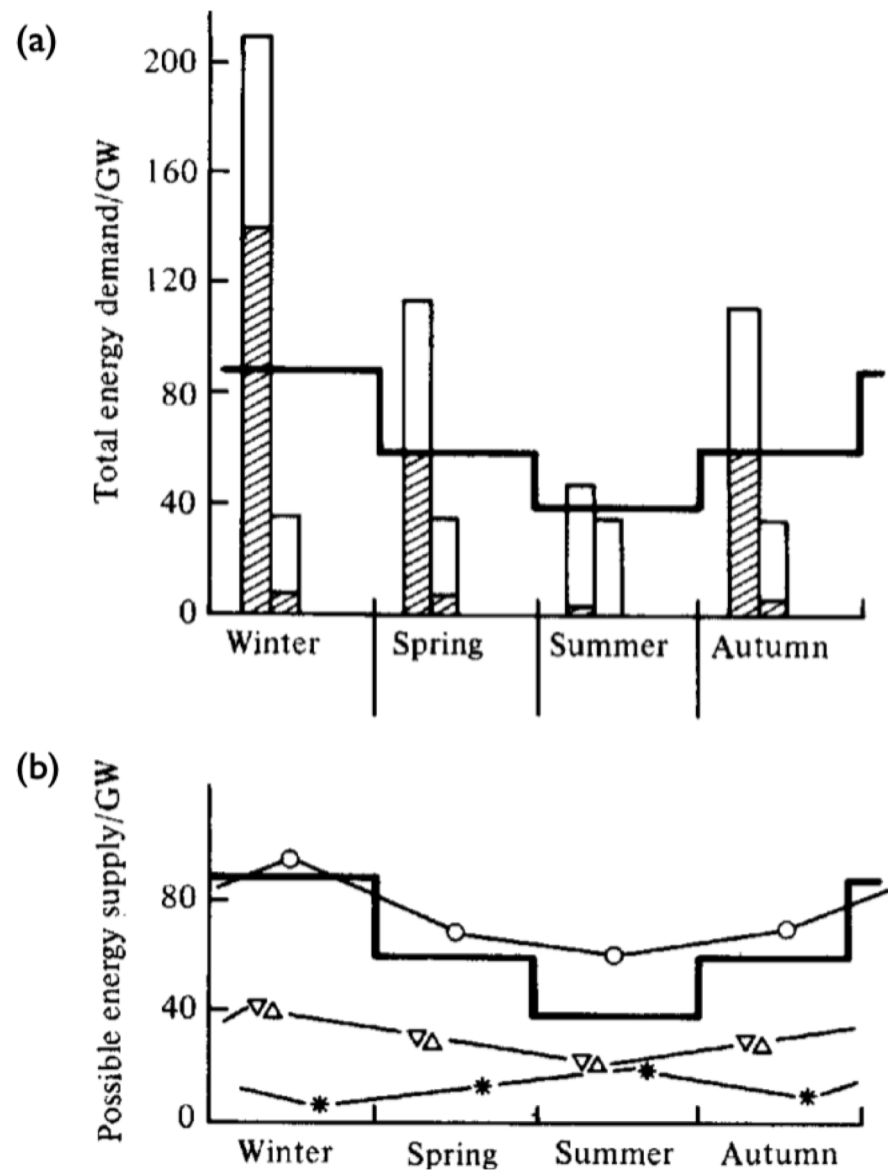
Διδάσκων: Ιωάννης Γκιάλας

Κεφάλαιο 7

Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας

Classic early study predicting the benefit of a national renewable energy strategy, from Ryle's 1977 paper in *Nature*. (a) Seasonal changes in total demand for energy for all purposes in Great Britain. All quantities are gigawatt of primary energy. The two vertical column-bars for each season correspond to total demand (1) on the coldest day of the season and (2) during sleeping hours. Hatched areas represent demand for space heat and potable hot water in public buildings, housing and industry; the remaining column for electricity. The heavy line shows what the demand would be if 7-day storage of heat were available to smooth out the diurnal pattern and weather fluctuations. Note that the hatched areas are for when heat is *wanted*, i.e. predominantly in daytime, and so even existing ~ 12 h storage in hot water tanks and building fabric substantially reduces the day/night demand fluctuations. (b) Firm power that could *potentially* be obtained in Great Britain from solar heat (*) and wind and waves ($\nabla\Delta$) for total (o), allowing for 7-day storage of heat. Note that the total power available from just these three renewable sources (o) exceeds the smoothed total demand (heavy line from (a)). For further details of assumptions, see Problem 16.4.



Αποθήκευση ενέργειας

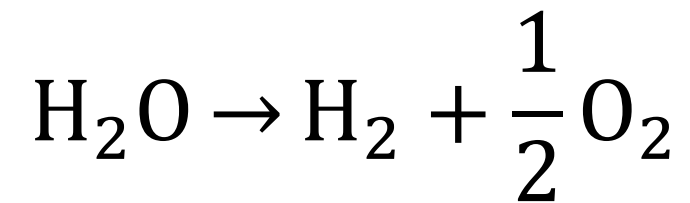
- Μεταφορά-αποθήκευση (απόδοση λειτουργικότητα) μηχανισμού αποθήκευσης
- Βιολογική αποθήκευση: Φυτά-αποθήκευση (καύση, απολιθώματα, ορυκτά κάυσιμα)
- Χημική αποθήκευση, (πχ. H_2), Καύση
- $\Delta H = 242 \text{ kJmol}^{-1}$ ($1 \text{ mol } H_2 \rightarrow 18 \text{ g } H_2O$)
- Ηλεκτρόλυση (απόδοση $\approx 60\%$)
- Στους 2700K η ηλεκτρόλυση προχωράει χωρίς ηλεκτρισμό
- Πιο οικονομικά, η ηλεκτρόλυση μπορεί να γίνει στους 1000K από συγκεντρωτικά ηλιακά κάτοπτρα

Αποθήκευση υδρογόνου

Η ελεύθερη ενέργεια Gibbs (σχετίζεται με την αντιστρεπτή ηλεκτροχημική αντίδραση)

$$\Delta G = nF\xi = \Delta H - T\Delta S$$

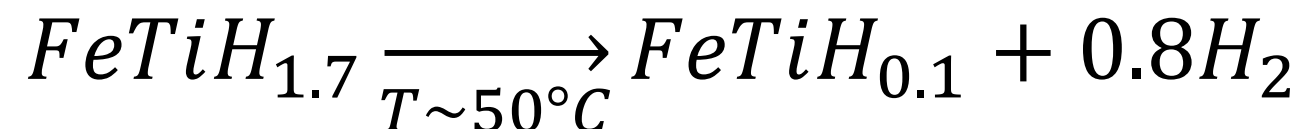
οπου ξ το ηλεκτρικό δυναμικό, $F=96500 \text{ Cmol}^{-1}$ σταθ Faraday, n : αρ. γραμμομορίων



Η αποθήκευση H_2 είναι πιο περίπλοκη, επειδή απαιτείται μεγάλος όγκος (και είναι εκρηκτικό)

Γίνεται υγρό H_2 στους -253°C , άρα ακριβή στην κατασκευή και συντήρηση.

Αποθήκευση σε υδρίδια (αντιστρεπτές διαδικασίες)



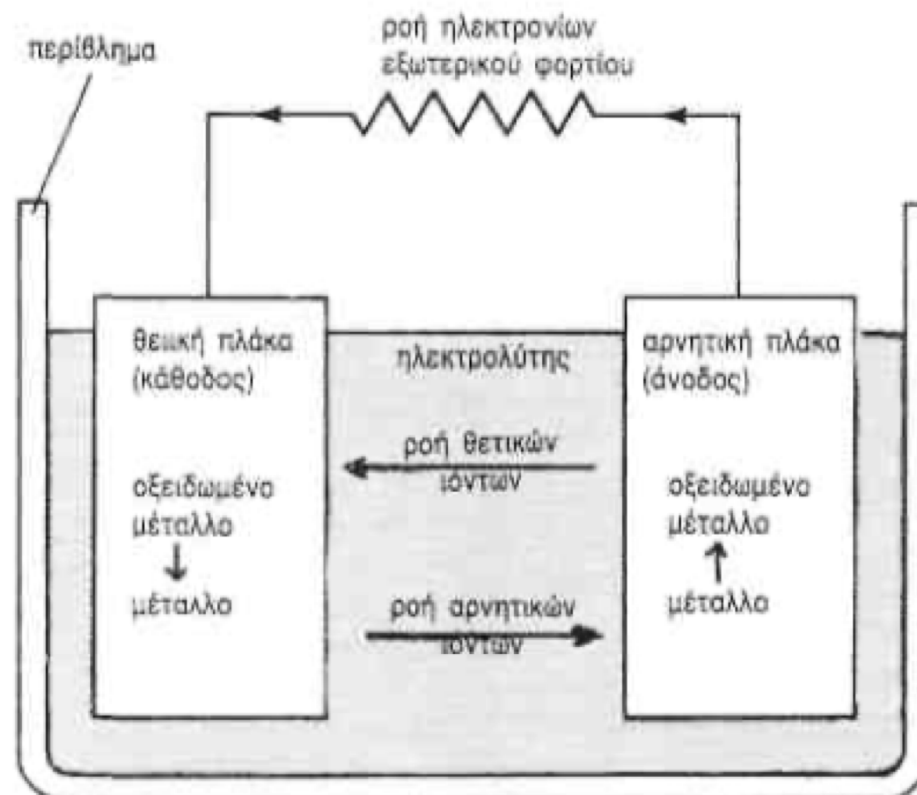
Η απελευθέρωση γίνεται με θερμότητα

Αποθήκευση Θερμότητας

- Ένα μεγάλο μέρος της απαιτούμενης ενέργειας είναι για θέρμανση κτιρίων, καλό είναι να μη χρησιμοποιούνται ανώτερες θερμοδυναμικά μορφές ενέργειας, όπως η μηχανική ή ο ηλεκτρισμός, αλλά θερμότητα που προκύπτει με διάφορους τρόπους και δεν μπορεί να μετατραπεί με καλή απόδοση σε άλλες μορφές ενέργειας.
- Για θέρμανση τον χειμώνα αλλά αποθήκευση θερμότητας το καλοκαίρι όταν η ακτινοβολία του Ήλιου έχει την μέγιστη ένταση απαιτεί αποθήκευση για τουλάχιστον 3 μήνες.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποσότητες νερού σε μονωμένες δεξαμενές, ή συμπαγείς μάζες όπως πέτρα.
- Ακόμα και πρόχειροι υπολογισμοί δείχνουν ότι αυτό είναι μία εφικτή εναλλακτική.

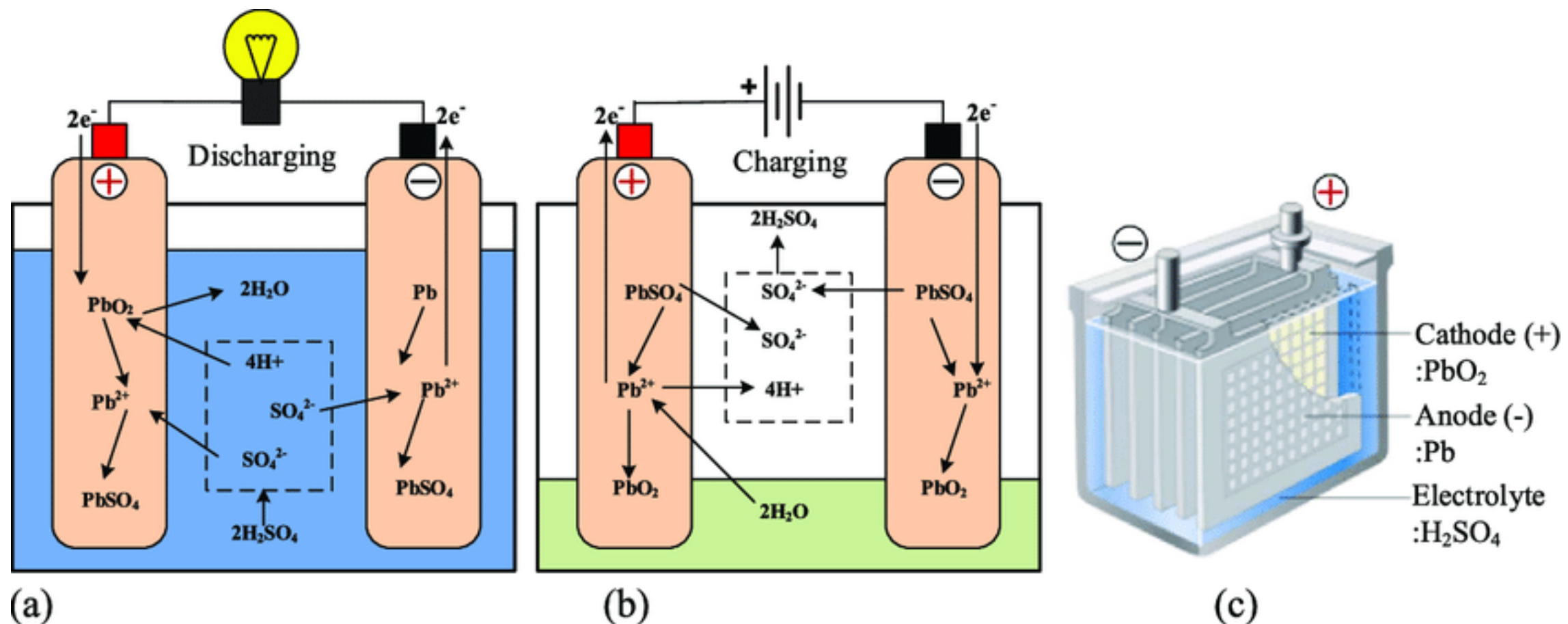
Γενική λειτουργία ηλεκτροχημικού στοιχείου

Ο όρος μπαταρία ή συστοιχία ή συσσωρευτής, υπό τη στενή του έννοια υποδηλώνει ένα σύνολο ή συγκρότημα δύο ή περισσότερων στοιχείων τα οποία μετατρέπουν χημική ενέργεια κατευθείαν σε ηλεκτρική ενέργεια. Παρά ταύτα, ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει και ένα μόνο στοιχείο. Σε μια βολταϊκή στήλη, λόγω χάρη, συντελούνται χημικές αντιδράσεις, που ελευθερώνουν ηλεκτρόνια από τον ένα πόλο (την άνοδο ή αρνητικό ηλεκτρόδιο) του στοιχείου τα οποία οδεύουν προς τον άλλο πόλο (την κάθοδο ή θετικό ηλεκτρόδιο). Η διεργασία μπορεί να συνεχίζεται μέχρις ότου το κύκλωμα διακοπεί, ή ένα από τα αντιδρώντα στοιχεία εκλείψει:

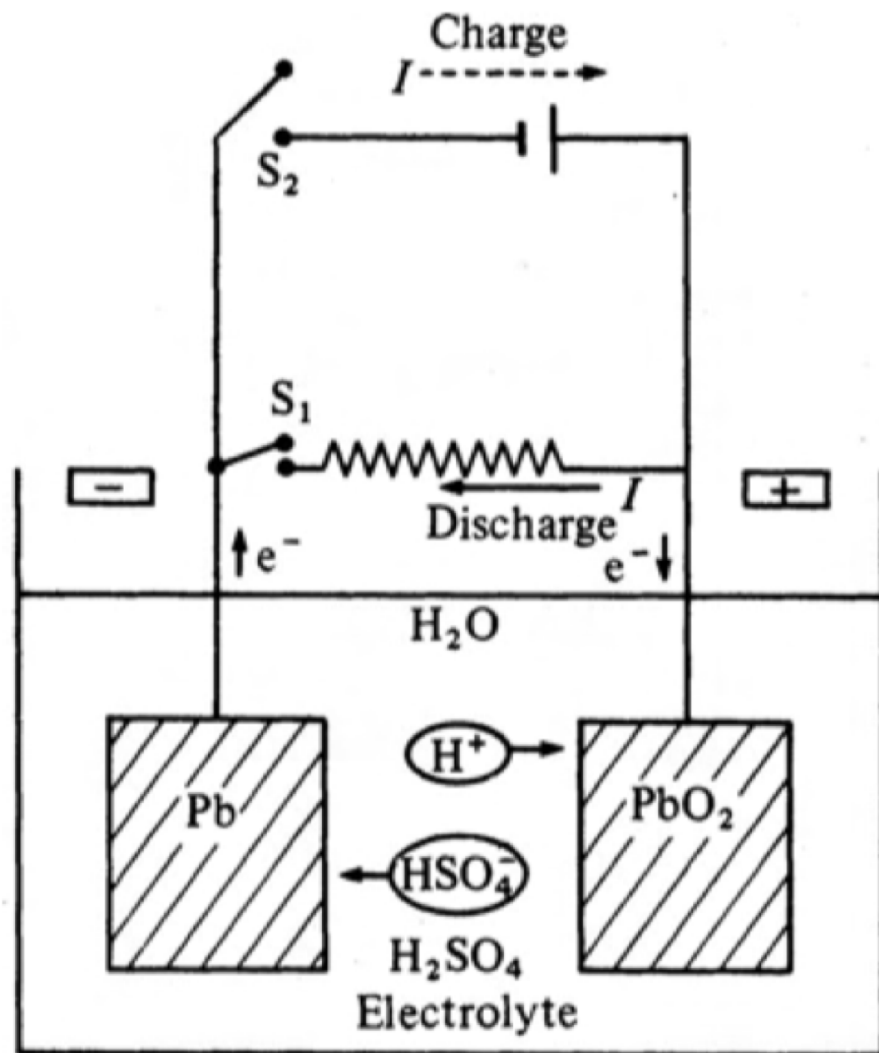


Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες μολύβδου (Pb) – θειϊκού οξέος (H_2SO_4)

- Μπαταρίες μολύβδου (Pb)-οξέος
- Χρησιμοποιούνται εκτεταμένα. Όμως χρειαζόμαστε Ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ
- Δίνουν αντιστρεπτές διεργασίες με χιλιάδες κύκλους, $I \approx 1-10 \text{ A}$ (Gaston Plante, 1860)



Μπαταρία Μολύβδου-Οξέος

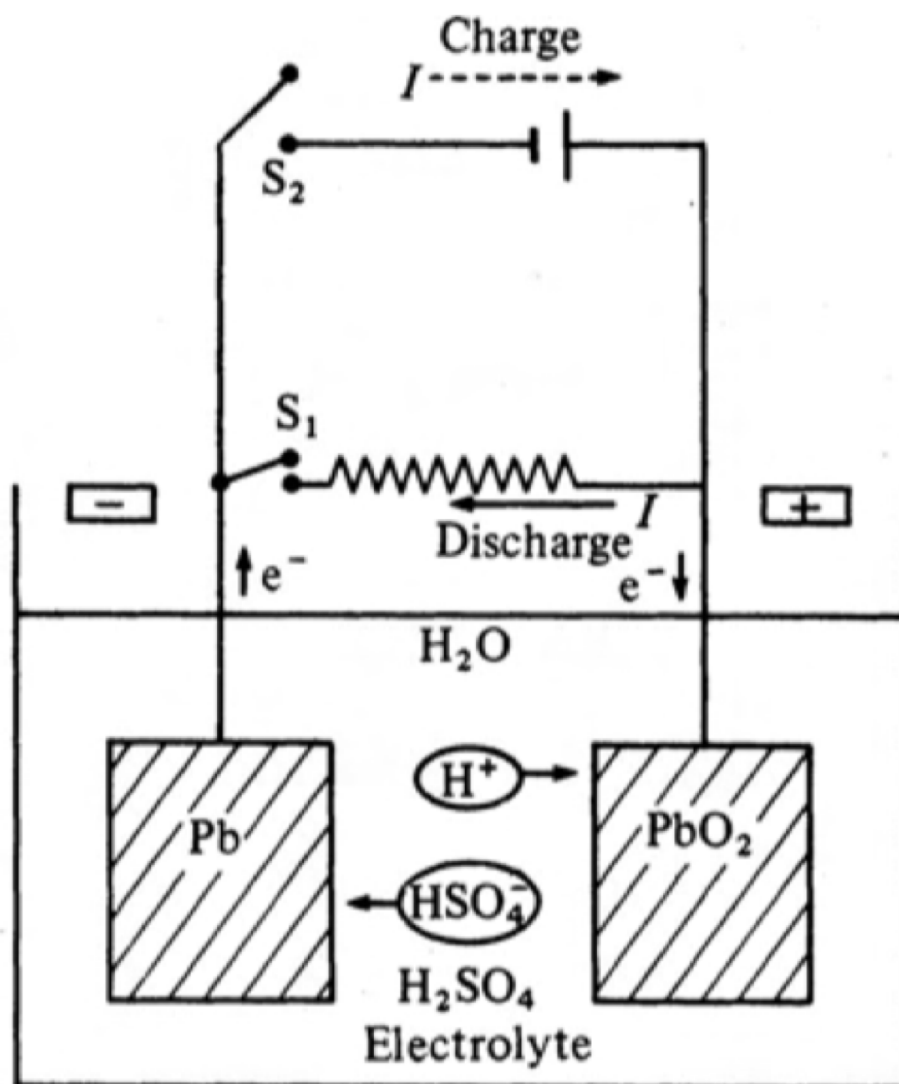


Ηλεκτρόδια σε αγώγιμο διάλυμα (ηλεκτρολύτης). Αποτελούνται από Pb, PbO σε πούδρα ώστε να μεγιστοποιείται το εμβαδόν της επιφάνειας

- Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα θειϊκού οξέος
- $H_2SO_4 \rightarrow H^+ + HSO_4^-$
- Στην εκφόρτιση
- $Pb + HSO_4^- \rightarrow PbSO_4 + H^+ + 2e^-$
- στο αρνητικό ηλεκτρόδιο έχουμε μηχανική διαστολή λόγω μεγαλύτερου μεγέθους του PbSO₄ που αντικαθιστά Pb

Μπαταρία Μολύβδου-Οξέος

- Τα ηλεκτρόνια πηγαίνουν στο θετικό ηλεκτρόδιο
- $PbO_2 + HSO_4^- + 3H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$
- Στο τέλος τα δύο ηλεκτρόδια γίνονται $PbSO_4$ και ο ηλεκτρολύτης γίνεται νερό

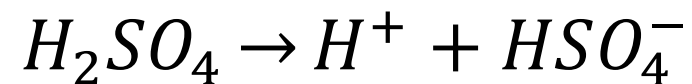


ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ

Θεωρητική πυκνότητα ενέργειας Pb-οξέος

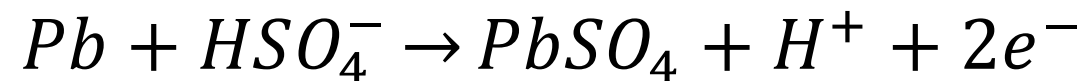
Αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια

Το διάλυμα θειϊκού οξέος δρα σαν ηλεκτρολύτης σύμφωνα με την διάσπαση



Εκφόρτιση

Αρνητικό ηλεκτρόδιο



Θετικό ηλεκτρόδιο



Για να μεταφέρουμε 2 mol ηλεκτρόνια

- 1 mol Pb = 207 g
- 1 mol PbO₂ = 239 g
- 2 mol H₂SO₄ = 196 g
- Σύνολο 642 g

Φορτίο 2 mol ηλεκτρονίων

$$Q = (2 \text{ mol})(6.023 \times 10^{23} \text{ e/mol})(1.6 \times 10^{-19} \text{ Cb/e}) = 1.93 \times 10^5 \text{ C}$$

Γραμμομόριο (mole)

- Το mole είναι η ποσότητα ύλης ενός σώματος που περιέχει τόσες στοιχειώδεις οντότητες όσα είναι τα άτομα σε 0,012 χιλιόγραμμα καθαρού ισοτόπου άνθρακα-12 (^{12}C). Στην ποσότητα αυτή του άνθρακα-12 (^{12}C) περιέχονται $6,023 \times 10^{23}$ άτομα άνθρακα. Ο αριθμός αυτός ονομάζεται αριθμός Avogadro, αποτελεί φυσική σταθερά και συμβολίζεται με N_A . Το mole είναι η ποσότητα N_A διακεκριμένων, ομοίων μεταξύ τους, στοιχειωδών οντοτήτων (ατόμων, μορίων, iónτων, ηλεκτρονίων, στοιχειωδών φορτίων, φωτονίων κ.τ.λ.).
- Το mole ατόμων έχει μάζα σε γραμμάρια όσο η σχετική ατομική μάζα A_r (ατομικό βάρος) του στοιχείου.

Πυκνότητα ενέργειας

Δυναμικό ηλεκτροδίων

$$\text{Pb/PbSO}_4 = +0.30\text{V}$$

$$\text{PbSO}_4/\text{Pb}^{+4} = -1.62\text{V}$$

Θεωρητική ΗΕΔ για τυπικές συνθήκες $\xi = 1.92\text{V}$

($\text{Pb/PbSO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{PbSO}_4/\text{Pb}^{+4}$)

Μπορεί να μεταβληθεί λίγο. Συνήθως $\xi = 2.0\text{ V}$

Η ενέργεια E είναι το παραχθέν έργο

$$E = Q \times V = (1.93 \times 10^5 \text{C}) \times (2.0 \text{ V}) = 0.386 \times 10^5 \text{ J}$$

Άρα για 1kg ενεργών σωμάτων

$$W_{\text{max}} = (0.386 \times 10^5 \text{ J}) / (0.642 \text{ kg}) = 0.60 \text{ MJ/kg}$$

$$W_{\text{πραλιστικό}} \approx 0.15 W_{\text{max}}$$

- Η μάζα περιέχει μη ενεργά συστατικά
- Οι αντιδράσεις δεν πρέπει να αφεθούν να ολοκληρωθούν
- Δεν θα μείνει θειϊκό οξύ στον ηλεκτρολύτη
- Αν καταναλώσουμε όλο το Pb δεν μπορεί να γίνει η αντίστροφη αντίδραση

Αλκαλικές Μπαταρίες (1899, Jungner, Edison)

- Μη επαναφορτιζόμενες
- Ηλεκτρόδια:

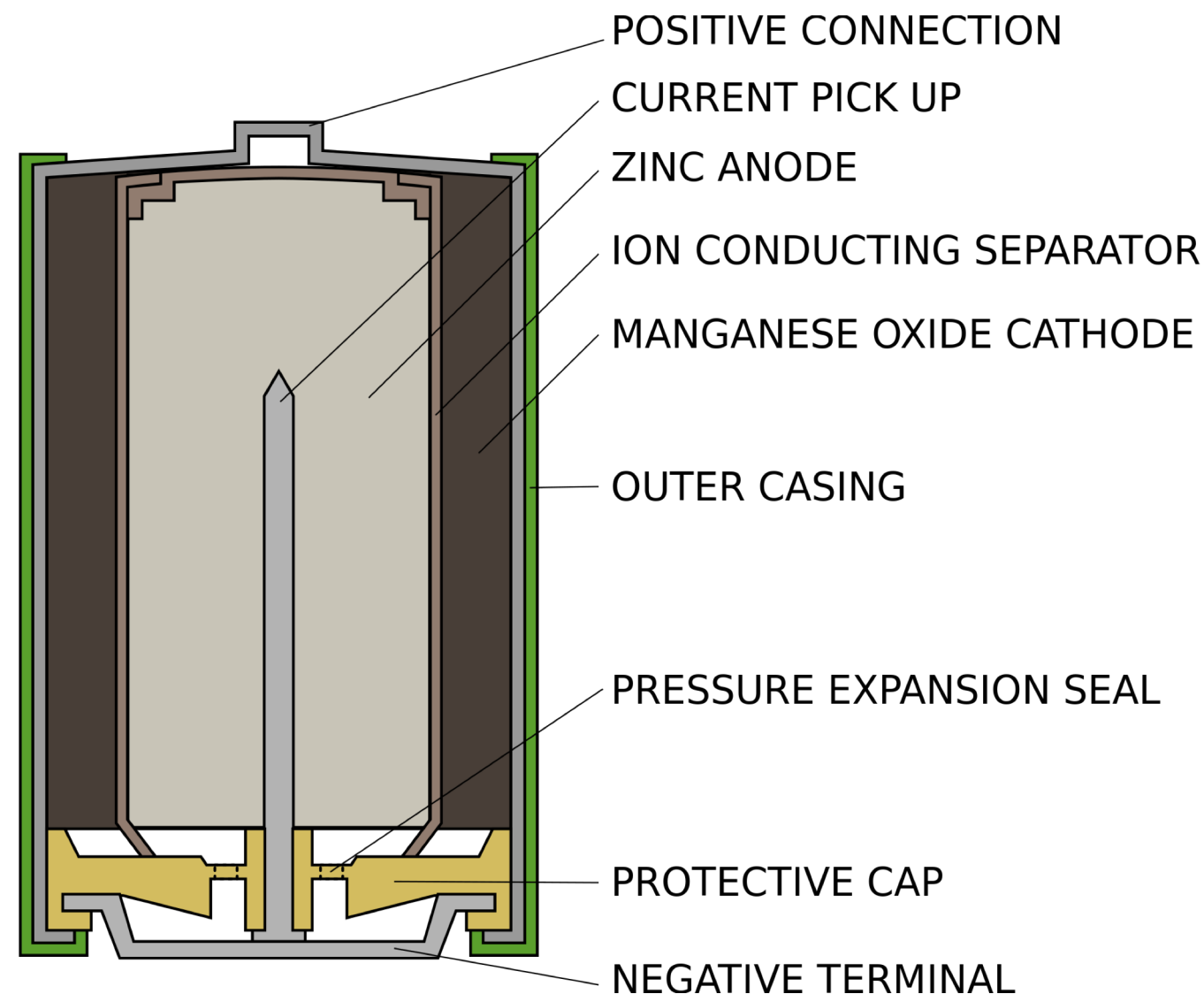
Αρνητικό (Άνοδος):
Ψευδάργυρος (Zinc)

Θετικό (Κάθοδος):
Διοξείδιο του Μαγγανίου (MnO_2)

Ηλεκτρολύτης:

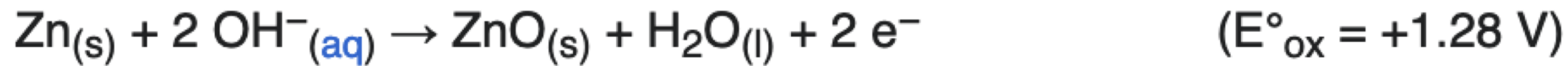
Καυστική ποτάσα (KOH, υδροξείδιο Καλίου)

- Τάση κελιού: 1.5V



Αλκαλικές Μπαταρίες - Ηλεκτροχημεία

- ΑΝΟΔΟΣ: Αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Δέχεται ηλεκτρόνια από τον αναγωγέα (Αντίδραση οξείδωσης)



- ΚΑΘΟΔΟΣ: (Αντίδραση αναγωγής), θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Δίνει ηλεκτρόνια στον οξειδωτή.



- Η συνολική αντίδραση είναι



- Η χημική ενέργεια είναι κυρίως αποθηκευμένη στον ψευδάργυρο

Μπαταρίες Λιθίου (Li)

Το Li είναι μέταλλο

- Ατομικό αριθμό $Z=3$
- Αντιδράει εύκολα
- Καίγεται
- Είναι ελαφρύτερο από το λάδι

Μπαταρίες Li-μετάλλου

- Μη επαναφορτιζόμενες
- Το Li είναι εκρηκτικό
- Τάση κελιού: 3V



www.shutterstock.com · 78218134



www.shutterstock.com · 637114168

Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου (Nagaura, Sony, 1990)



Ιδιότητες μπαταριών Li^+

- Επαναφορτιζόμενες
- Υλικά ηλεκτροδίων

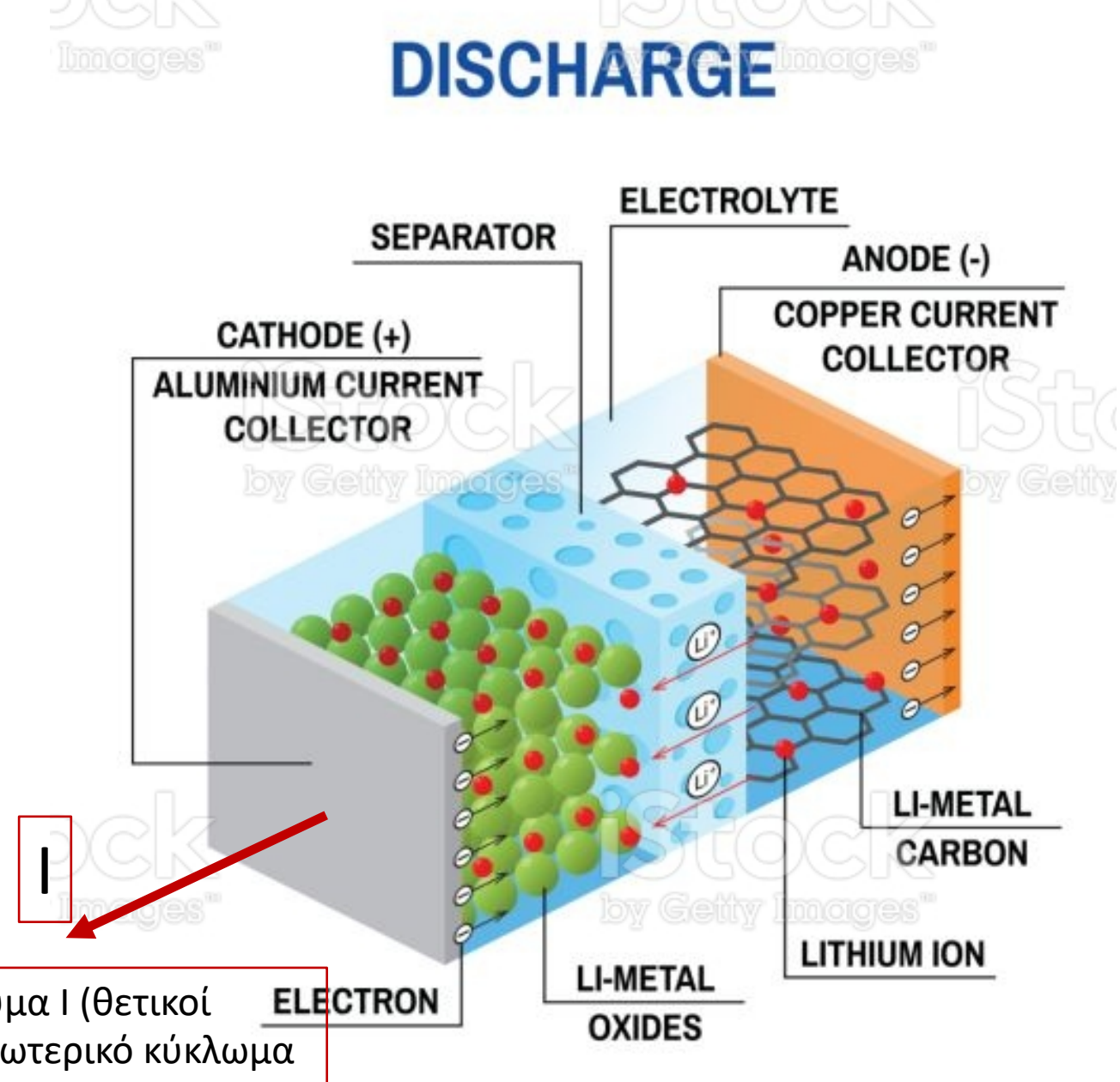
Κάθοδος: Li^+ σε οξειδία (πχ. LiCoO_2)

Άνοδος : Li^+ σε γραφίτη (Li_xC_c)

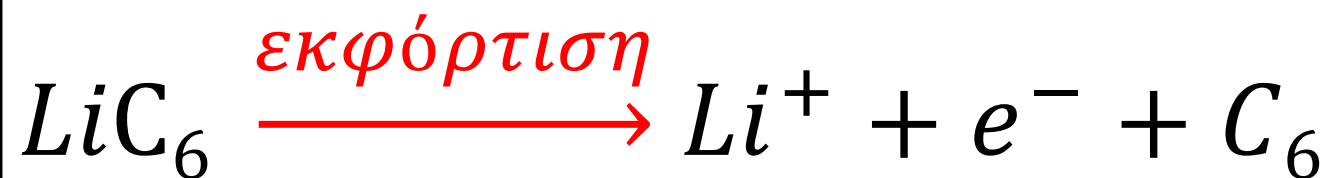
- Τα ιόντα Li μπορούν να εισαχθούν (intercalate) ή να εξαχθούν (deintercalated) από τις ατομικές δομές των ηλεκτροδίων
- Ηλεκτρολύτης: **Lithium Hexafluorophosphate** διαλυμένο σε διάλυμα **ethylene Carbonate** και **dimethyl carbonate**
- Εναλλασσόμενες στρώσεις ηλεκτροδίων μεταξύ των οποίων τα ιόντα Li ταλαντώνονται κυκλικά.
- Δυναμικό κελιού 3.6 V.
- Πρόβλημα με την τοξικότητα του Co . Είναι αναγκαία η ανακύκλωση.

Li-ion μπαταρία - ηλεκτροχημεία: ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ

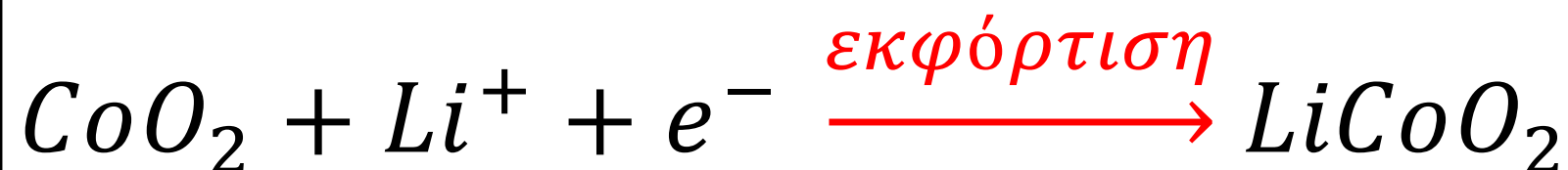
Li+ από αρνητικό σε
θετικό ηλεκτρόδιο



- Αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος)



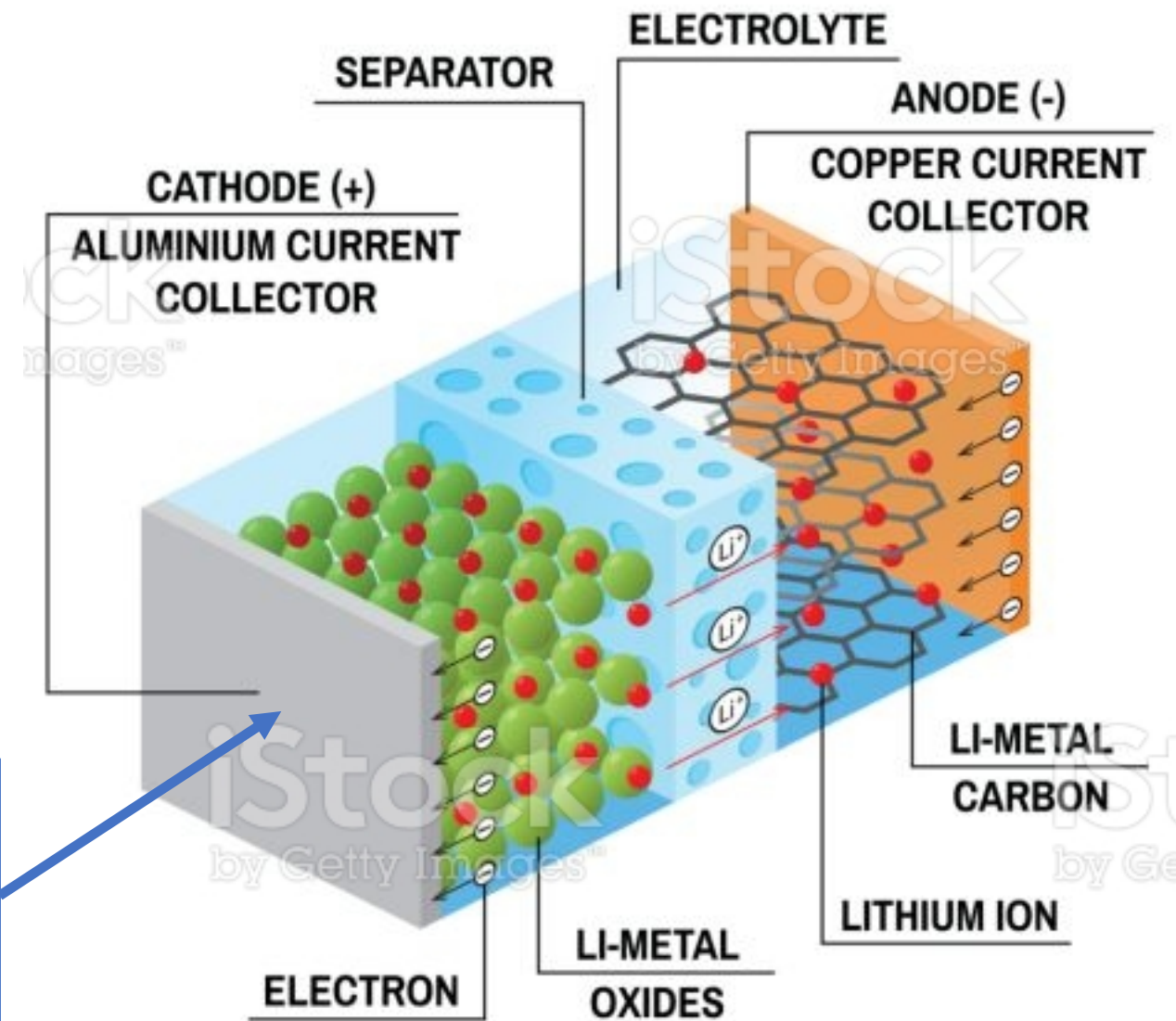
- Θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος)



Li-ιον ηλεκτροχημεία ΦΟΡΤΙΣΗ

- Li⁺ από θετικό σε αρνητικό ηλεκτρόδιο

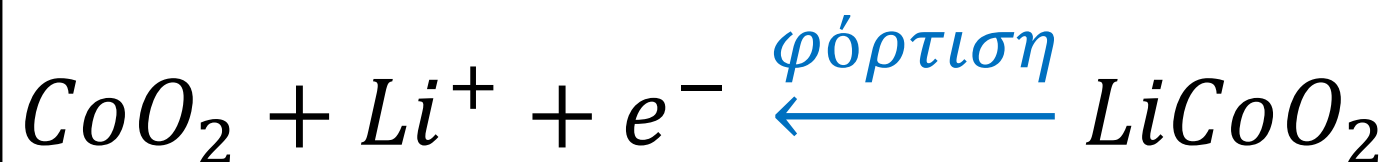
Συμβατικό ρεύμα από εξωτερική πηγή ψηλότερης τάσης, πχ. Τροφοδοτικό ή Φ/Β κλπ



- Αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος)



- Θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος)



Ενέργεια σε μπαταρία Li+

Ενέργεια κελιού $E=VQ$

($P=E/t=VI=VQ/t \Rightarrow E=VQ$)

1 mol Li = 6.94 gr

V: Τάση, I: Ένταση Ρεύματος

P: Ισχύς

E: Ενέργεια

Q: Φορτίο

1gLi=Σταθ. Faraday/6.94=13901 C/gLi

Τάση κελιού: 3 V

Στα 3V (διαφορά δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων) η αποθηκευμένη Ενέργεια είναι

$E=(3V) \times (13901C/grLi)=41.7kJ/gLi$ ή $41700 kJ/kgLi$ ή $11.6 kWh/kgLi$
(βενζίνη: $41868 kJ/kg$ ή $11.7 kWh/kg$)

Στην μπαταρία δεν συνυπολογίζεται το βάρος αδρανών υλικών, ηλεκτροδίων, καταλύτη, κλπ.

- Σταθερά Faraday

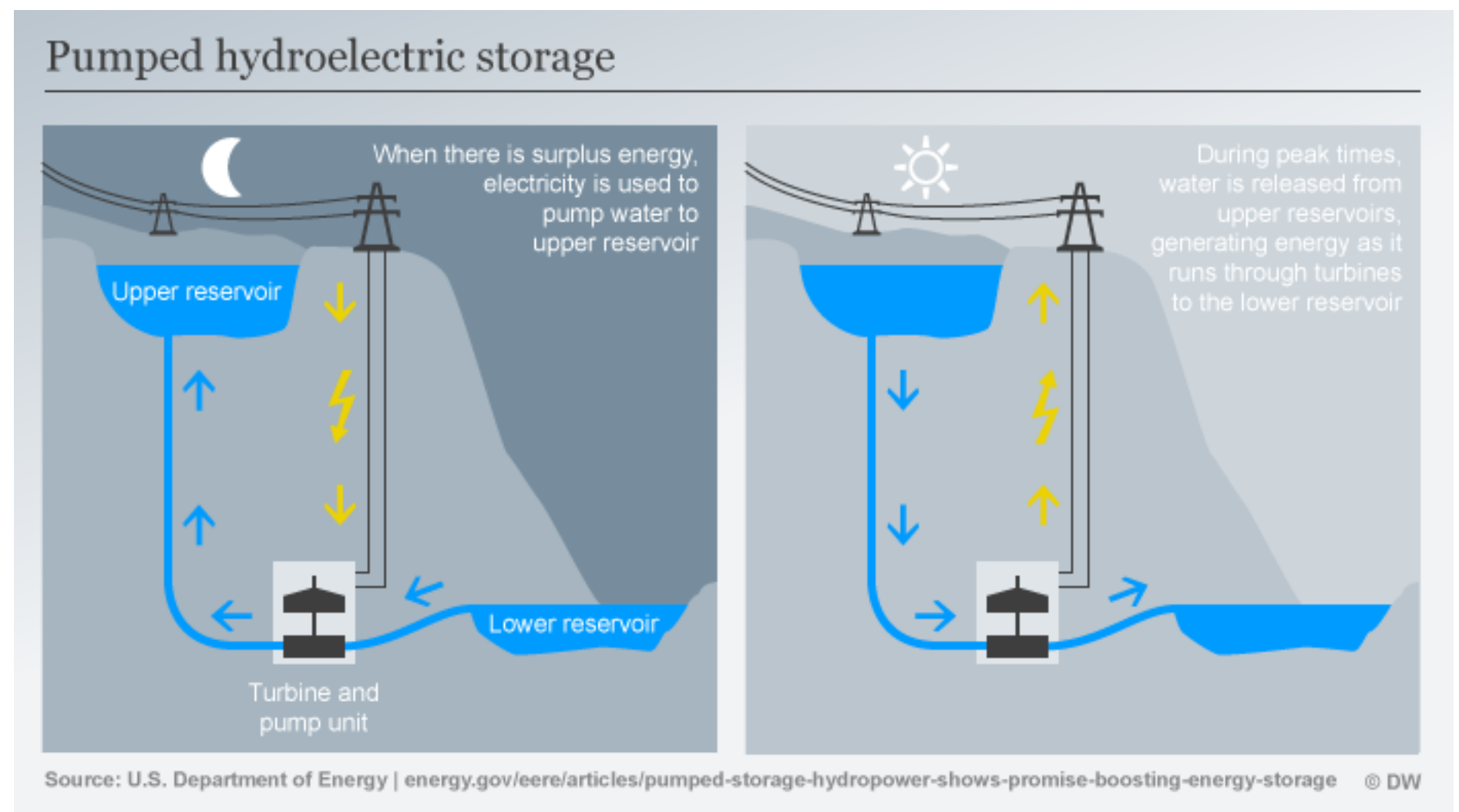
Φορτίο 1 mol ηλεκτρονίων

$$F=(6.023 \times 10^{23} \text{ e/mol})(1.6 \times 10^{-19} \text{ Cb/e})=9.6 \times 10^4 \text{ Cb/mol}$$

Μηχανική αποθήκευση (Υδροηλεκτρικά φράγματα)

- Αντλιοδεξαμενή

$$P_0 = \rho g Q_0 H \quad P_0(W), \rho(kg \cdot m^{-3}), g(ms^{-2}), Q_0 (m^3 s^{-1}), H(m)$$

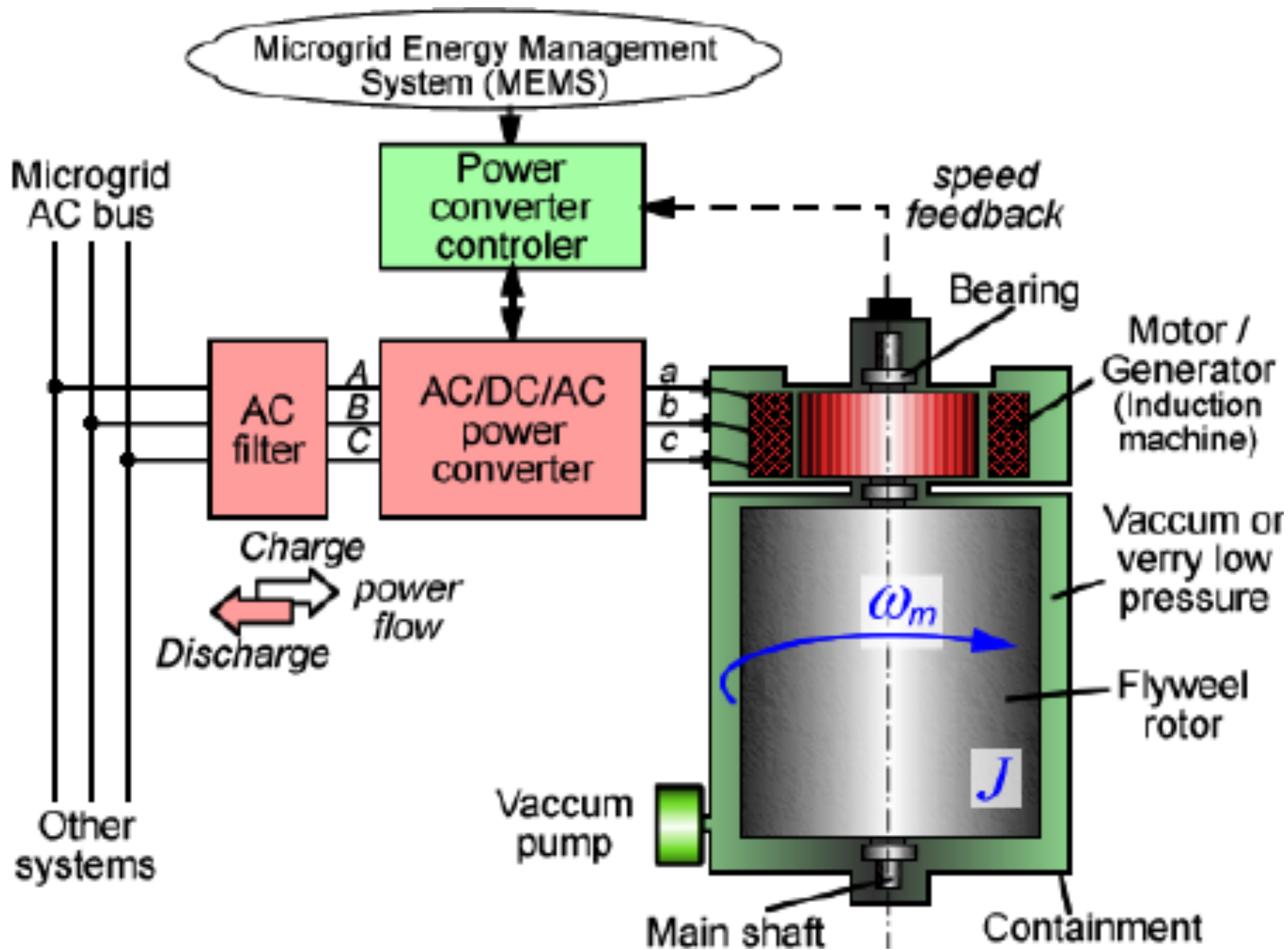


Μηχανική αποθήκευση (στρόφαλοι - flywheels)



- $E = \frac{1}{2} I \omega^2$ με $I = \frac{1}{2} m R^2$
- $W_m = \frac{E}{m} = \frac{1}{2} R^2 \omega^2$ Πυκνότητα ενέργειας
- $\sigma^{max} = \rho R^2 \omega^2$ όπου ρ η πυκνότητα του υλικού
- Μέγιστη εγκάρσια παραμόρφωση (tensile stress)
- $I = \kappa \frac{1}{2} m R^2$ $\kappa \sim 1$ Ατσάλι
- $W_m = \kappa \frac{1}{2} R^2 \omega^2$
- $W_m^{max} = \frac{\kappa \sigma^{max}}{2\rho}$
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ομαλοποίηση σε ηλεκτρικά δίκτυα
- Με μάζα περίπου 100t μπορεί να επιτευχθεί αποθήκευση 10MWh.
- Θα μπορούσαν πιθανόν να χρησιμοποιηθούν και σε οχήματα

Στρόφαλοι σε δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού



Αποθήκευση με πεπιεσμένο αέρα

$$PV = nR_u T \quad (1)$$

$R_u = 8.315 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ Παγκόσμια σταθερά αερίων

$$E = - \int_{V_1}^{V_2} P dV = -nR_u T \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

Παράδειγμα

$$V_1 = 1.0 \text{ m}^3$$

$$P_1 = 2.0 \text{ atm} = 2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

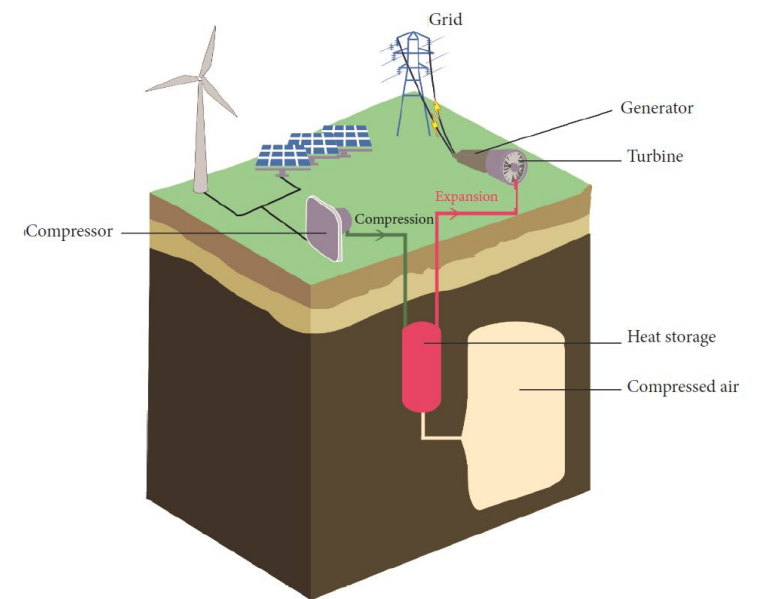
$$V_2 = 0.4 \text{ m}^3 \text{ συμπίεση με σταθερή θερμοκρασί}$$

$$E = 0.19 \text{ MJ}$$

Πυκνότητα ενέργειας αποθήκευσης

$$W_V = \frac{E}{V_2} = 0.48 \text{ MJ m}^{-3}$$

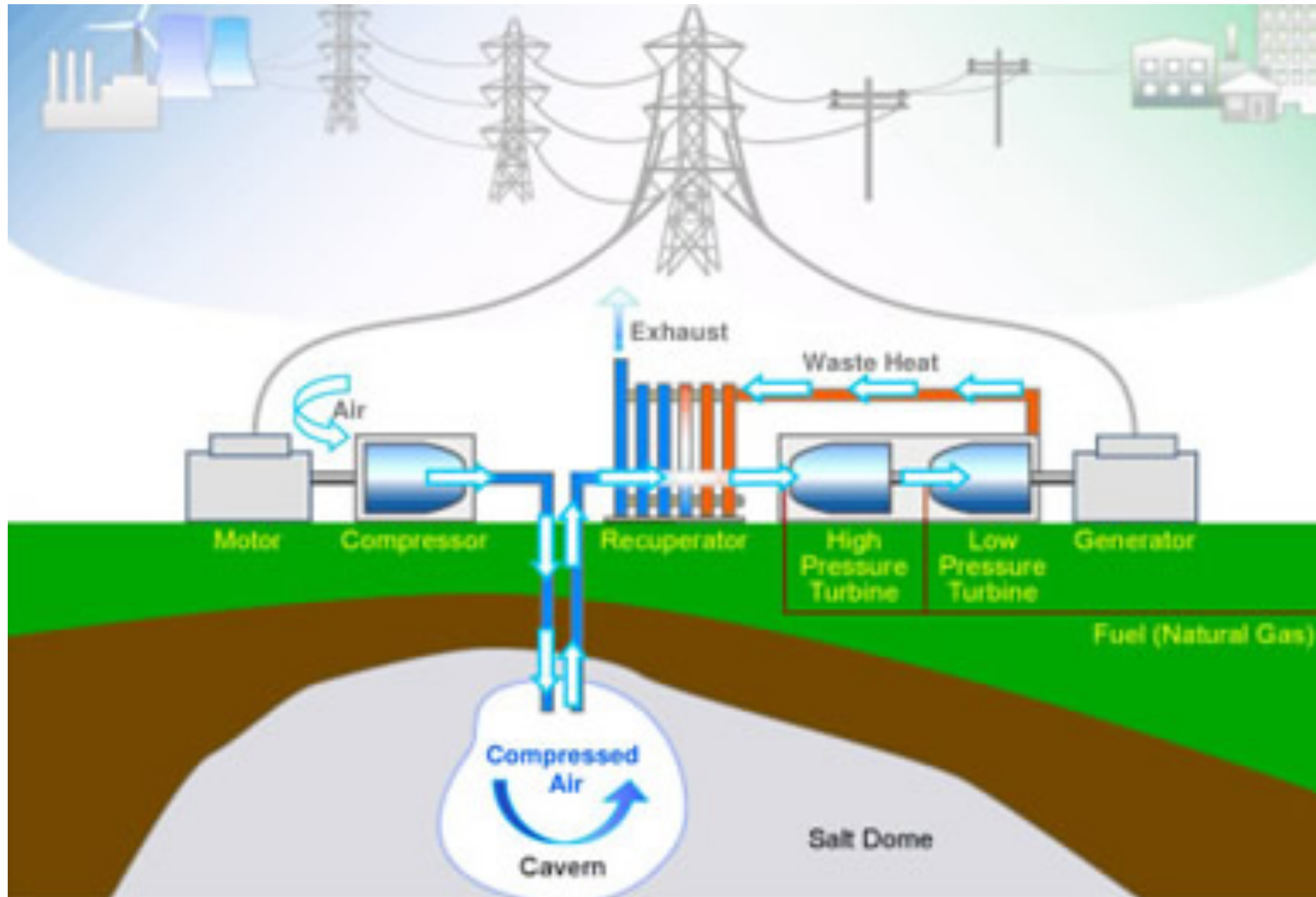
$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx = \int_{x_1}^{x_2} P A dx = \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad (2)$$



Μεγάλης κλίμακας αποθήκευση

- Για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές χρησιμοποιούνται υπόγειες σπηλαιώσεις, φυσικές ή εκσκαφισμένες, υπόγεια αλατορυχεία, κλπ (Στρωματώσεις ψηλής διαπερατότητας για το νερό)
- Ισόθερμη συμπίεση. Πρέπει ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας να είναι ίσος με τον ρυθμό απαγωγής. Πολύ δύσκολο.
- Θα μπορούσε να γίνει ισοβαρής αποθήκευση αν μεταβάλλαμε τον όγκο (πχ. Μεταβλητό επίπεδο νερού)

Πώς λειτουργεί ένα εργοστάσιο αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα



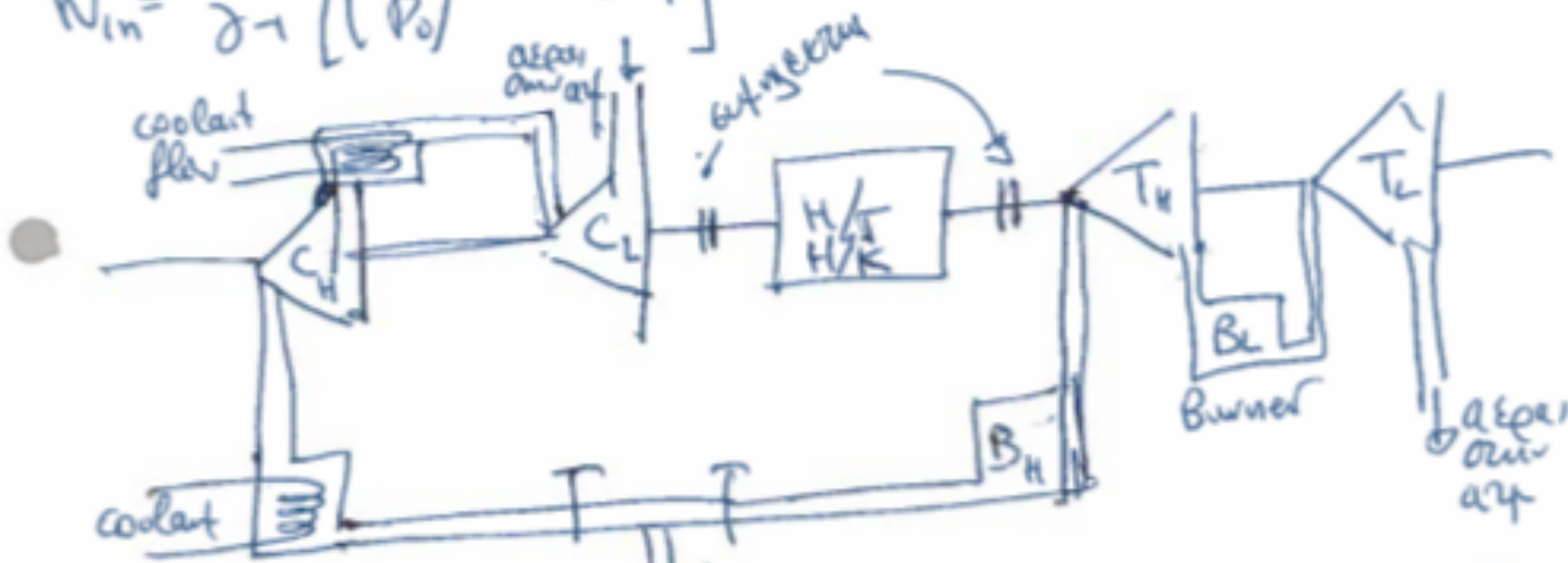
Hunterf facility, Germany 1978, 290MW
 $V = 3 \times 10^5 \text{ m}^3$

- ~~Μη~~ εφοχει τον αερα
 Χρησιμοποιει δυο αεριοσθροβιγους (πυρραγαιου) για την
 θερμαινωσαι τον αερα ~~απο~~ πριν την εκροη του σε ~~ατ~~
 μεταγυζειται απο ενα ομοιο συστηματος γαση

Entropy $H = c_p (T - T_s)$
 c_p : heat capacity at constant pressure

η_c : Compressor efficiency

$$W_{in} = \frac{P_0 V_0}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{(\gamma - 1) / \gamma} - 1 \right]$$



Στοιχια ανα P_1, V_1 σε P_2, V_2
 $W_{out} = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]$ cavity compressed air

Overall cycle efficiency
 $\eta = \frac{W_{at}}{W_{in} + H_0} \approx 14\%$

η_f : turbine efficiency

με κορυφο W_b
 $\eta_{fuel} = \frac{W_{at}}{W_{at} + H_0}$

Huntorf factory

- Huntorf

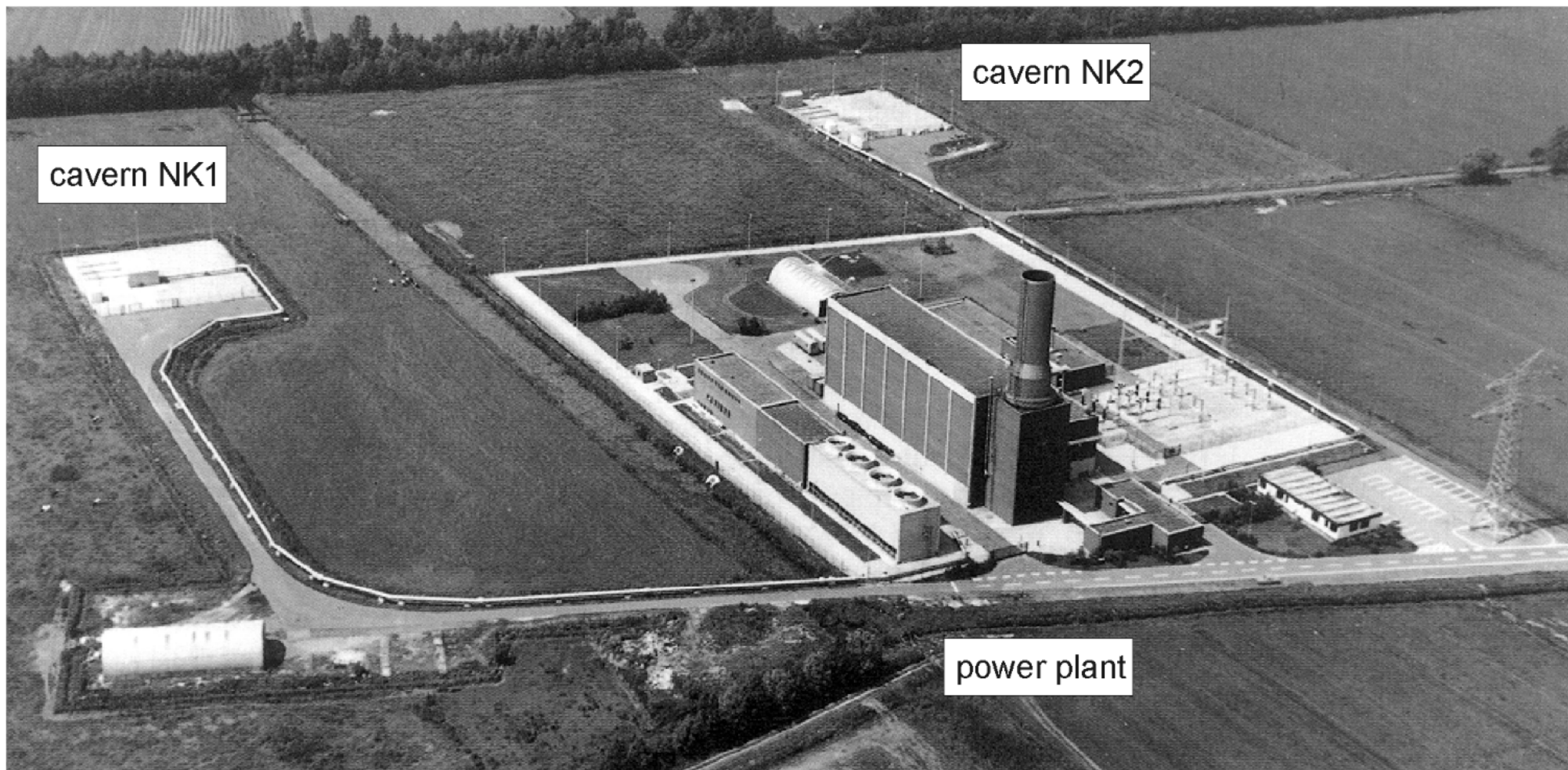
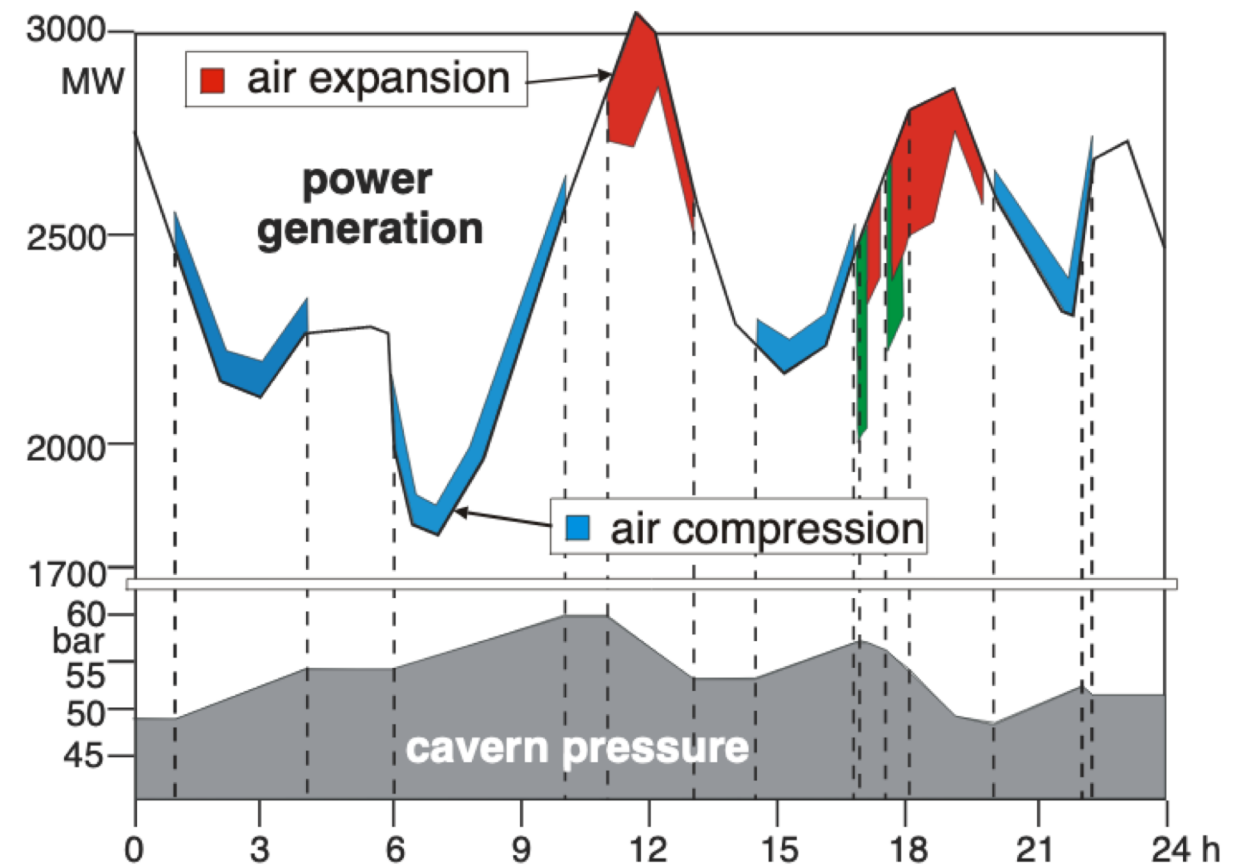
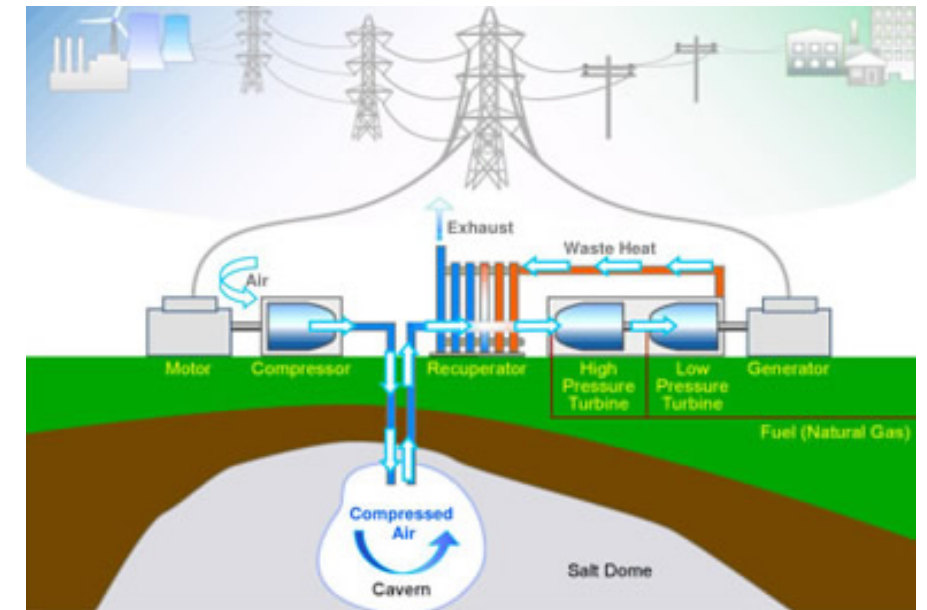


Fig. 3-1: Aerial picture of Huntorf plant

output	
➤ turbine operation	290 MW (≤ 3 hrs)
➤ compressor operation	60 MW (≤ 12 hrs)
air flow rates	
➤ turbine operation	417 kg/s
➤ compressor operation	108 kg/s
air mass flow ratio in/out	1/4
number of air caverns	2
air cavern volumes (single)	$\approx 140\,000\text{ m}^3$ $\approx 170\,000\text{ m}^3$
total cavern volume	$\approx 310\,000\text{ m}^3$
cavern location – top	$\approx 650\text{ m}$
- bottom	$\approx 800\text{ m}$
maximum diameter	$\approx 60\text{ m}$
well spacing	220 m
cavern pressures	
➤ minimum permissible	1 bar
➤ minimum operational (exceptional)	20 bar
➤ minimum operational (regular)	43 bar
➤ maximum permissible & operational	70 bar
maximum pressure reduction rate	15 bar/h

Huntorf



Αδιαβατική αποθήκευση

- Σύστημα μεταβλητής πίεσης. **Συμπίεση** αδιαβατική

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S = \gamma \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$$

Νόμος τελείων αερίων $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = -\frac{P}{V}$

$$\text{Άρα } PV^\gamma = P_0 V_0^\gamma \quad (3)$$

Για τον αέρα $\gamma=1.4$ περίπου σταθερό

Έχουμε

$$W = -\int_{V_0}^V P dV = -\int_{V_0}^V P_0 \left(\frac{V_0}{V}\right)^\gamma dV = \left(\frac{P_0 V_0}{\gamma-1}\right) \left[\left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma-1} - 1\right]$$

ή

$$W = \left(\frac{P_0 V_0}{\gamma-1}\right) \left[\left(\frac{P}{P_0}\right)^{\gamma-1/\gamma} - 1\right]$$

- Από την (1) και (3) βρίσκουμε την άνοδο της T κατά την συμπίεση

$$\left. \begin{aligned} \frac{T}{T_0} &= \frac{PV}{P_0V_0} \\ PV &= nR_u T \end{aligned} \right\} \Rightarrow T = T_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

1-2 Ισεντροπική συμπίεση

2-3 Ισοβαρής ψύξη

3-2 Ισοβαρής θέρμανση

2-1 Αδιαβατική εκτόνωση

- Αν θέλουμε $\frac{P}{P_0} \sim 150 \Rightarrow T \sim 1200\text{K}$

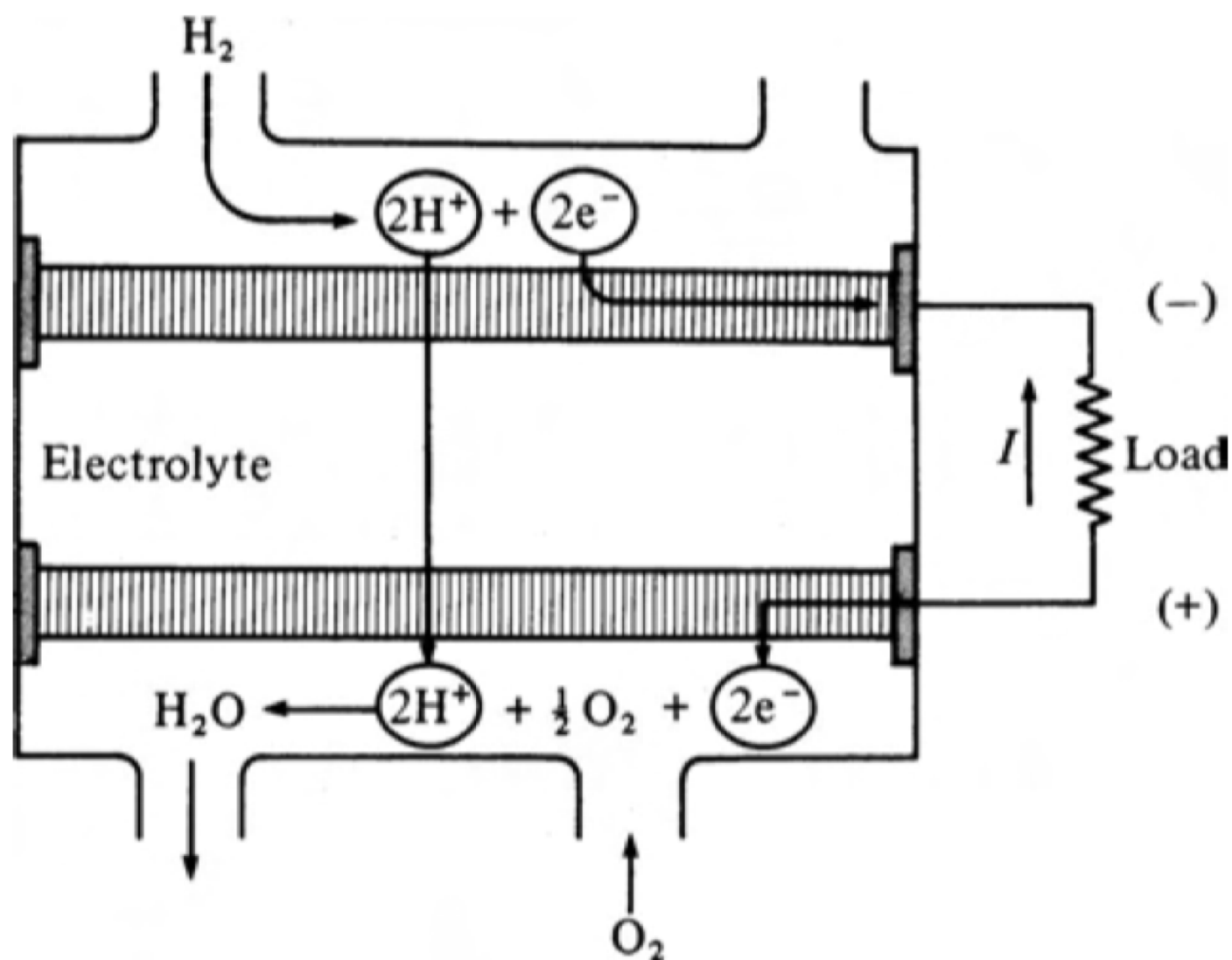
- Άρα χρειάζεται ψύξη του αέρα σε επιθυμητή θερμοκρασία T_s .

- Η παραγόμενη θερμότητα θα αποθηκευθεί σε μονωμένο χώρο αποθήκευσης θερμότητας (πχ. Λάδι) για να ξαναχρησιμοποιηθεί στη φάση της εκτόνωσης.

Υπεραγώγιμη αποθήκευση Η/Μ ενέργειας

- Τι είναι η υπεραγωγιμότητα;
- Μερικά υλικά σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία μηδενίζουν την ηλεκτρική τους αντίσταση. Έτσι μπορούν να αντέξουν πολύ μεγάλα ηλεκτρικά ρεύματα χωρίς να θερμανθούν.
- Ένα υπεραγώγιμο σωληνοειδές σε θερμοκρασία υγρού He (σε θερμοκρασία 4K) μπορεί να διατηρήσει ρεύμα DC για πολλά χρόνια
- Στην εκφόρτιση μπορεί να δώσει 10MW ισχύ σε μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από 1 s).
- Το σύστημα έχει απεριόριστους κύκλους χωρίς υποβάθμιση της απόδοσης.
- Μεγαλύτερο μέγεθος έχει απαγορευτικό κόστος.

Κελιά καυσίμου

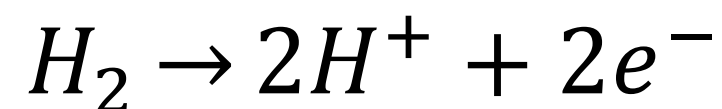


Αρκετά ψηλό κόστος αγοράς, περίπου 2000 \$MW-1

Χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό χωρίς καύση (άρα δεν έχουμε περιορισμούς από τον 2^ο ΘΔ Νόμο)

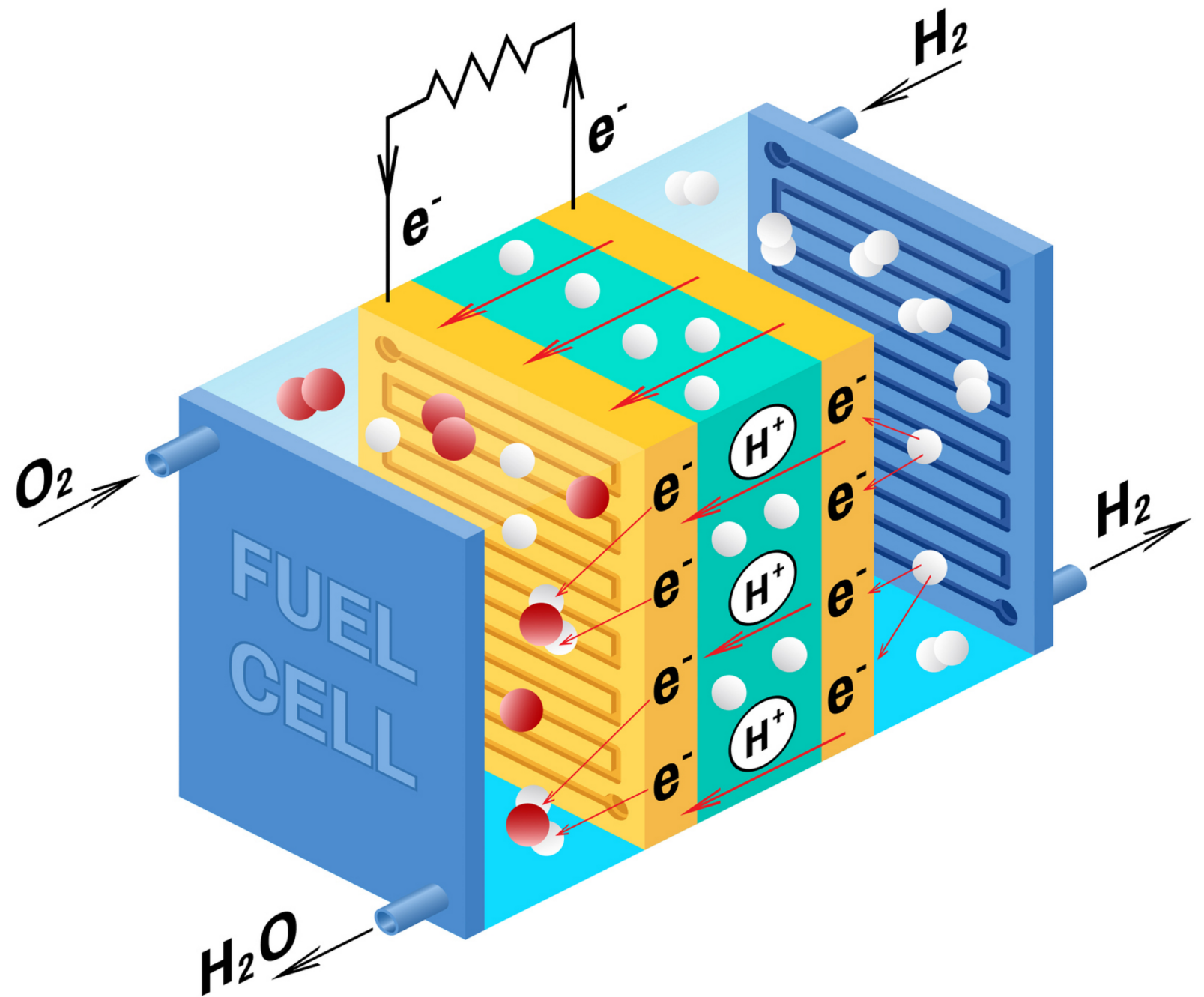
Απόδοση θεωρητικά 100% πρακτικά περίπου 40%.

Θα είναι εξαιρετικά χρήσιμο στην «οικονομία H_2 »



Στη λειτουργία είναι οικονομικό. Δίνει Ηλεκτρισμό και θερμότητα.

Κελί καυσίμου



Διανομή Ενέργειας

Αγωγοί, ηλεκτρισμός, πλοία, φορτηγά

Table 16.2 Summary of major means and flows for distributing energy

	Long distance (>1000 km)	Flow		Medium distance (1–1000 km)	Flow		Short distance (10 m–1 km)	Flow		
		(MW per unit)	(MJ user ⁻¹ day ⁻¹)		(MW per unit)	(MJ user ⁻¹ day ⁻¹)		(MW per unit)	(MJ user ⁻¹ day ⁻¹)	
continuous	oil pipeline	15 000	60	oil pipeline	10 000	60	gas pipeline (low pressure) electricity (low voltage) heat in gas, vapour or liquid			
	gas pipeline (high pressure)	500	20	gas pipeline (high pressure) electricity (high voltage)	500	20				7
					100	20				10
batch	oil tanker	1200		oil (or substitute, e.g. ethanol) in vehicle as cargo	200					
				in vehicle as fuel		28				
	coal in ships			coal in trains biomass on lorry	15		biomass on lorry wood by hand	15 0.03	15	

Αγωγοί πετρελαίου, αερίου

$$\frac{dp}{dx} = -2f \frac{\rho u^2}{D}$$

$$\dot{m} = \rho u A$$

$$p = \left(\frac{R_0 T}{M} \right) \rho \equiv K \rho$$

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{64 f R_0 T \dot{m}^2 (x_2 - x_1)}{\pi^2 M D^5}$$

$$(32 \text{ kg m}^{-3})(50 \text{ MJ kg}^{-1})(10^5 \text{ m})\pi(0.15 \text{ m})^2 = 11 \times 10^6 \text{ MJ per 100 km}$$

Μεταφορά σε διακριτές ποσότητες

- Βιομάζα, Βιοκαύσιμα, ξύλο

Μεταφορά ενέργειας με θερμότητα

- Πχ. Σε κτίρια. Μεταφορά σε μικρές αποστάσεις.
- Θέρμανση περιοχών (πχ. Κοζάνη από τα εργοστάσια της ΔΕΗ)

Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Ενέργεια από ΑΠΕ μηχανικής φύσης (πχ. Υδρο, κύματα, άνεμος) μεταφέρεται καλύτερα σαν ηλεκτρική ενέργεια.

- Δίκτυο μεταφοράς
- Μετασχηματιστές (Μετατρέπει AC αρχική τάση σε AC διαφορετική τάση ίδιας κυκλικής συχνότητας).

Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Αν η τάση στην γεννήτρια είναι V_1 ή V_2 , η ισχύς που παράγει η γεννήτρια είναι $P = V_1 I_1 = V_2 I_2$

Όλα τα στοιχεία του κυκλώματος σε σειρά (R_w, R_L) διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Η τάση στα άκρα της αντίστασης των καλωδίων R_w είναι V_1' . Η ισχύς που καταναλώνεται από την R_w είναι $P_1' = R_w I_1^2$ ή $P_2' = R_w I_2^2$

$$\frac{P_1'}{P_2'} = \frac{I_1^2 R_w}{I_2^2 R_w} = \left(\frac{P}{V_1}\right)^2 \left(\frac{V_2}{P}\right)^2 = \frac{V_2^2}{V_1^2}$$

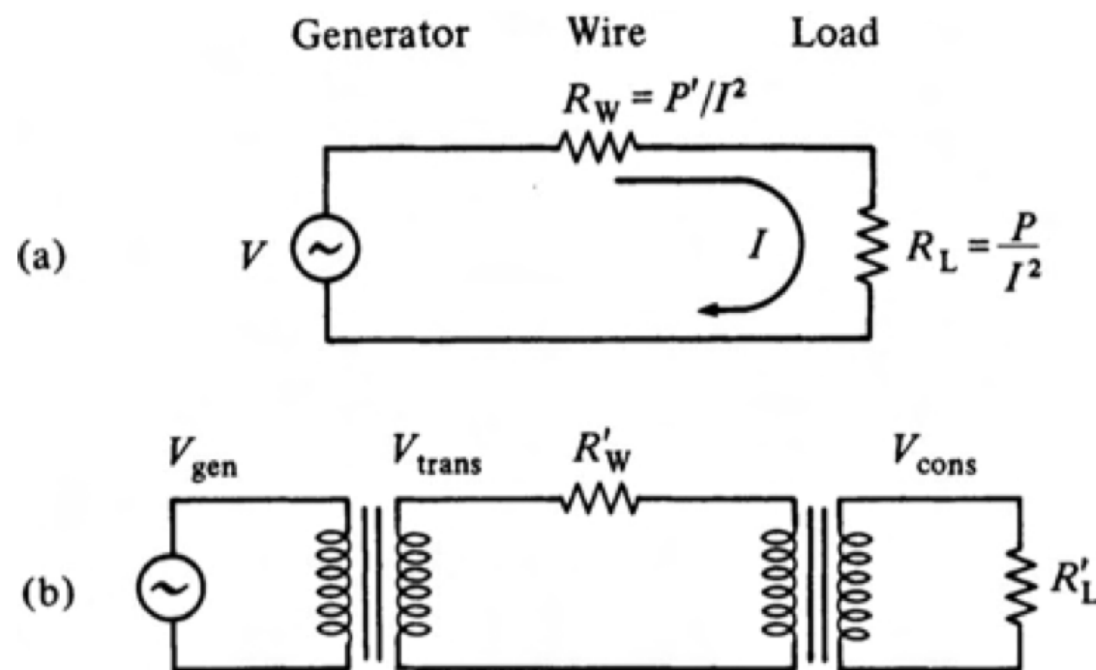


Figure 16.6 Electrical transmission. (a) Power transmission to a load of resistance R_L , through a wire of finite resistance R_w . (b) More likely realisation, with generated voltage transformed up for transmission and then down for consumption.



Υπεραγώγιμα καλώδια

- Θα είναι σημαντικό να ανακαλυφθούν υλικά που να είναι υπεραγώγιμα σε συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
- Ακόμα, μόνο υπεραγώγιμα υλικά υψηλής θερμοκρασίας έχουν ανακαλυφθεί όπου η κρίσιμη θερμοκρασία είναι 90K (θερμοκρασία υγρού N₂)

Δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

- Τα δίκτυα επιτρέπουν τον διαμοιρασμό της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ενέργειας.
- Επιτρέπουν περίπου 20% γρήγορη μεταβολή στην κατανάλωση ενέργειας άρα πρέπει να αντέχουν και αντίστοιχη διακύμανση στην παραγωγή, κατά συνέπεια αυτό είναι ένα όριο συμμετοχής ΑΠΕ στην συνολική παραγωγή ενέργειας (χωρίς αποθήκευση).

Τέλος διάλεξης