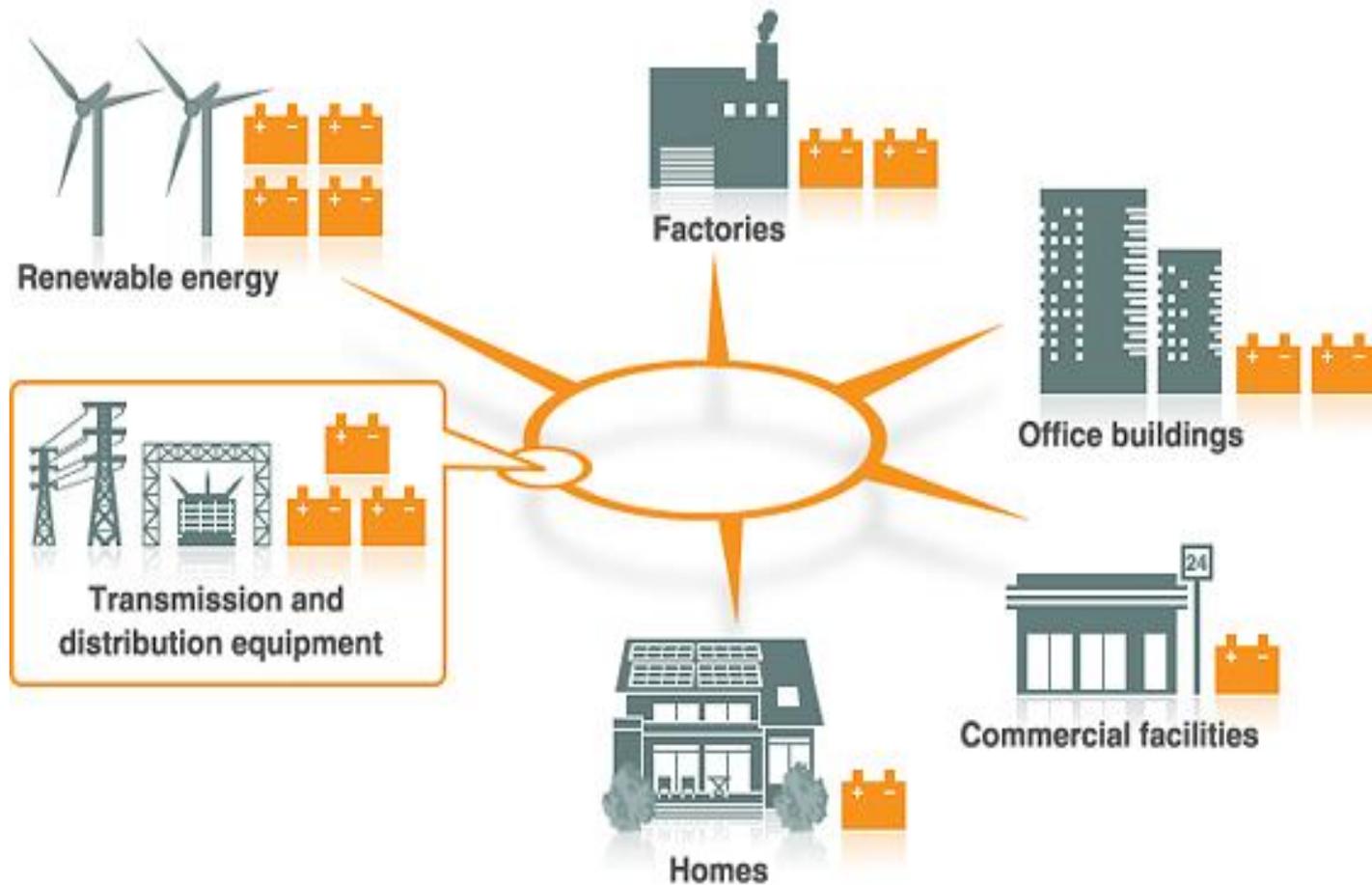
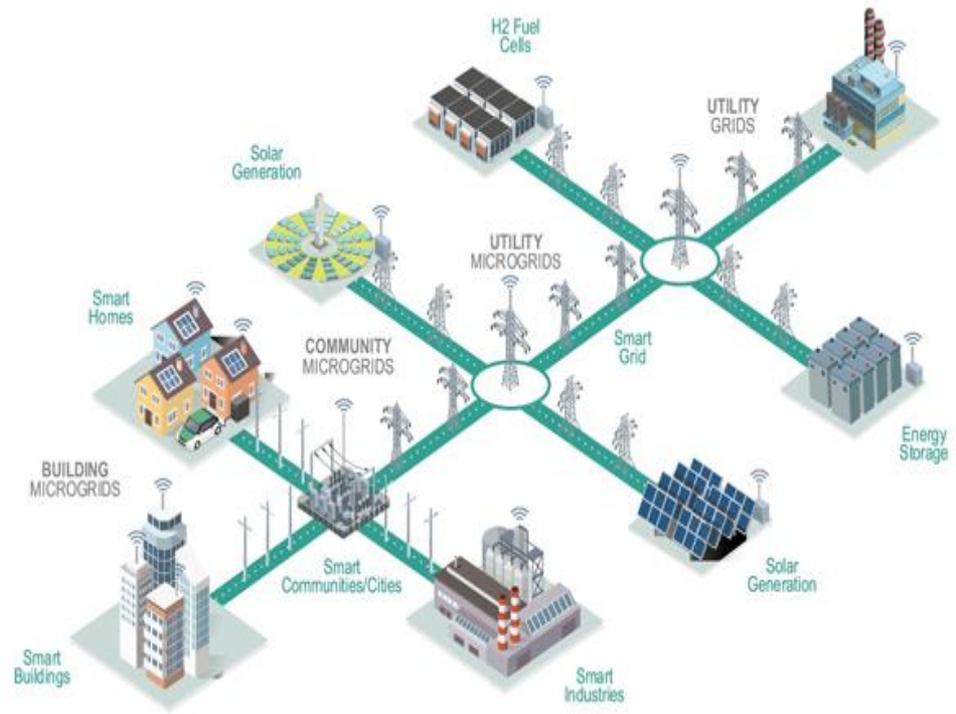
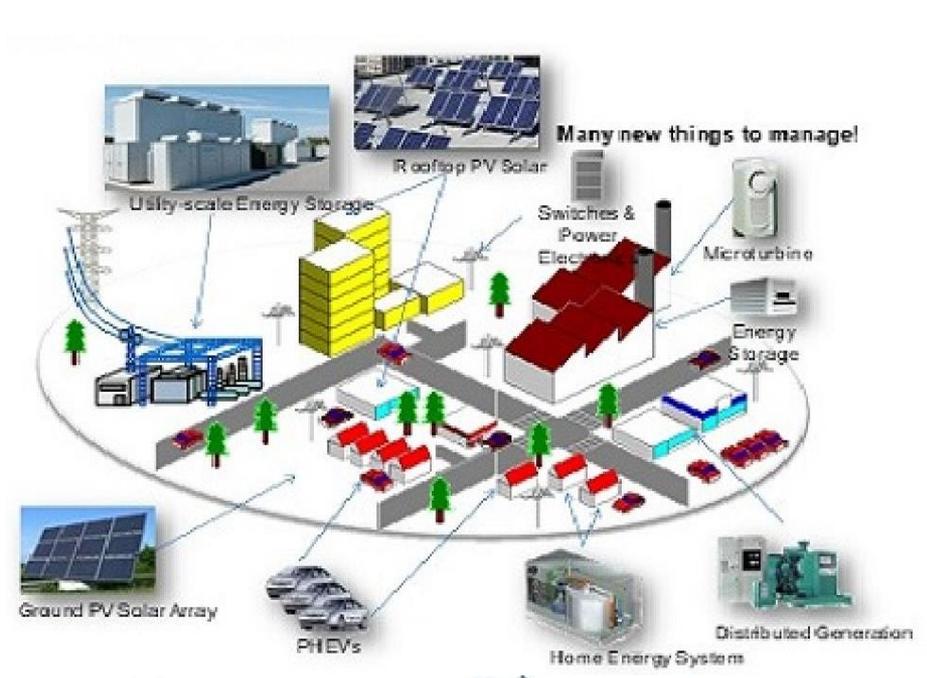
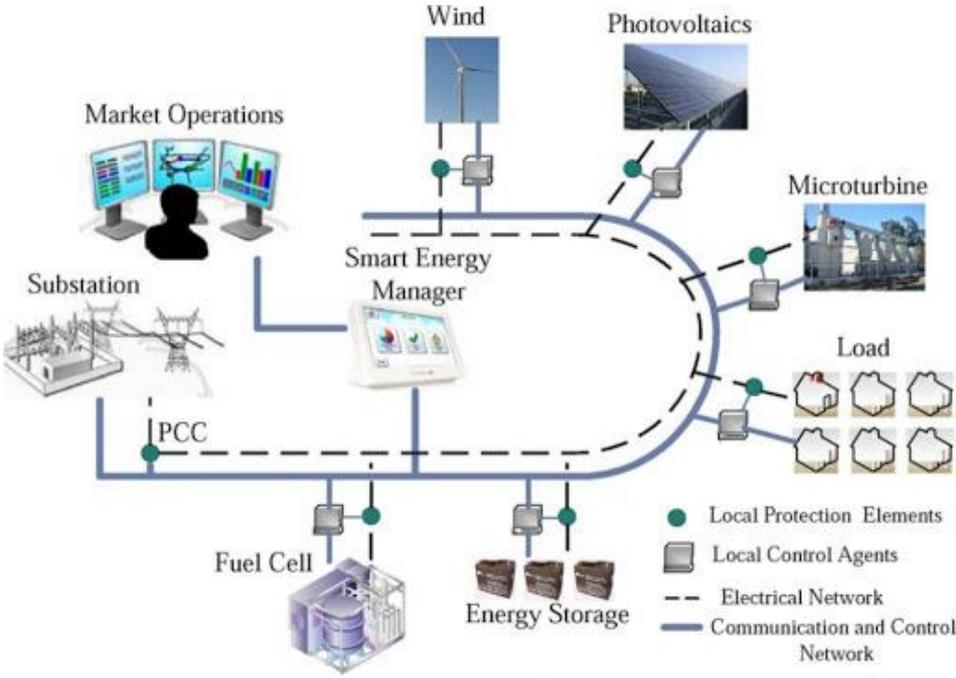


# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

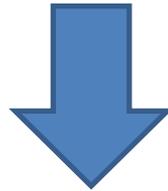


# ENERGY STORAGE SYSTEMS

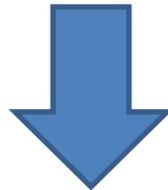


# Η Ανάγκη για Αποθήκευση ενέργειας

- Η ενέργεια που παράγεται από τις διατάξεις των ΑΠΕ, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πλαίσια και οι ανεμογεννήτριες, κυμαίνεται σημαντικά σε ωριαία, ημερήσια και εποχιακή βάση.

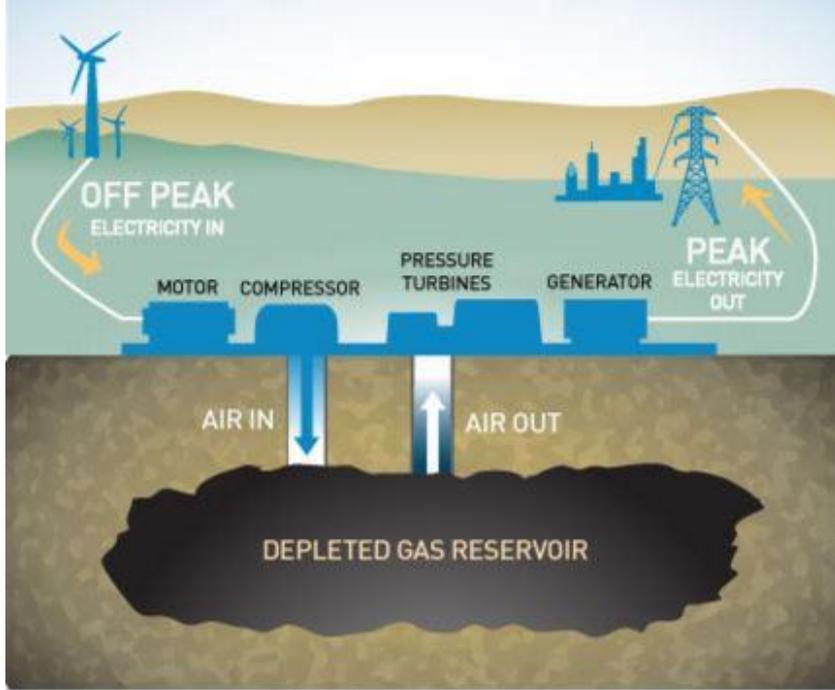


- Αναντιστοιχία της παραγωγής (προσφοράς), η οποία δεν επιδέχεται ανθρώπινο έλεγχο, με την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας.

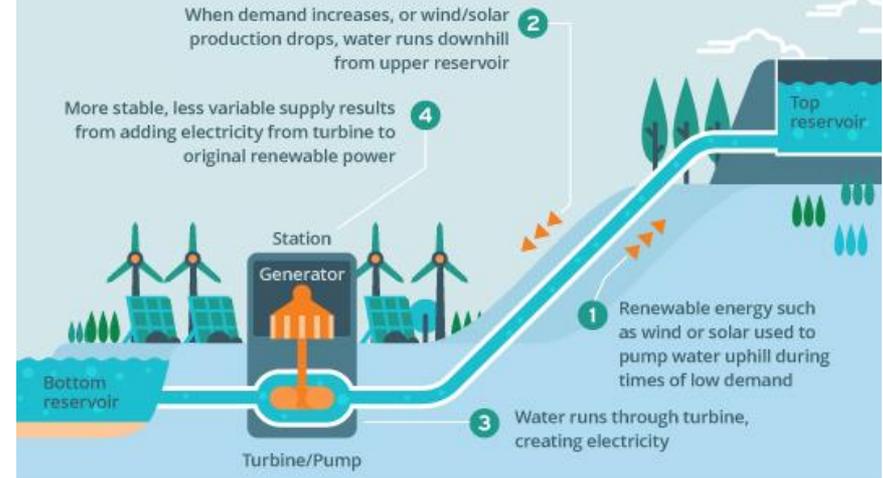


- Δημιουργείται, επομένως, η ανάγκη της ενσωμάτωσης της ενεργειακής αποθήκευσης στα συστήματα παραγωγής των ΑΠΕ

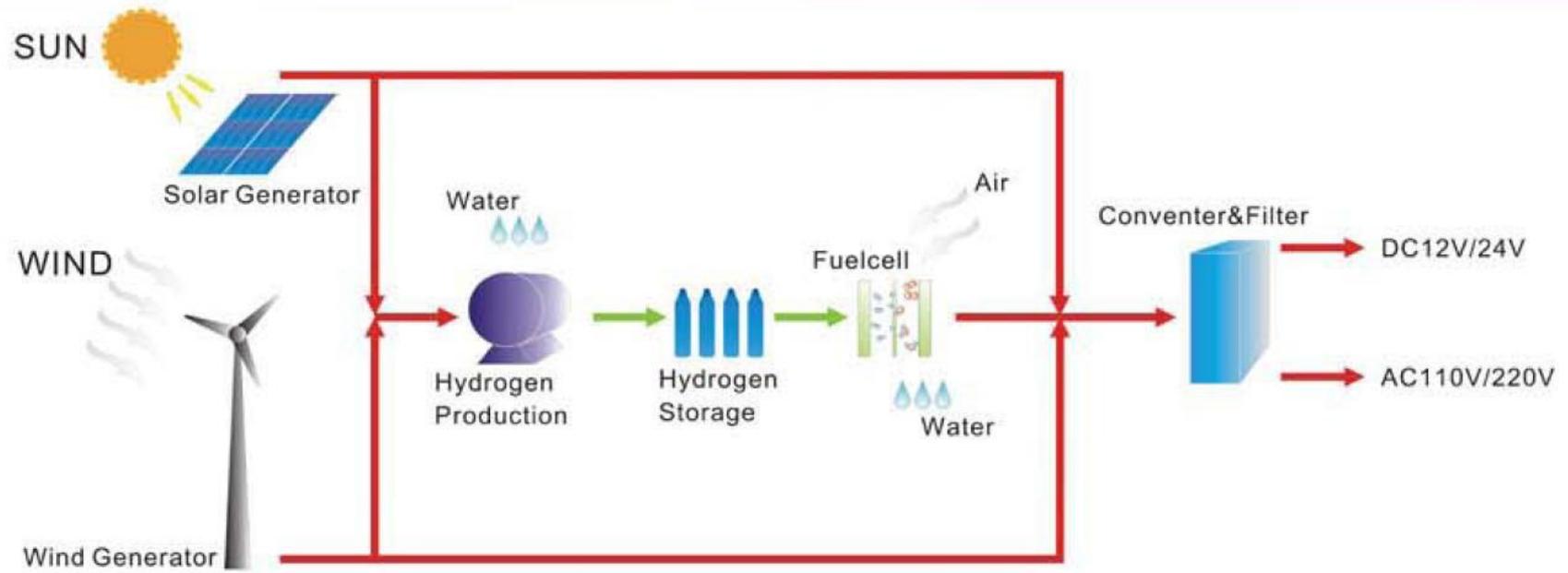
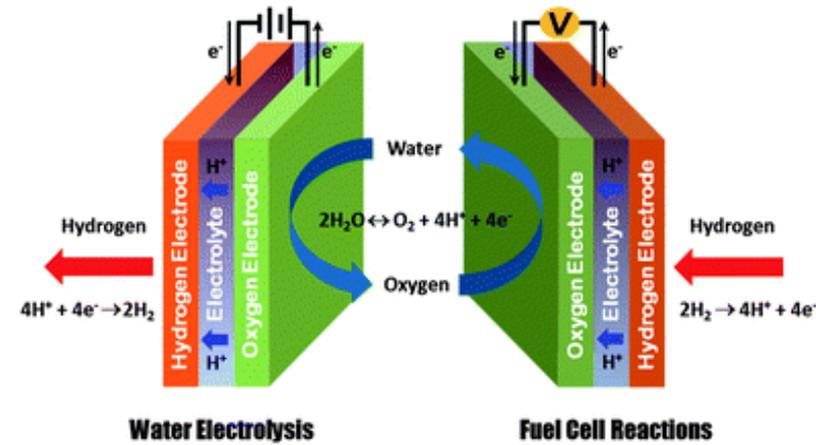
## Compressed Air Energy Storage



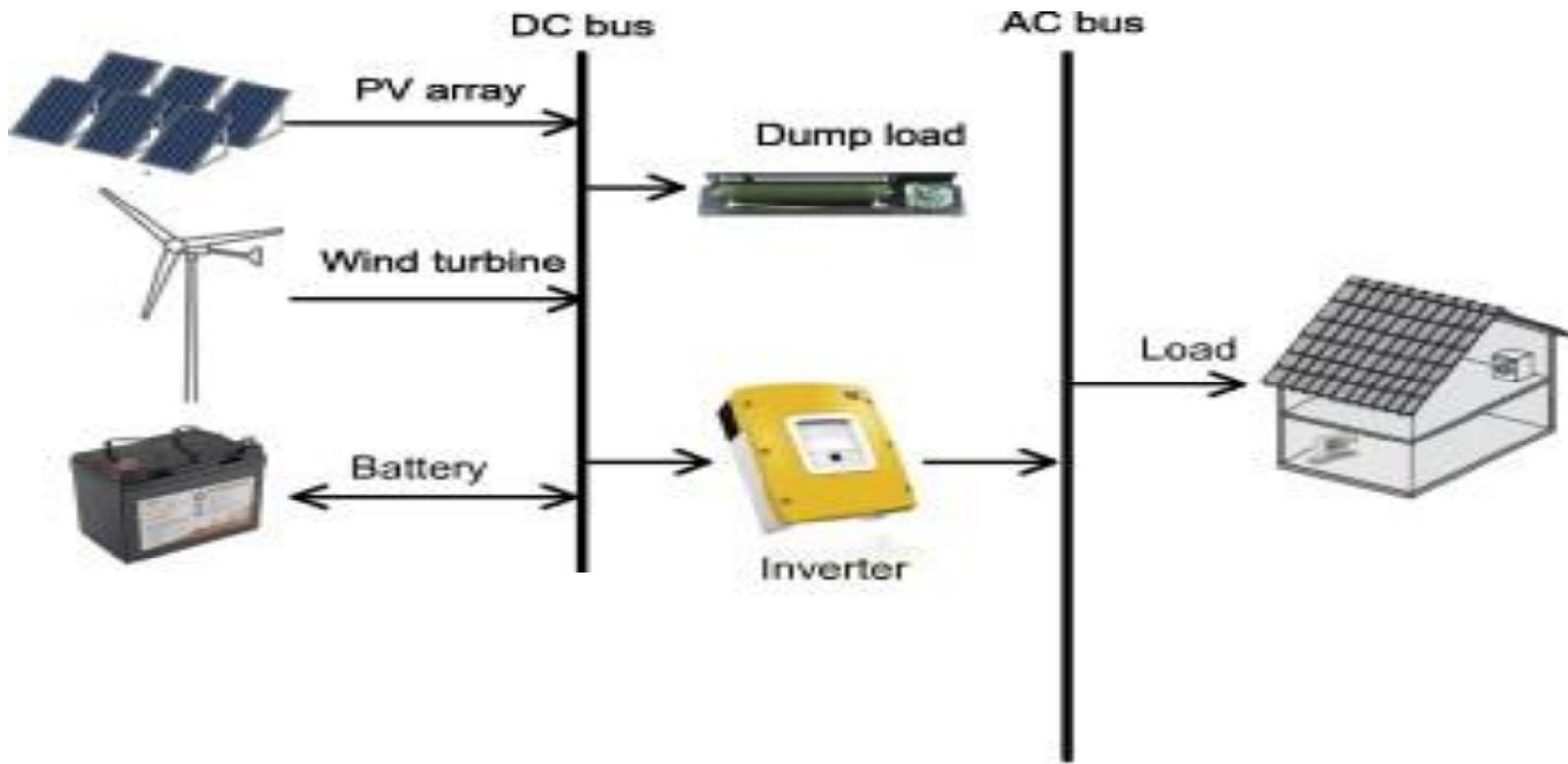
## PUMPED HYDRO STORAGE - HOW IT WORKS



# Μηχανική Αποθήκευση Ενέργειας



# Χημική Αποθήκευση Ενέργειας

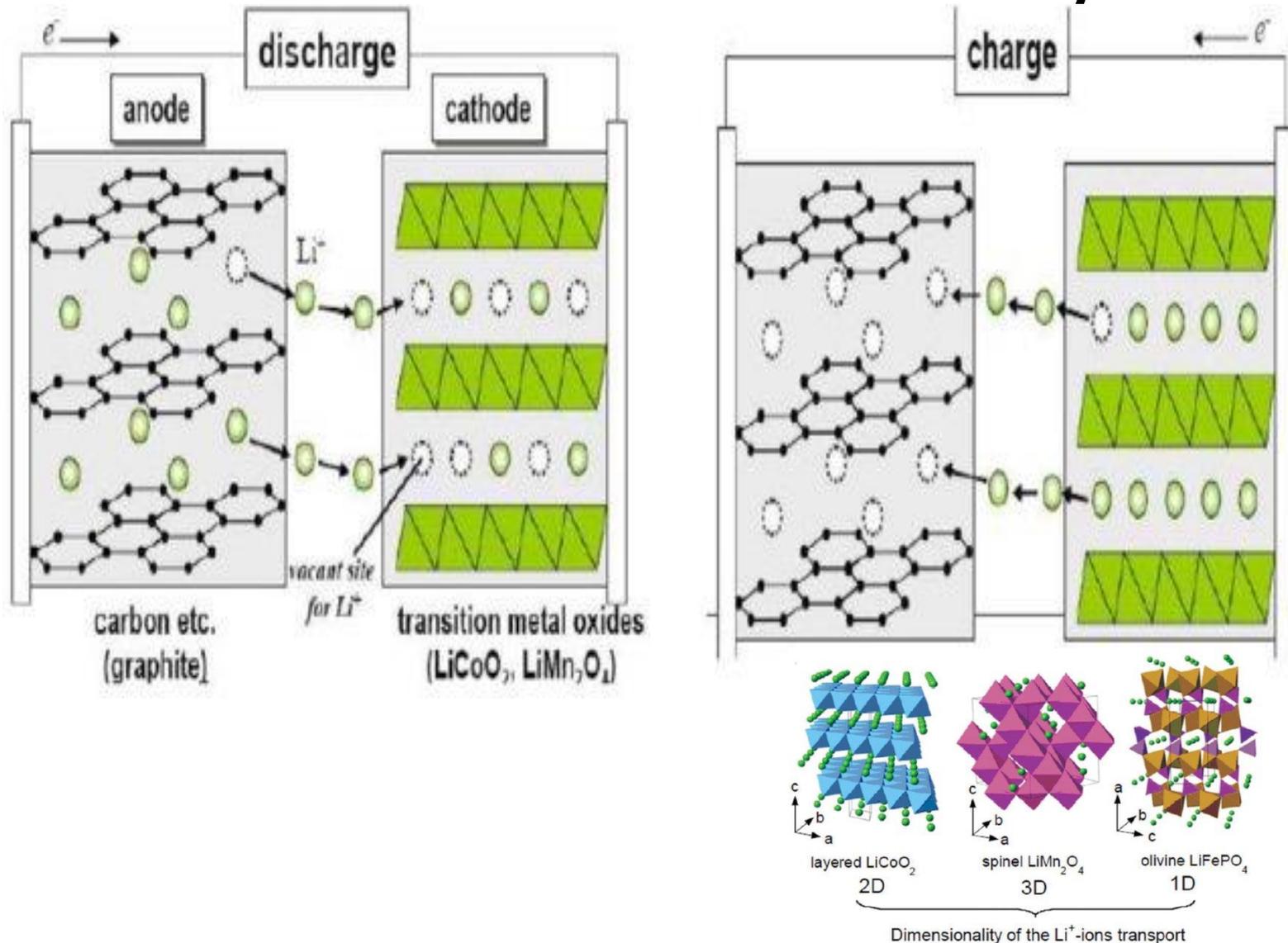


# Ηλεκτροχημική Αποθήκευση Ενέργειας

# Secondary Batteries commonly used in Hybrid Systems

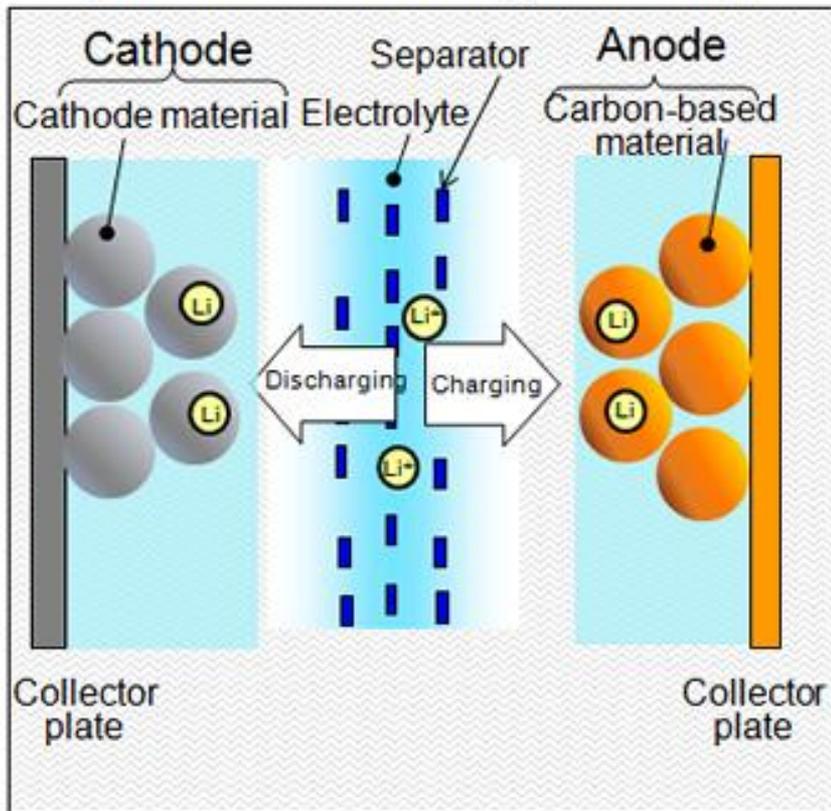
- Lead acid batteries
- Lithium ion Batteries

# Charging and Discharging a Lithium - ion Battery

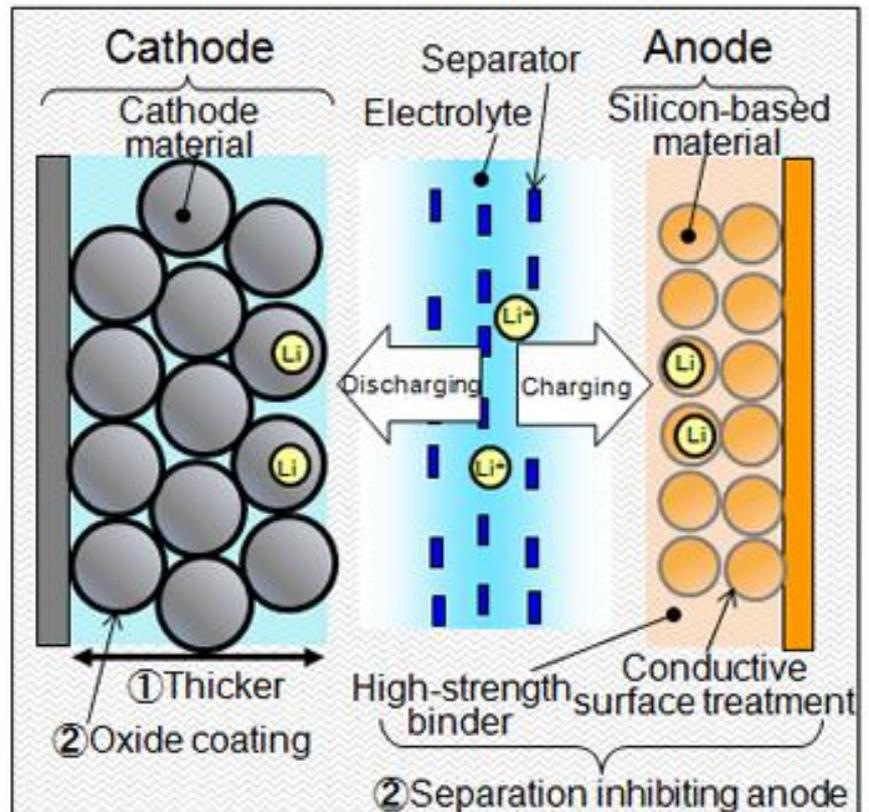


# Charging and Discharging a Lithium - ion Battery

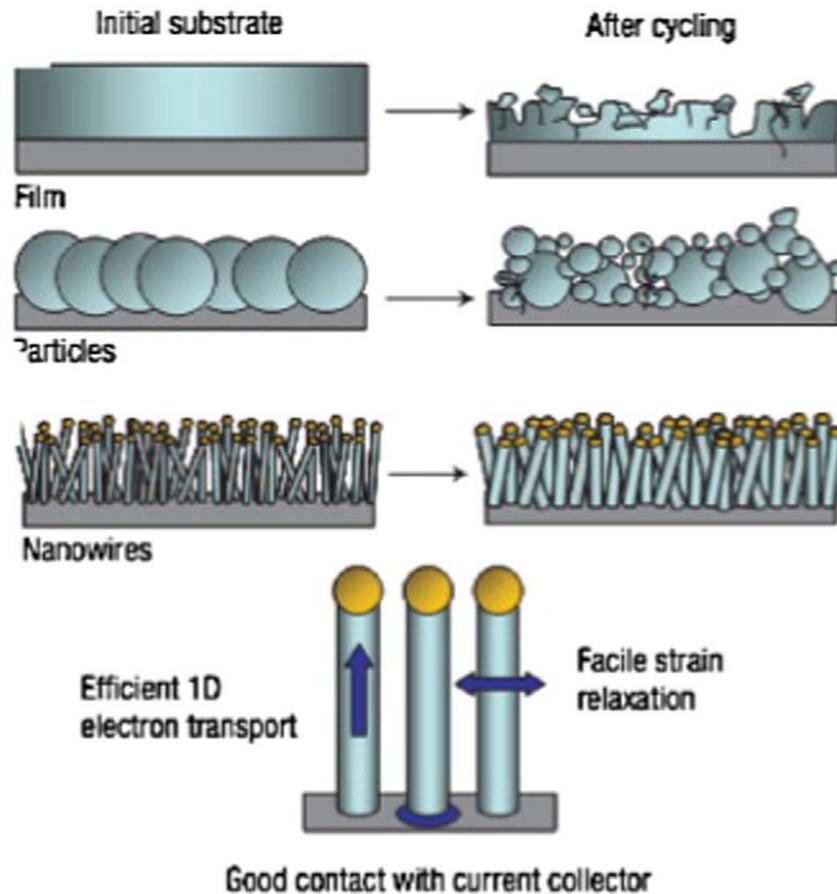
【Conventional battery structure】



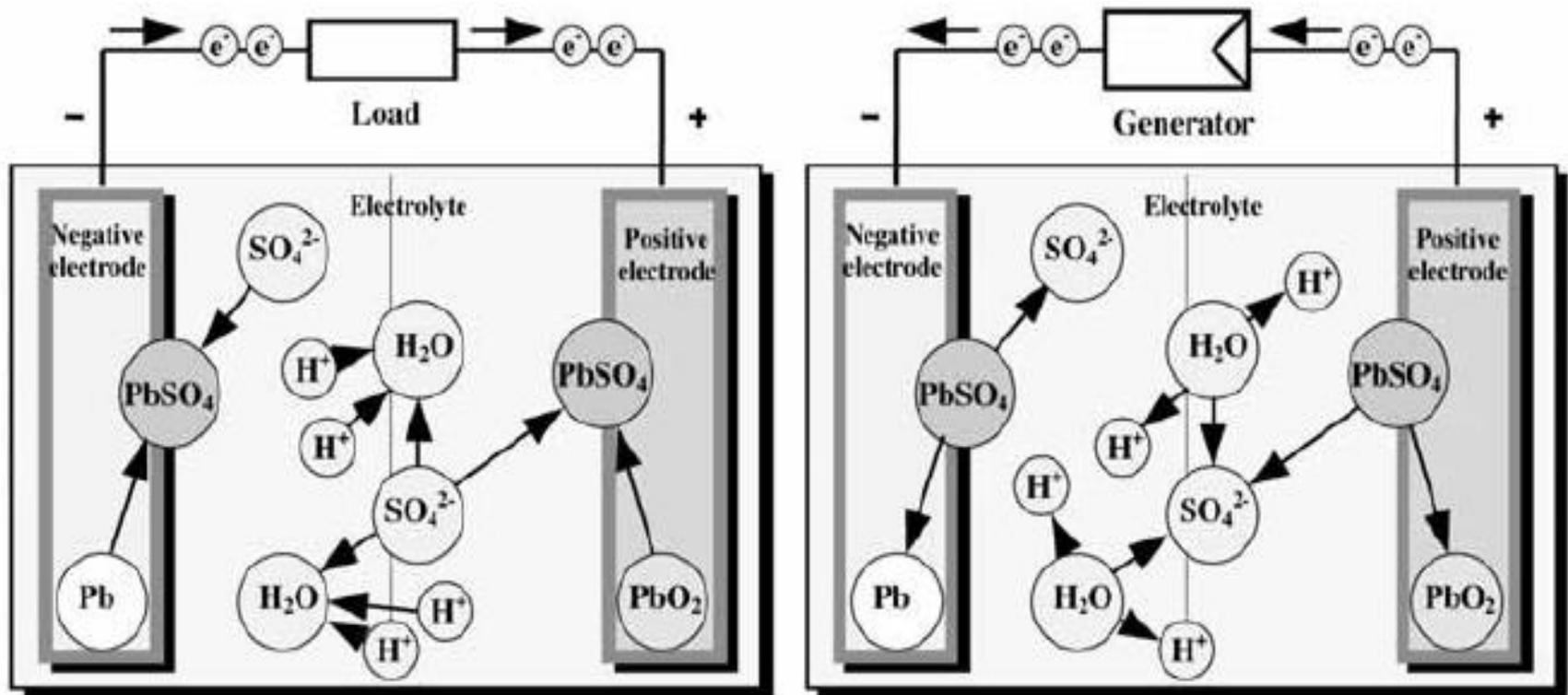
【New battery structure】



# Schematic of morphological changes that occur in Si during electrochemical cycling.



# Charging and Discharging a Lead-Acid Battery



# Battery Specifications

- Voltage
- Battery Capacity and Energy
- Rate and Depth of Discharge
- Energy and Charge Efficiency
- Days of Autonomy
- Life Expectancy
- Environmental Conditions

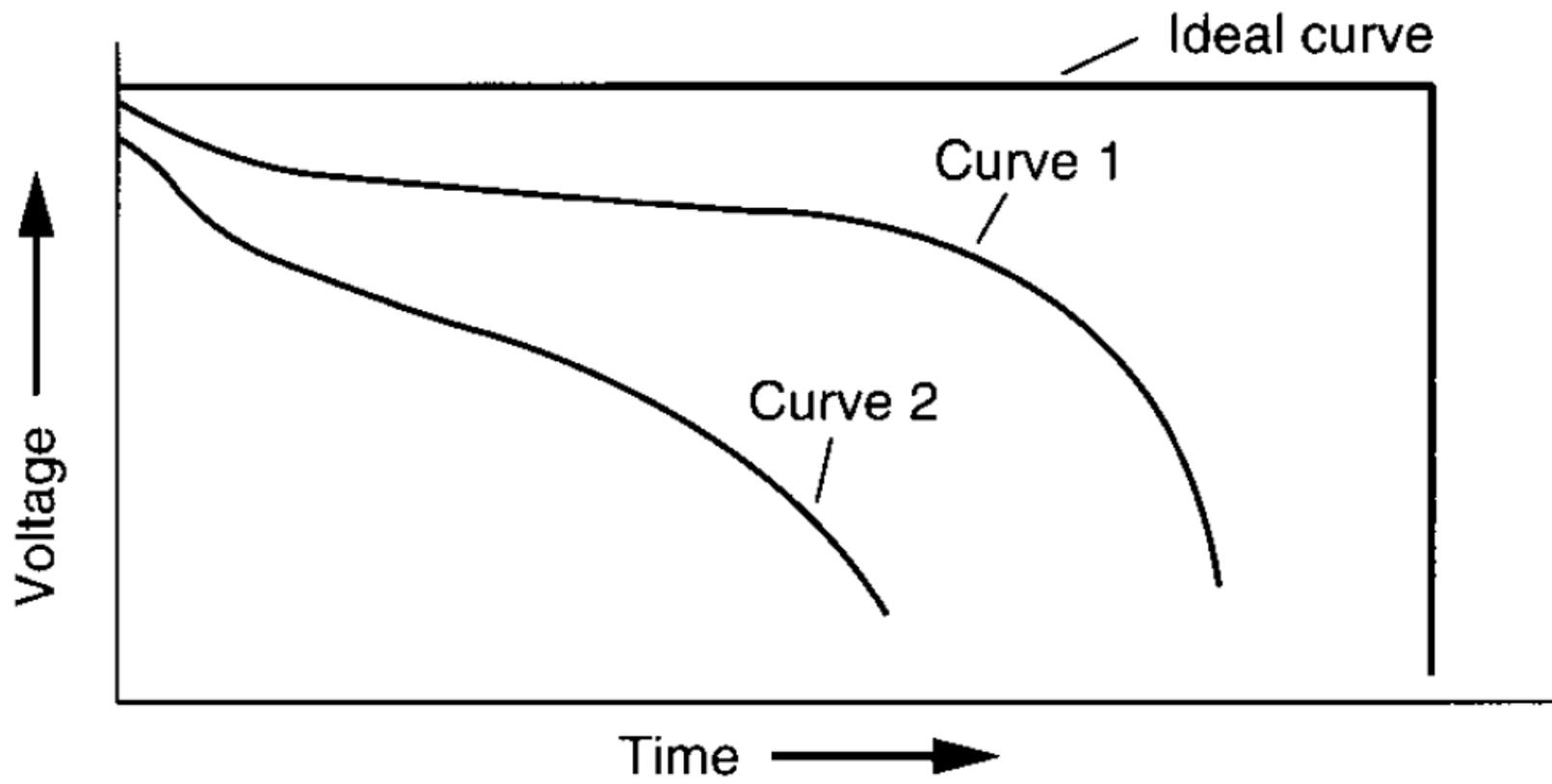
# Voltage Level

- Theoretical Voltage
- Open – circuit Voltage [ $f(\text{SOC})$ ]
- Closed – circuit voltage [ $f(\text{SOC}, T, I)$ ]
- Nominal voltage
- Working voltage
- Average voltage (Aver of Working Voltage)
- The end of discharge voltage
- The end of charge voltage

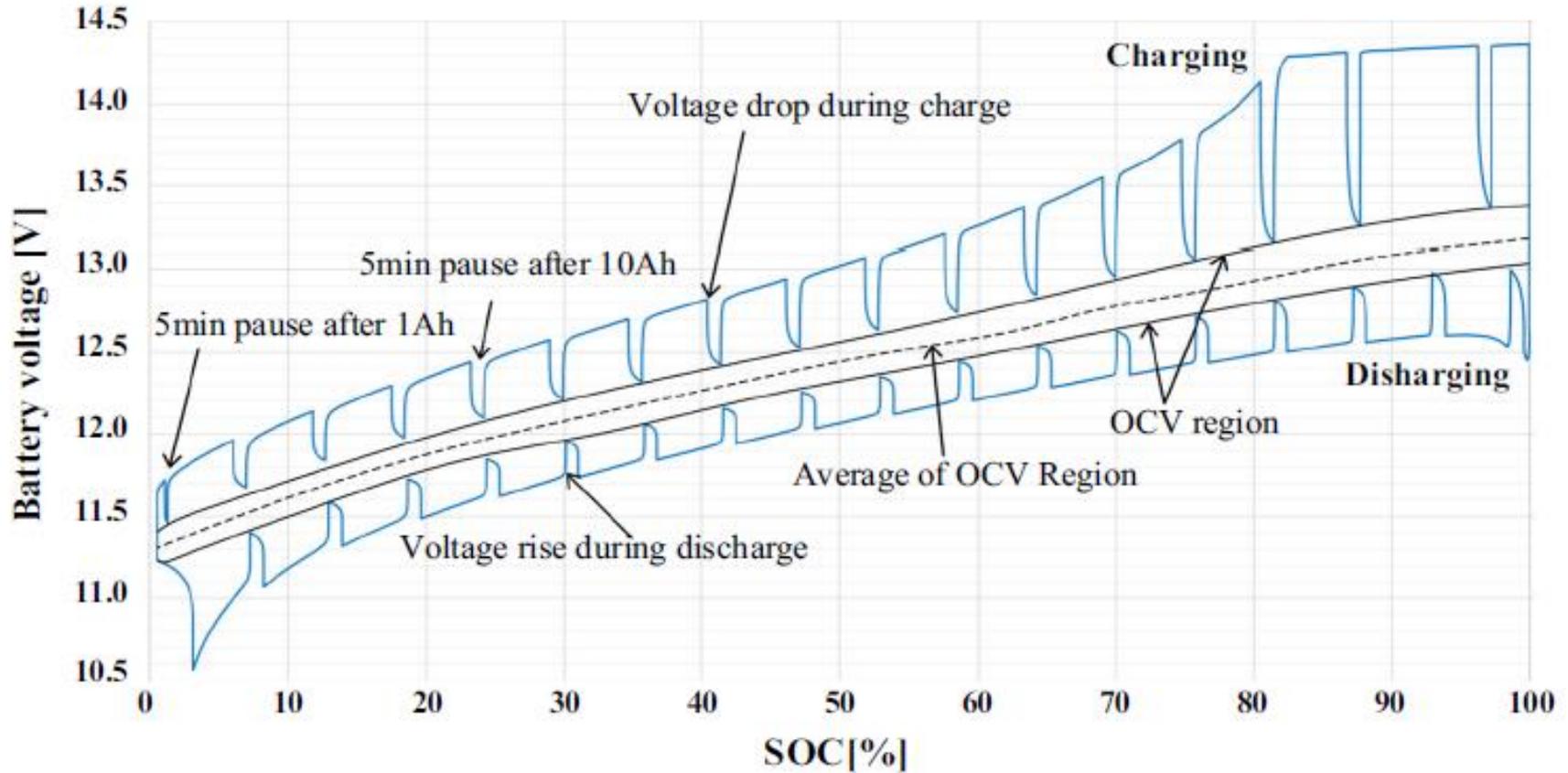
# Τυπικά Δυναμικά Ηλεκτροχημικών Αντιδράσεων

Electrode reaction	$E^{\circ}$ , V
$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0.13
$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	-0.08
$\text{D}^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{D}_2$	-0.003
$\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{H}_2$	0.000
$\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	0.10
$\text{CuCl} + e \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{Cl}^-$	0.14
$\text{AgCl} + e \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.22
$\gamma\text{-MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \alpha\text{-MnOOH} + \text{OH}^-$	0.30
$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.34
$\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$	0.35
$\gamma\text{-MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \lambda\text{-MnOOH} + \text{OH}^-$	0.36
$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 2\text{OH}^-$	0.40
$\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$	0.45
$\text{Cu}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}$	0.52
$\text{I}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	0.54
$2\text{AgO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	0.57
$\text{LiCoO}_2 + 0.5e \rightleftharpoons \text{Li}_{0.5}\text{CoO}_2 + 0.5\text{Li}^+$	-0.70
$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	0.80
$\text{Ag}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag}$	0.80
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+(10^{-7}\text{ M}) + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	0.82
$\text{Pd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Pd}$	0.83
$\text{Ir}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Ir}$	1.00
$\text{Br}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	1.08
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.23
$\text{Cl}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	1.36
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.46
$\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.69
$\text{F}_2 + 2e \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	2.87

Electrode reaction	$E^{\circ}$ , V
$\text{Li}^+ + e \rightleftharpoons \text{Li}$	-3.01
$\text{Rb}^+ + e \rightleftharpoons \text{Rb}$	-2.98
$\text{Cs}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cs}$	-2.92
$\text{K}^+ + e \rightleftharpoons \text{K}$	-2.92
$\text{Ba}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2.92
$\text{Li}^+ + 6\text{C} + e \rightleftharpoons \text{LiC}_6$	-2.90
$\text{Sr}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sr}$	-2.89
$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2.84
$\text{Na}^+ + e \rightleftharpoons \text{Na}$	-2.71
$\text{Mg(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Mg} + 2\text{OH}^-$	-2.67
$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.38
$\text{Al(OH)}_3 + 3e \rightleftharpoons \text{Al} + 3\text{OH}^-$	-2.34
$\text{Ti}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ti}$	-1.75
$\text{Be}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Be}$	-1.70
$\text{Al}^3 + 3e \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.66
$\text{Zn(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	-1.25
$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1.05
$\text{Fe(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Fe} + 2\text{OH}^-$	-0.88
$2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\text{H}^+ + \text{M} + e \rightleftharpoons \text{MH}$	-0.83
$\text{Cd(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Cd} + 2\text{OH}^-$	-0.81
$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.76
$\text{Ni(OH)}_2 + 2e \rightleftharpoons \text{Ni} + 2\text{OH}^-$	-0.72
$\text{Ga}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Ga}$	-0.52
$\text{S} + 2e \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$	-0.48
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0.40
$\text{PbSO}_4 + 2e \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.36
$\text{In}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{In}$	-0.34
$\text{Tl}^+ + e \rightleftharpoons \text{Tl}$	-0.34
$\text{Co}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Co}$	-0.27
$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0.23
$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0.14



# Open and Closed Circuit Voltage



# Battery Capacity

- A battery's **capacity** (*in ampere-hours (Ah)*) is the amount of electric charge it can deliver.
- Factors that affect battery capacity:
  - Rate of discharge
  - Depth of Discharge (DoD)
  - Temperature
  - Age
  - Recharging characteristics

# Χαρακτηριστικά τυπικών υλικών ηλεκτροδίων

Material	Atomic or molecular weight, g	Standard reduction potential at 25°C, V	Valence change	Melting point, °C	Density, g/cm <sup>3</sup>	Electrochemical equivalents		
						Ah/g	g/Ah	Ah/cm <sup>3</sup>
Anode materials								
H <sub>2</sub>	2.01	0 -0.83 <sup>†</sup>	2	—	—	26.59	0.037	—
Li	6.94	-3.01	1	180	0.54	3.86	0.259	2.06
Na	23.0	-2.71	1	98	0.97	1.16	0.858	1.14
Mg	24.3	-2.38 -2.69 <sup>†</sup>	2	650	1.74	2.20	0.454	3.8
Al	26.9	-1.66	3	659	2.69	2.98	0.335	8.1
Ca	40.1	-2.84 -2.35 <sup>†</sup>	2	851	1.54	1.34	0.748	2.06
Fe	55.8	-0.44 -0.88 <sup>†</sup>	2	1528	7.85	0.96	1.04	7.5
Zn	65.4	-0.76 -1.25 <sup>†</sup>	2	419	7.14	0.82	1.22	5.8
Cd	112.4	-0.40 -0.81 <sup>†</sup>	2	321	8.65	0.48	2.10	4.1
Pb	207.2	-0.13	2	327	11.34	0.26	3.87	2.9
(Li)C <sub>6</sub> <sup>§</sup>	72.06	-2.8	1	—	2.25	0.372	2.69	0.837
MH <sup>†</sup>		-0.83 <sup>†</sup>	2	—	—	0.305	3.28	—
CH <sub>3</sub> OH	32.04	—	6	—	—	5.02	0.20	—
Cathode materials								
CuF <sub>2</sub>	101.5	3.55	2	—	—	0.528	1.89	—
O <sub>2</sub>	32.0	1.23 0.40 <sup>†</sup>	4	—	—	3.35	0.30	—
Cl <sub>2</sub>	71.0	1.36	2	—	—	0.756	1.32	—
SO <sub>2</sub>	64.0	—	1	—	—	0.419	2.38	—
MnO <sub>2</sub>	86.9	1.28 <sup>§</sup>	1	—	5.0	0.308	3.24	1.54
NiOOH	91.7	0.49	1	—	7.4	0.292	3.42	2.16
CuCl	99.0	0.14	1	—	3.5	0.270	3.69	0.95
FeS <sub>2</sub>	119.9	—	4	—	—	0.89	1.12	4.35
AgO	123.8	0.57 <sup>†</sup>	2	—	7.4	0.432	2.31	3.20
Br <sub>2</sub>	159.8	1.07	2	—	—	0.335	2.98	—
HgO	216.6	0.10 <sup>†</sup>	2	—	11.1	0.247	4.05	2.74
Ag <sub>2</sub> O	231.7	0.35 <sup>†</sup>	2	—	7.1	0.231	4.33	1.64
PbO <sub>2</sub>	239.2	1.69	2	—	9.4	0.224	4.45	2.11
LiFePO <sub>4</sub>	163.8	~0.42	1	—	3.44	0.160	6.25	0.554
LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (spinel)	148.8	~1.2	1	—	4.1	0.120	8.33	0.492
Li <sub>x</sub> CoO <sub>2</sub>	98	~1.25	0.5	—	5.05	0.155	6.45	0.782
I <sub>2</sub>	253.8	0.54	2	—	4.94	0.211	4.73	1.04

# Rate of Discharge

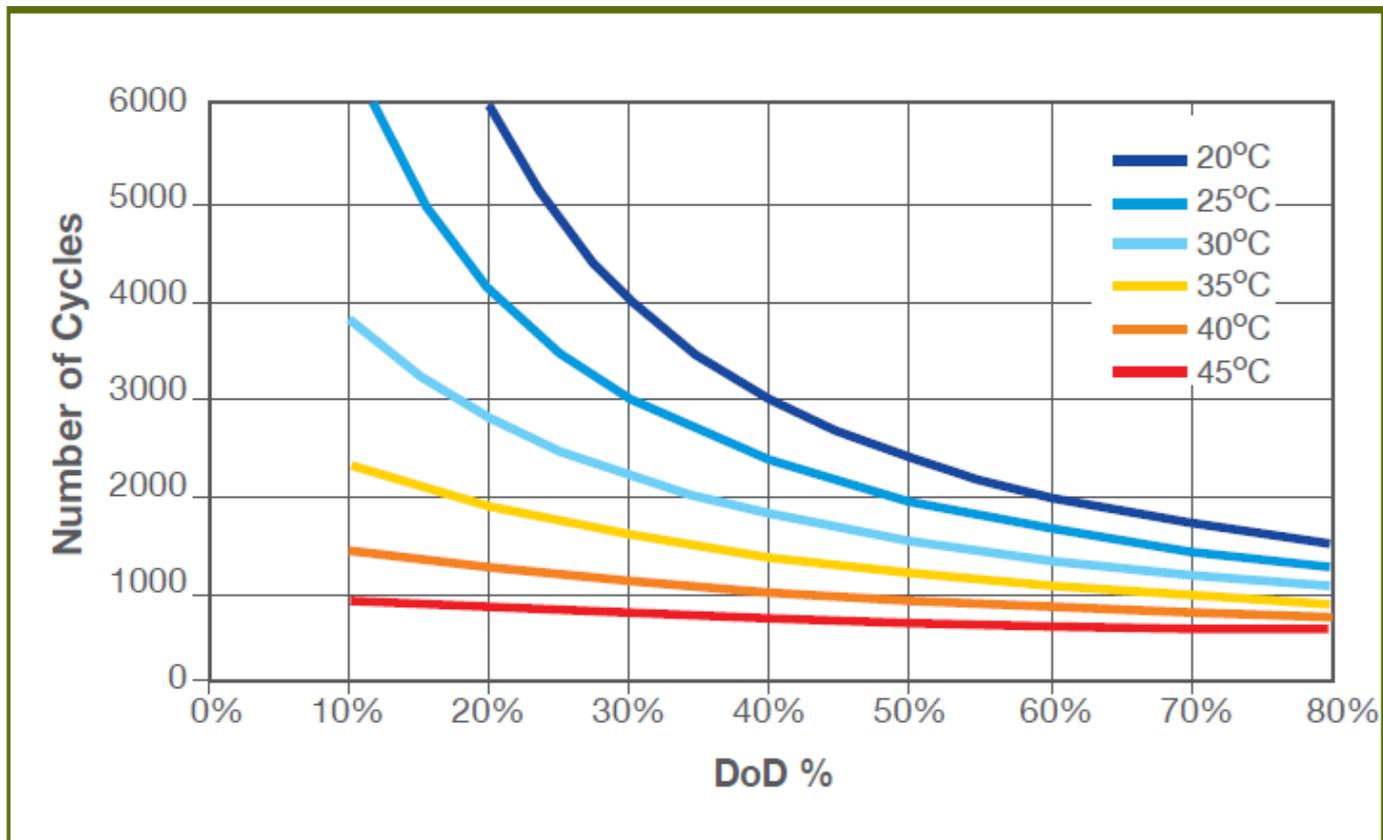
- Discharge rate is often expressed as a C-rate in order to normalize against battery capacity, which is often very different between batteries. **A C-rate is a measure of the rate at which a battery is discharged relative to its nominal capacity.**
  - The rate at which the battery is discharged directly affects its capacity
    - High discharge rates give lower capacity
    - Low discharge rates give higher capacity

# Depth of Discharge (DoD)

- Depth of Discharge (DOD) refers to how much capacity will be withdrawn from a battery.
  - Battery life is directly related to how deep the battery is cycled.

# Life Expectancy

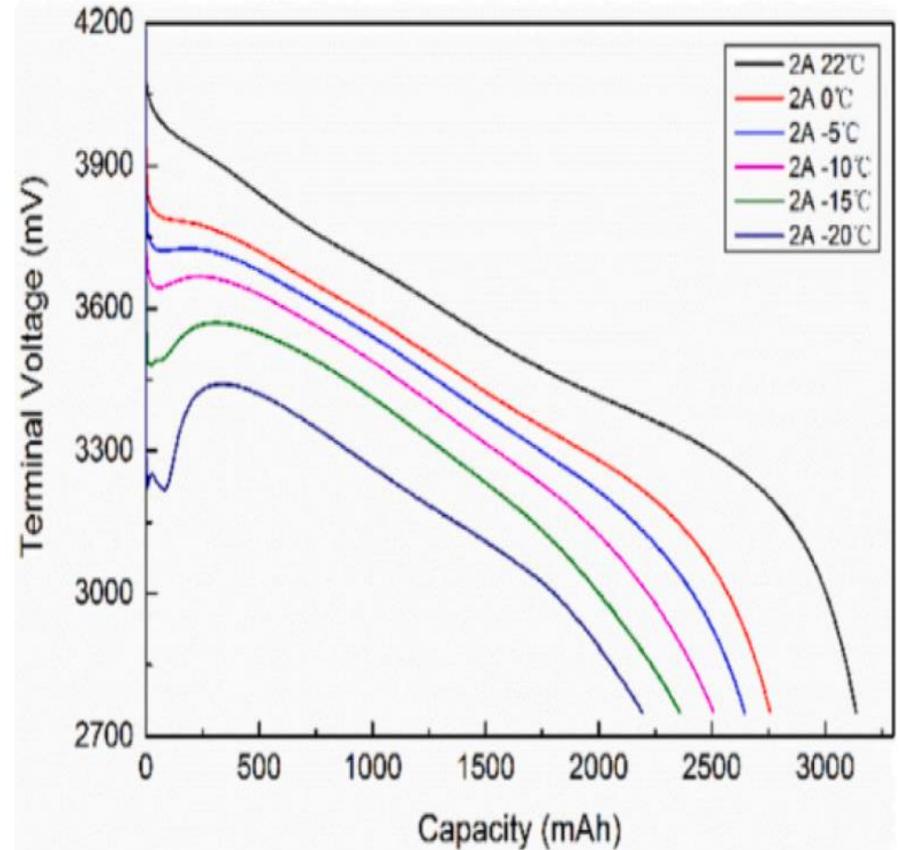
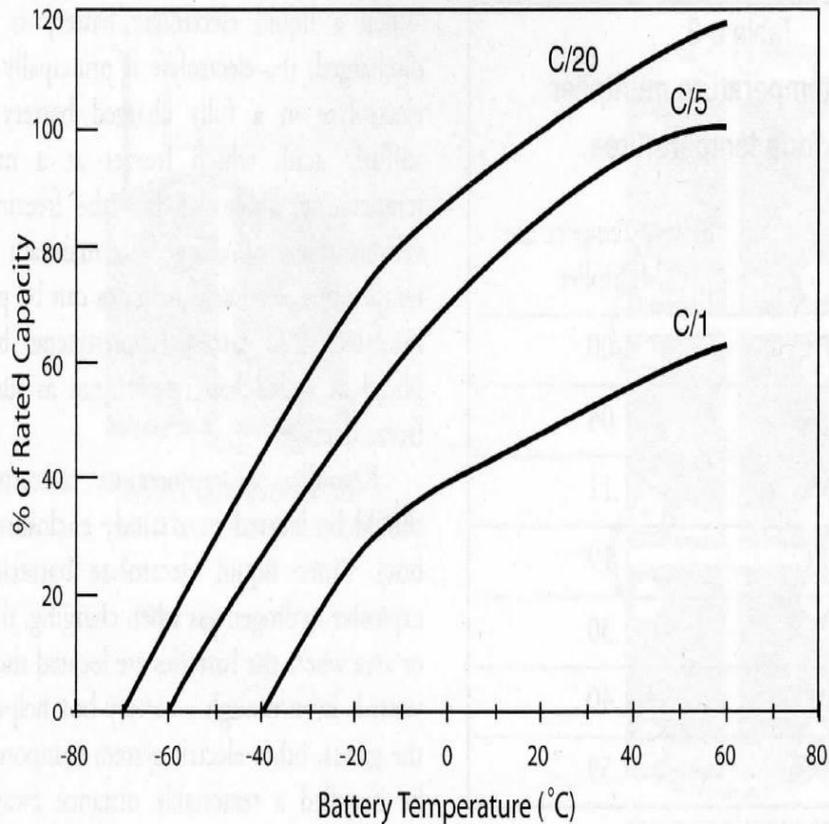
- Battery manufacturers specify life expectancy in terms of a quantity of cycles.
- Battery life (number of daily cycles) is affected by the depth of Discharge (in percent of battery capacity).



# Environmental Conditions

- Batteries are affected by the environment's temperature
- Higher voltage charge termination points are required to complete charging as a battery's temperature drops (the opposite is true in warmer temperatures)
- Controllers with a temperature compensation feature can automatically adjust charge voltage based on a battery's temperature

# Environmental Conditions



**Effect of Temperature on Battery Discharge Capacity**

# Energy and Charge Efficiency

- Energy Efficiency

$$- n_{\text{en}} = W_{\text{disch}} / W_{\text{ch}}$$

- Charge Efficiency

$$- n_{\text{q}} = C_{\text{disch}} / C_{\text{ch}}$$

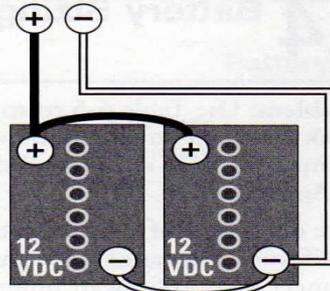
# Days of Autonomy

- Autonomy refers to the number of days a battery system will provide a given load without being recharged.
- The number of days of autonomy is determined by
  - the location
  - total load
  - types of load
- The general range of autonomy is as follows:
  - 2 to 3 days for non-essential uses or systems with a generator back-up
  - 5 to 7 days for critical loads with no other power sources

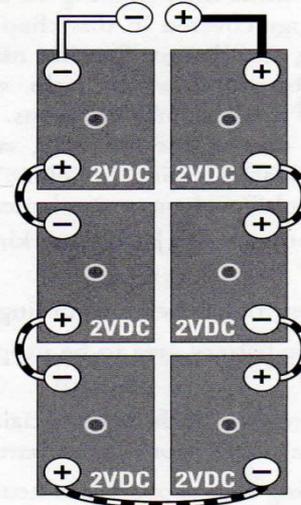
# Comparison Table of Secondary Batteries

Specifications	Lead Acid	Li-ion <sup>1</sup>		
		Cobalt	Manganese	Phosphate
<b>Specific energy</b> (Wh/kg)	30–50	150–250	100–150	90–120
<b>Internal resistance</b>	Very Low	Moderate	Low	Very low
<b>Cycle life<sup>2</sup></b> (80% DoD)	200–300	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
<b>Charge time<sup>4</sup></b>	8–16h	2–4h	1–2h	1–2h
<b>Overcharge tolerance</b>	High	Low. No trickle charge		
<b>Self-discharge/ month</b> (room temp)	5%	<5% Protection circuit consumes 3%/month		
<b>Cell voltage</b> (nominal)	2V	3.6V <sup>7</sup>	3.7V <sup>7</sup>	3.2–3.3V
<b>Charge cutoff voltage</b> (V/cell)	2.40 Float 2.25	4.20 typical Some go to higher V		3.60
<b>Discharge cutoff voltage</b> (V/cell, 1C)	1.75V	2.50–3.00V		2.50V
<b>Peak load current</b> Best result	5C <sup>8</sup> 0.2C	2C <1C	>30C <10C	>30C <10C
<b>Charge temperature</b>	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	0 to 45°C <sup>9</sup> (32 to 113°F)		
<b>Discharge temperature</b>	–20 to 50°C (–4 to °F)	–20 to 60°C (–4 to 140°F)		
<b>Maintenance requirement</b>	3–6 months <sup>10</sup> (toping chg.)	Maintenance-free		
<b>Safety requirements</b>	Thermally stable	Protection circuit mandatory <sup>11</sup>		
<b>In use since</b>	Late 1800s	1991	1996	1999
<b>Toxicity</b>	Very high	Low		
<b>Coulombic efficiency<sup>12</sup></b>	~90%	99%		
<b>Cost</b>	Low	High <sup>13</sup>		

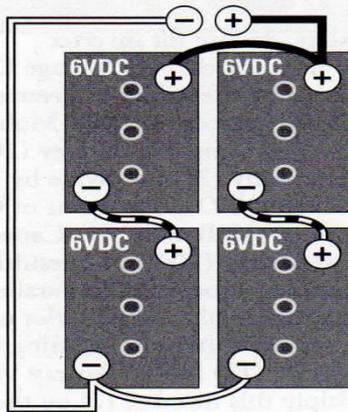
# 12 Volt Battery Configurations



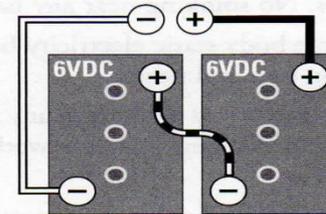
**12-VOLT CONFIGURATION**  
with 12-volt batteries in *parallel*



**12-VOLT CONFIGURATION**  
with 2-volt batteries in *series*



**12-VOLT CONFIGURATION**  
with 6-volt batteries in *series/parallel*

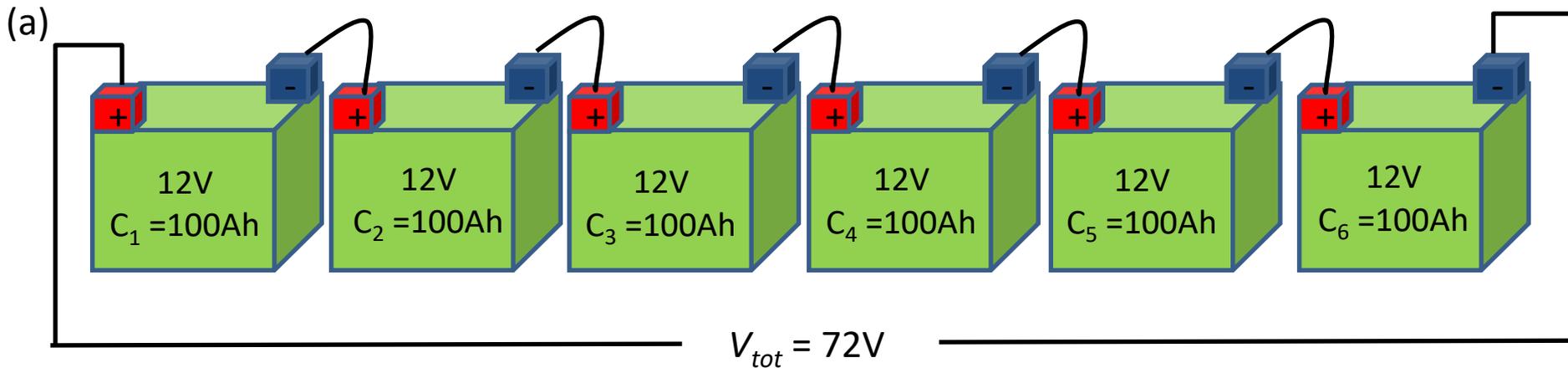


**12-VOLT CONFIGURATION**  
with 6-volt batteries in *series*

# Πρόβλημα 1<sup>ο</sup>

Σε μια συστοιχία συσσωρευτών θα πρέπει να έχουμε τελική τάση εξόδου  $V_{\text{tot}} = 72\text{V}$ . Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία:  $V_{\text{nom}} = 12\text{V}$  και  $C_{\text{nom}} = 100\text{Ah}$ .

- a) Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών, έτσι ώστε η ολική τάση της συστοιχίας να είναι 72V.
- b) Ποια είναι η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας και ποια η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια;
- c) Αν το βάθος εκφόρτισης της συστοιχίας είναι ίσο με 0.8 και ο βαθμός απόδοσης ίσος με 0.85, να υπολογιστεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τη συστοιχία.
- d) Ποιο είναι το ρεύμα εκφόρτισης της συστοιχίας (ολικό ρεύμα), αν η ισχύς της κατανάλωσης που τροφοδοτείται είναι 360W;
- e) Ποιος είναι ο χρόνος με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση;



Οι συσσωρευτές που διαθέτουμε έχουν ονομαστική τάση  $V_{nom} = 12V$  και η συστοιχία μας θα πρέπει να έχει συνολική τάση  $V_{tot} = 72V$ . Άρα η συστοιχία θα αποτελείται από:

$$\frac{V_{tot}}{V_{nom}} = \frac{72}{12} = 6$$

(b) Εφόσον είναι συνδεδεμένες σε σειρά θα ισχύει  $C_{tot} = C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = 100Ah$   
 Η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι:  $E = C_{tot} \times V_{tot} = (100Ah) \times (72V) = 7200Wh$  ή  $7.2kWh$

(c) Η ενέργεια που μπορούμε να αντλήσουμε από τη μπαταρία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_R = n \times DOD \times E$$

Όπου  $n = 0.85$  ο βαθμός απόδοσης  
 $DOD = 0.8$  το βάθος εκφόρτισης

$$E_R = 0.85 \times 0.8 \times 7.2 = 4896 \text{ kWh}$$

(d) Η ισχύς της μπαταρίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = V_{tot} \times I$$

Όπου  $I$  το ρεύμα εκφόρτισης

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{360W}{72V} = 5A$$

(e) Ο χρόνος  $t$  με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση θα υπολογιστεί από τη σχέση:

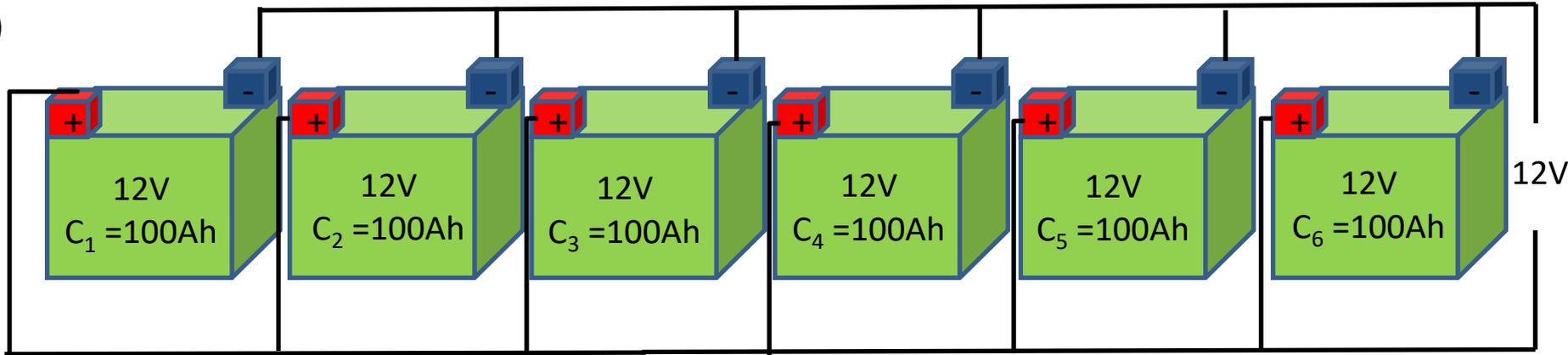
$$E_R = Pxt \Rightarrow t = \frac{E_R}{P} = \frac{4896 Wh}{360W} = 13.6h$$

# Πρόβλημα 2<sup>ο</sup>

Σε μια συστοιχία συσσωρευτών θα πρέπει να έχουμε ολική χωρητικότητα  $C_{\text{tot}} = 600\text{Ah}$  με ολική τάση  $V_{\text{tot}} = 12\text{V}$ . Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία  $V_{\text{nom}} = 12\text{V}$  και  $C_{\text{nom}} = 100\text{Ah}$ .

- a) Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών, έτσι ώστε η ολική χωρητικότητα της συστοιχίας να είναι  $600\text{Ah}$ .
- b) Ποια είναι η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια;
- c) Αν το βάθος εκφόρτισης της συστοιχίας είναι ίσο με  $0,8$  και ο βαθμός απόδοσης είναι ίσος με  $0,85$ , να υπολογιστεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τη συστοιχία.
- d) Ποιο θα είναι το ρεύμα εκφόρτισης της συστοιχίας (ολικό ρεύμα) και ποιο το ρεύμα εκφόρτισης του κάθε συσσωρευτή, αν η ισχύς της κατανάλωσης που τροφοδοτείται είναι  $360\text{W}$ ;
- e) Ποιος είναι ο χρόνος με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί με ενέργεια την κατανάλωση;

(a)



Οι συσσωρευτές που διαθέτουμε έχουν ονομαστική χωρητικότητα  $C_i = 100\text{Ah}$  και η συστοιχία μας θα πρέπει να έχει συνολική χωρητικότητα  $C_{tot} = 600\text{Ah}$ . Άρα ο αριθμός των στοιχείων “ $n$ ” που θα πρέπει να συνδεθούν παράλληλα ώστε η συστοιχία να έχει την απαιτούμενη χωρητικότητα είναι:  $C_{tot} = n \times C_i \Rightarrow n = C_{tot} / C_i \Rightarrow n = 600 / 100 = 6$

(b) Η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι:  $E = C_{tot} \times V_{tot} = (600\text{Ah}) \times (12\text{V}) = 7200\text{Wh}$  ή  $7.2\text{kWh}$

(c) Η ενέργεια που μπορούμε να αντλήσουμε από τη μπαταρία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_R = n \times \text{DOD} \times E$$

Όπου  $n = 0.85$  ο βαθμός απόδοσης  
 $\text{DOD} = 0.8$  το βάθος εκφόρτισης

$$E_R = 0.85 \times 0.8 \times 7.2 = 4896 \text{ kWh}$$

(d) Η ισχύς της μπαταρίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = V_{tot} \times I$$

Όπου  $I$  το ρεύμα εκφόρτισης

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{360W}{12V} = 30A$$

Επειδή τα στοιχεία είναι συνδεδεμένα παράλληλα το συνολικό ρεύμα προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων των στοιχείων:

$$I = \sum_{i=1}^6 I_i = 6I_c \Rightarrow I_c = \frac{I}{6} = \frac{30}{6} \Rightarrow I_c = 5A$$

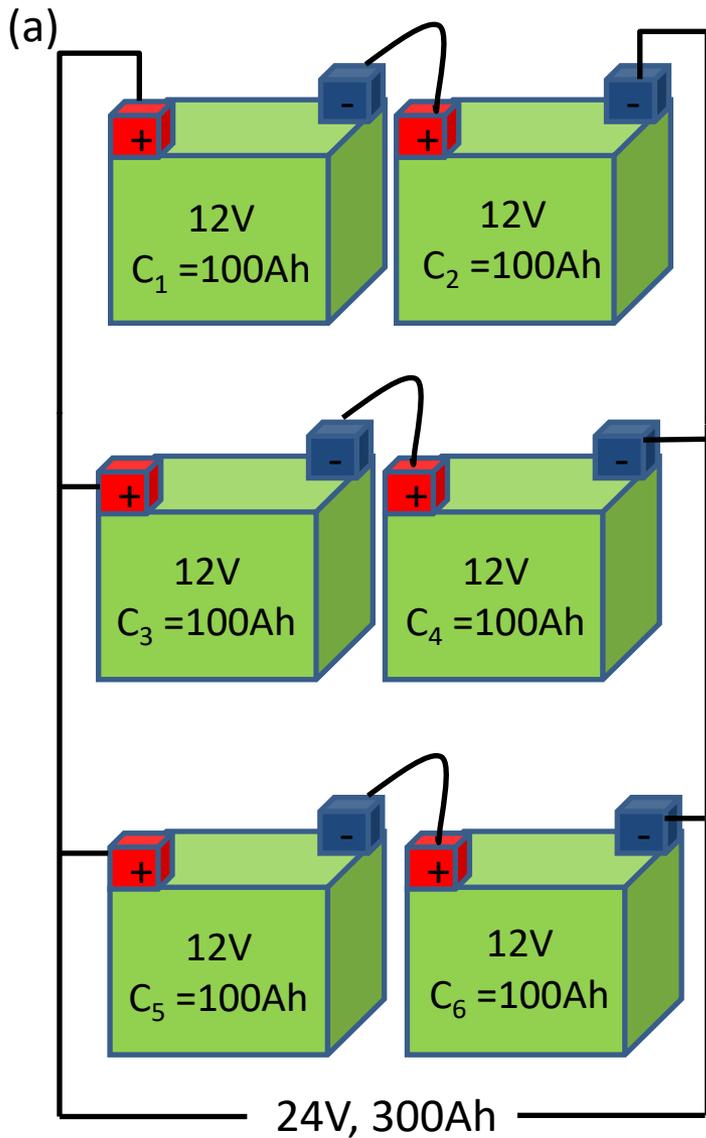
(e) Ο χρόνος  $t$  με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση θα υπολογιστεί από τη σχέση:

$$E_R = Pxt \Rightarrow t = \frac{E_R}{P} = \frac{4896 Wh}{360W} = 13.6h$$

# Πρόβλημα 3<sup>ο</sup>

Σε μια συστοιχία συσσωρευτών θα πρέπει να έχουμε ολική τάση  $V_{\text{tot}} = 24\text{V}$  και ολική χωρητικότητα  $C_{\text{tot}} = 300\text{Ah}$ . Διαθέτουμε έξι συσσωρευτές με χαρακτηριστικά στοιχεία  $V_{\text{nom}} = 12\text{V}$  και  $C_{\text{nom}} = 100\text{Ah}$ .

- a) Να γίνει η συνδεσμολογία των συσσωρευτών, έτσι ώστε η ολική τάση της συστοιχίας να είναι  $24\text{V}$  και η ολική χωρητικότητα  $300\text{Ah}$ .
- b) Ποια είναι η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια;
- c) Αν το βάθος εκφόρτισης της συστοιχίας είναι ίσο με  $0.8$  και ο βαθμός απόδοσης ίσος με  $0.85$ , να υπολογιστεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τη συστοιχία.
- d) Ποιο θα είναι το ρεύμα εκφόρτισης της συστοιχίας (ολικό ρεύμα) και ποιο το ρεύμα εκφόρτισης του κάθε συσσωρευτή, αν η ισχύς της κατανάλωσης που τροφοδοτείται είναι  $360\text{W}$ ;
- e) Ποιος είναι ο χρόνος με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί με ενέργεια την κατανάλωση;



Για να δημιουργήσουμε την τάση των 24V θα πρέπει να συνδέσουμε 2 στοιχεία των 12 V σε σειρά ενώ για τη δημιουργία μιας συστοιχίας με ονομαστική χωρητικότητα 300Ah θα πρέπει να συνδέσουμε τρία στοιχεία των 100Ah παράλληλα.

(b) Η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι:  $E = C_{tot} \times V_{tot} = (300Ah) \times (24V) = 7200Wh$  ή  $7.2kWh$

(c) Η ενέργεια που μπορούμε να αντλήσουμε από τη μπαταρία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_R = \eta \times DOD \times E$$

Όπου

$\eta = 0.85$  ο βαθμός απόδοσης

$DOD = 0.8$  το βάθος εκφόρτισης

$$E_R = 4896 kWh$$

(d) Η ισχύς της μπαταρίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = V_{tot} \times I$$

Όπου  $I$  το ρεύμα εκφόρτισης

$$I = \frac{P}{V_{tot}} = \frac{360W}{24V} = 15A$$

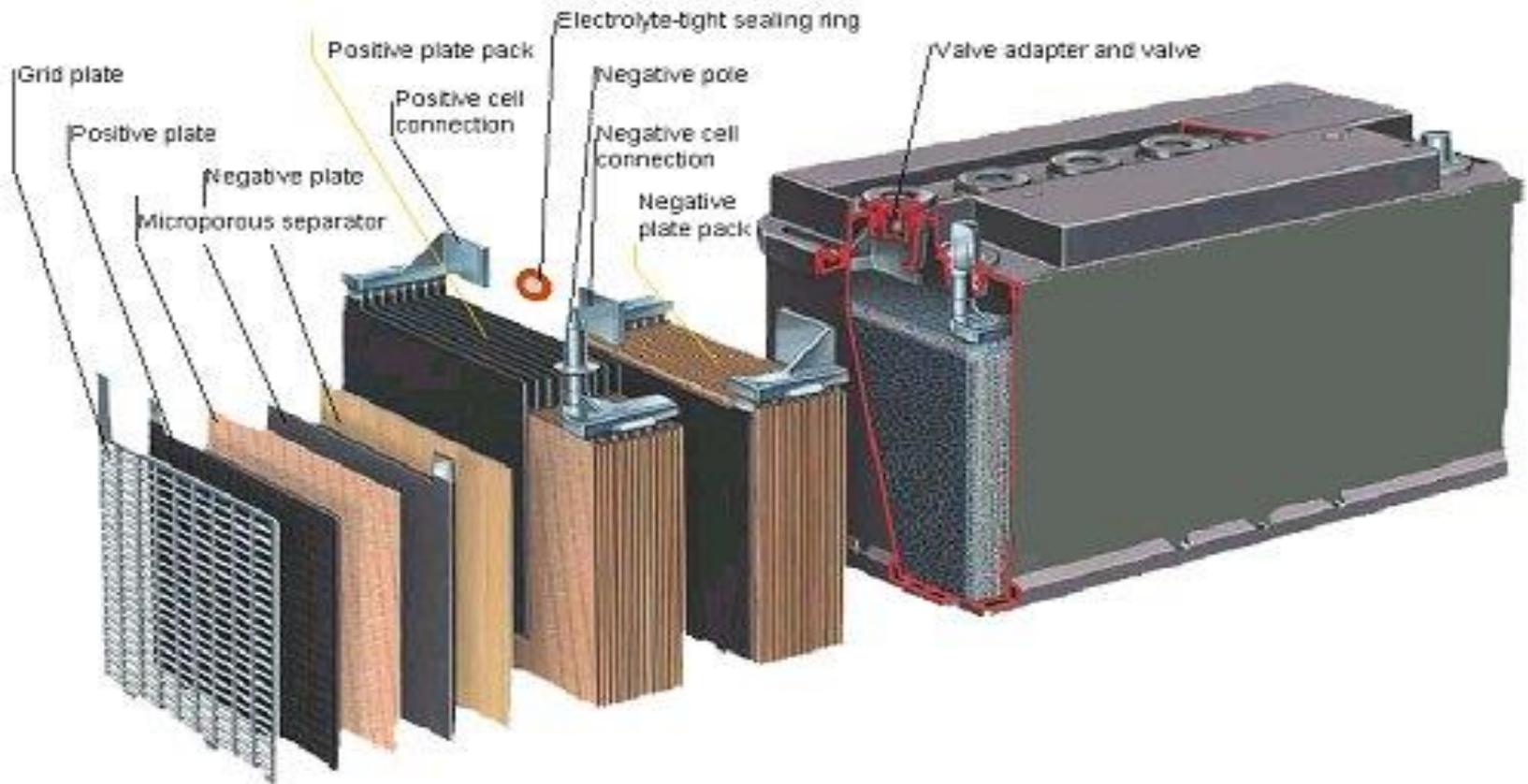
Επειδή τα στοιχεία ανά δύο είναι συνδεδεμένα παράλληλα το συνολικό ρεύμα προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων των στοιχείων:

$$I = \sum_{i=1}^3 I_i = 3I_c \Rightarrow I_c = \frac{I}{3} = \frac{15}{3} \Rightarrow I_c = 5A$$

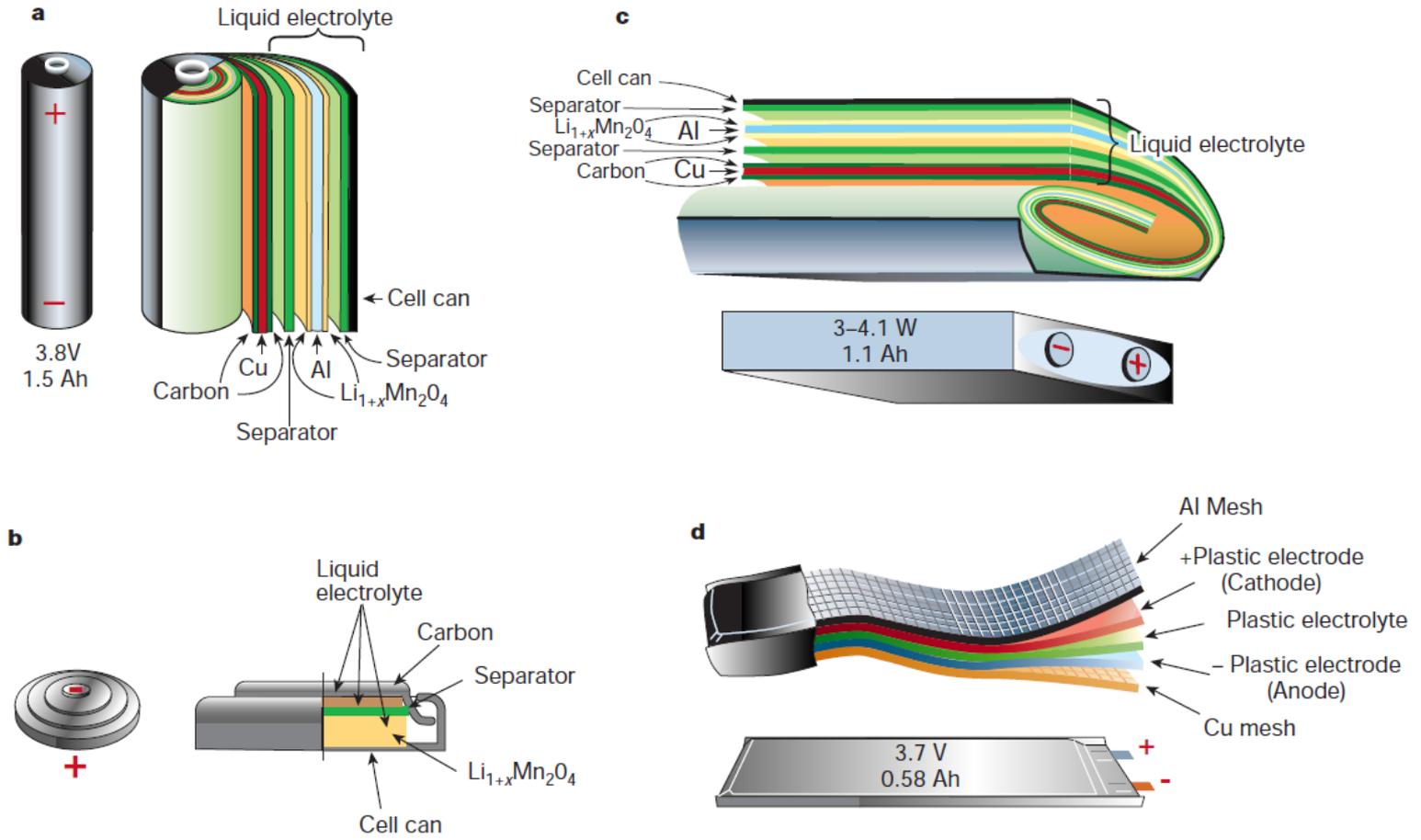
(e) Ο χρόνος  $t$  με τον οποίο μπορεί η συγκεκριμένη συστοιχία να τροφοδοτεί συνεχώς με ενέργεια την κατανάλωση θα υπολογιστεί από τη σχέση:

$$E_R = Pxt \Rightarrow t = \frac{E_R}{P} = \frac{4896 Wh}{360W} = 13.6h$$

# LEAD – ACID BATTERIES



# Li-Ion Batteries



a. Cylindrical, b. coin, c. prismatic, and d. thin and flat.