



Europejski  
Instytut Miedzi  
Copper Alliance

---

# Elektromobilność – Magazynowanie energii w pojazdach elektrycznych



# Zawartość

## Wprowadzenie do elektromobilności

---

Cu

- **Wymagania dla magazynowania energii w EV**
- **Typy akumulatorów i ich właściwości**
- **Opis zachowania i obsługi baterii**
- **Systemy zarządzania akumulatorami**

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii



*Sukces elektromobilności jest zależny od technologii magazynowania energii.*

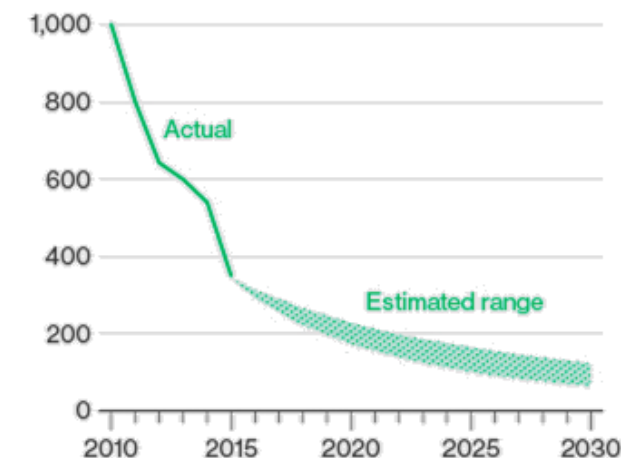
### Wymagania:

- Wysoka gęstość energii
- Wysoka gęstość mocy
- Mała waga
- Mała objętość
- Elastyczna geometria
- Odporna konstrukcja
- Bezp. komponentów
- Przyjazny dla środowiska
- Niski koszt
- Spełnia wszystkie wymagania?

Baterie stanowią jedną trzecią kosztów pojazdu elektrycznego. Jeśli ceny baterii będą nadal spadać, wzrośnie popyt na EV.

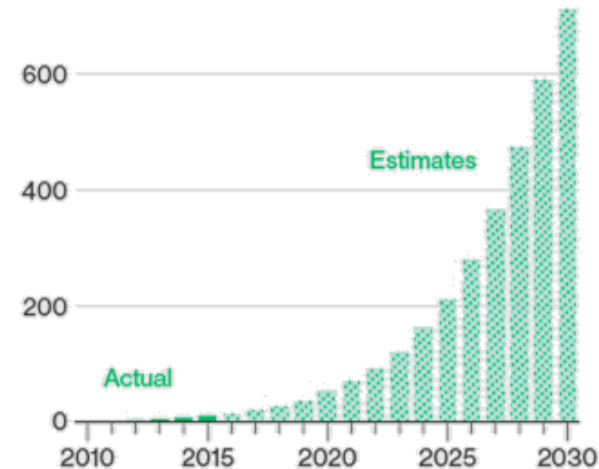
Koszt akumulatora litowo-jonowego

\$1,200 na kWh



Roczne zapotrzebowanie na moc baterii EV

800 GWh



Source: Data compiled by Bloomberg New Energy Finance



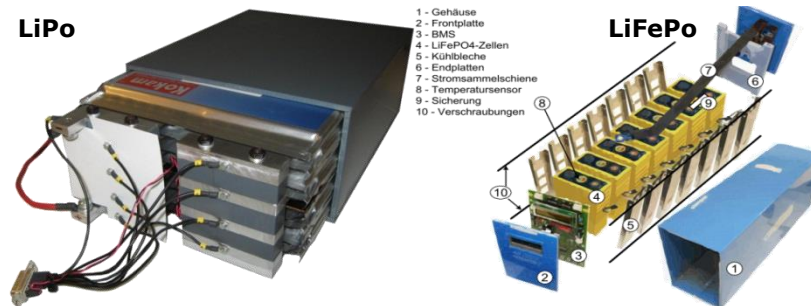
# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii

Cu

Technologia wykonania baterii od zawsze stanowi duży problem w przemyśle samochodów elektrycznych (waga, rozmiar, wytrzymałość, cena ...)

- Akumulatory kwasowo-ołowiowe od początków elektromobilności (1980)
- Baterie NiCd, potem NiMH w EV i PHEV (2000)
- Akumulatory wysokotemperaturowe Na-NiCl (Zebra battery) (2000)
- Baterie litowe (2010)
  - Litowo-polimerowa/ Litowo-żelazowo-fosforanowa



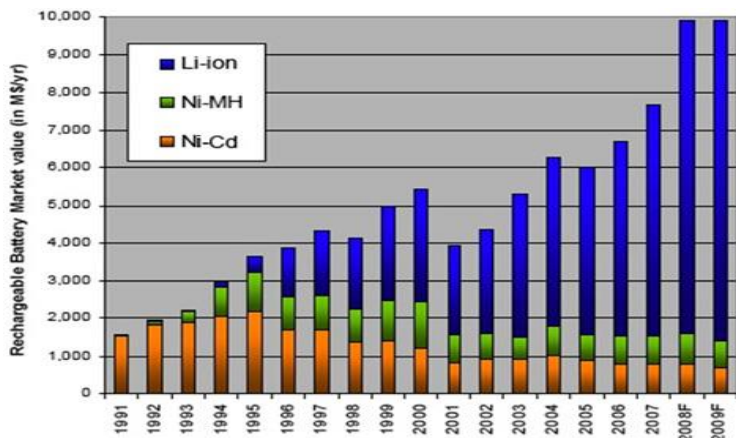
# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, rozwój rynku

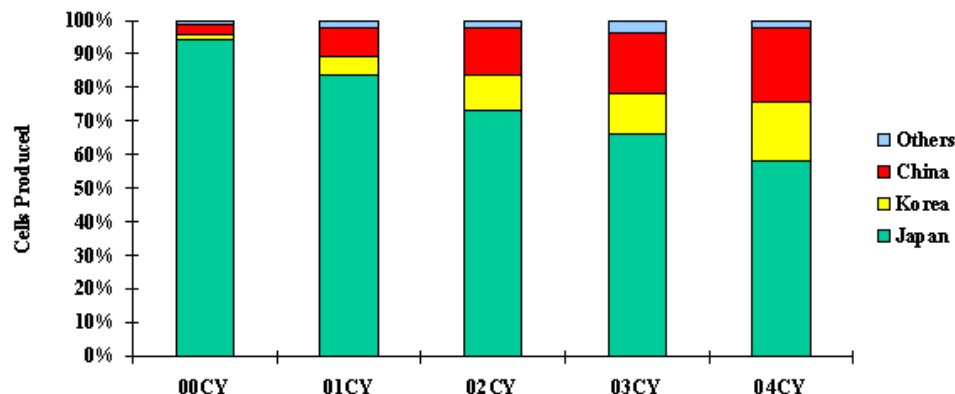


### Rozwój do XX wieku<sup>(1)</sup>

- 1948 akumulatory bezobsługowe (Neumann)
- Lata 70 i 80 rozwiązania dla aplikacji mobilnych (NiMH)
- 1991 dojrzałość rynkowa ogniw litowo-jonowych
- 2003 gwałtowny wzrost w Azji (Chiny, Korea, Japonia)
- Przedsiębiorstwa Europejskie, Amerykańskie - rozwiązania do zastosowań niszowych (np. trakcje)



Udział ogniw w rynku, Źródło: Seeking Alpha, Umicore



Globalny udział w rynku producentów baterii

(CY-calender year) Źródło: batteryuniversity.com

(1)- A. Jossen, W. Weydanz „Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen“

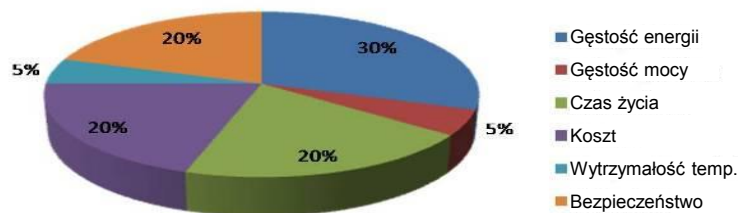
# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, zastosowanie



### Rozwój baterii o dużej pojemności

- Po wprowadzeniu na rynek pojazdów hybrydowych (1-2kWh)
- Konieczna duża moc ładowania i rozładowania
- Trend w kierunku systemów opartych na litie
- Konieczny dodatkowy system zarządzania akumulatorem



### Ważność kryteriów dla akumulatorów pojazdów el.

Źródło: Frankenberg 2010

### Technologie wykonania baterii i ich zastosowania, patrz(1)

Zastosowanie	Ołowi-owe	NiCd	NiMH	Li-Ion	Prima-ry cells
Akumulator rozruchowy	X	x			
Pojazd hybrydowy			X	x	
Trakcja elektryczna	X			X	
Zastosowania solarne	X				
Narzędzia		X	x	x	
Aparaty fot., telefony kom., laptopy			X	X	
Konsumenckie					X

(1)- A. Jossen, W. Weydanz „Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen“

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, zastosowanie



### Zastosowania trakcyjne

- Elementy drugorzędne
- Wysokie poziomy napięcia
- Wysoka wydajność prądowa
- Istotna objętość i ciężar

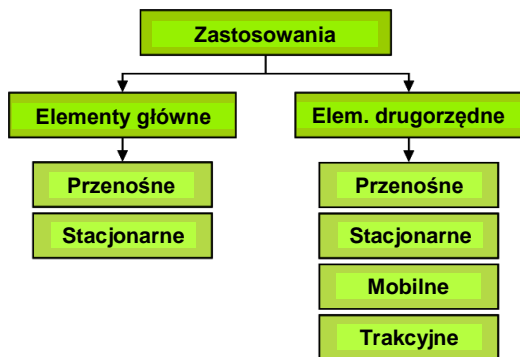


Gęstość energii:			
EV 1-2 kWh	EV 4-40 kWh	EV 25 – 60 kWh	1- 10 MWh
	HEV 2-3,5 kWh	HEV 3-7 kWh	

Zakres napięć:			
12- 24 V	48- 80 V	300 – 800 V	> 300 V

Przeгляд poziomów napięcia i gęstości mocy dla zastosowań trakcyjnych

Źródło: G. Schädlich, Hoppecke, 2010



Obszary zastosowań baterii

# Komponenty pojazdu elektrycznego

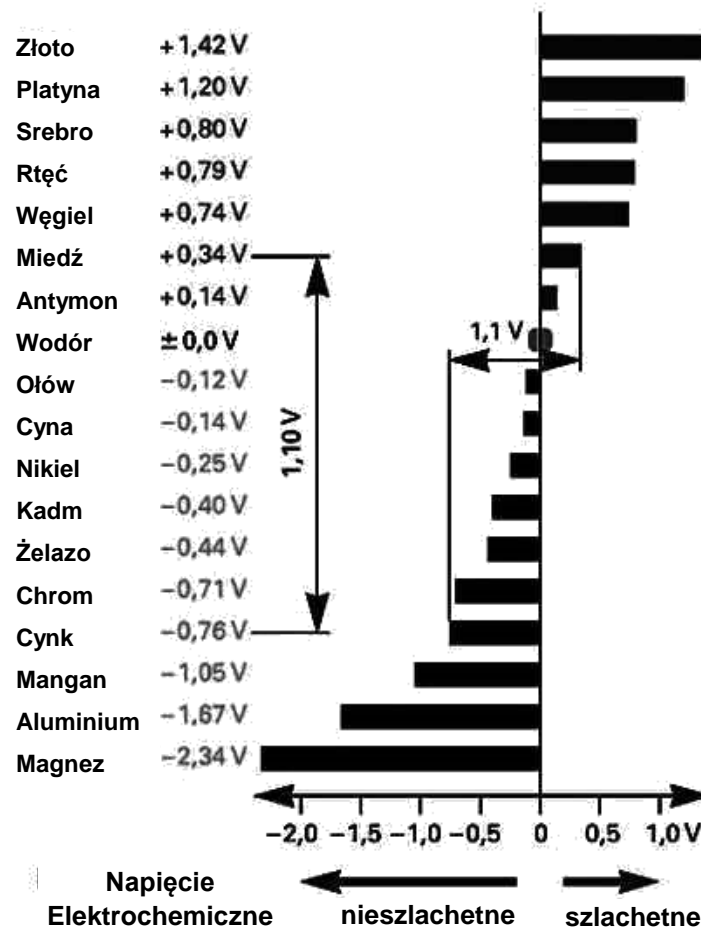
## Magazynowanie energii, podstawy

Cu

### Napięcie elektrochemiczne w obwodzie

- Napięcie między elektrodą metalową i standardową wodorową
- Materiały elektrodowe generują napięcie (dodatnie lub ujemne)
- Określenie napięcia znamionowego

Typ baterii	Napięcie znamionowe ogniwa
Kwasowo-ołow.	2.10 V
NiCd	1.30 V
NiMH	1.32 V
Lithium-Ion	3.7 V
LiFePO <sub>4</sub>	3.4 V





# Komponenty pojazdu elektrycznego

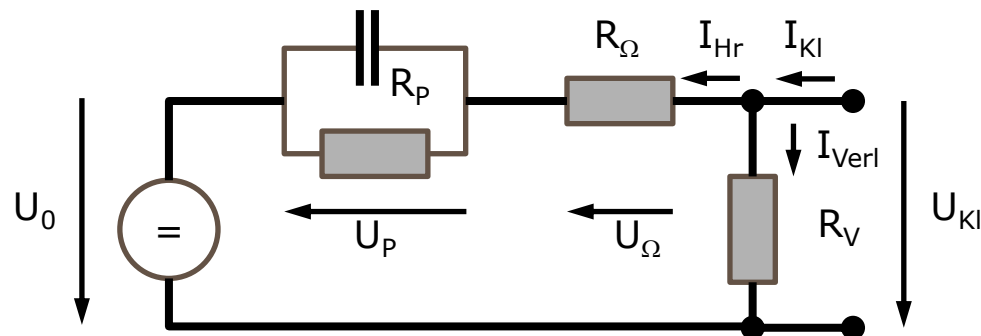
## Magazynowanie energii, podstawy

Cu

Zachowanie baterii zależy od wielu warunków brzegowych, takich jak temperatura, obciążenie, wiek, itp.

### Schemat zastępczy ogniwa baterii

- W pobliżu ładowania wstępnego baterii, wzrasta prąd upływowy (grzanie)
- Straty na rezystancji wewnętrznej zależą od głównego prądu reakcji
- Rezystancja zależy od typu ogniwa, warunków, wieku, itp.



- $U_0$  – napięcie ogniwa
- $U_{Kl}$  – napięcie na zaciskach
- $U_\Omega$  – omowy spadek napięcia
- $U_p$  – przepięcie polaryzacji
- $R_\Omega$  – omowa rezystancja wewnętrzna
- $R_p$  – rezystancja polaryzacji
- $R_v$  – rezystancja strat
- $I_{Kl}$  – prąd na zaciskach
- $I_{Hr}$  – główny prąd reakcji
- $I_{Verl}$  – straty mocy

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, podstawy

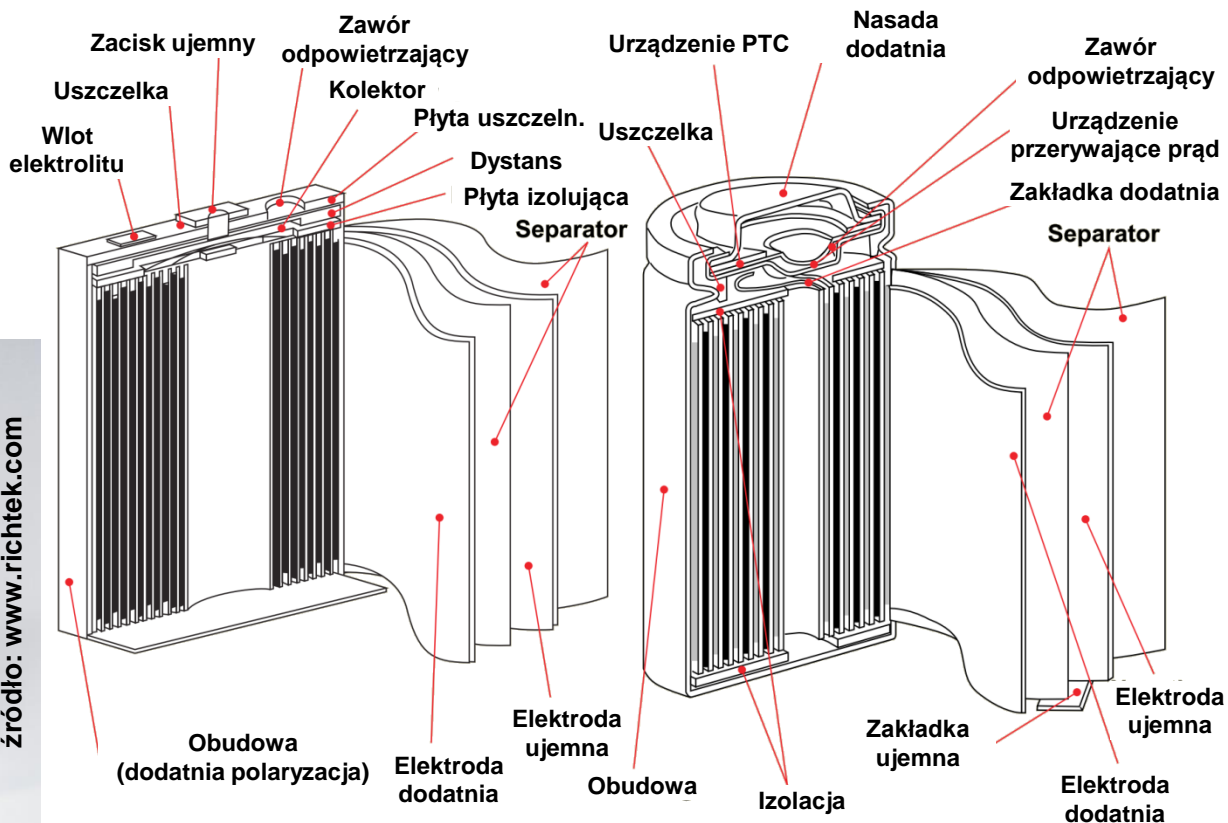


### Rodzaje konstrukcji

- Zakres pracy
- Wymagania
- Podstawowa struktura jest taka sama



źródło: [www.richtek.com](http://www.richtek.com)



Źródło: SANYO

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, podst. wartości

Cu

### Napięcie znamionowe

- Średnie napięcie rozładowania w warunkach normalnych
- Stałe napięcie znamionowe
- Może wzrosnąć wraz z rozwojem technologicznym (np., Li-Ion)

### Nominalny prąd i temperatura dla zastosowań

Źródło: A. Jossen, W. Weydanz „Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen”

Zastosowanie	Prąd znamionowy	Temperatura znamionowa
Baterie rozruchowe	0.2C-Rate	20°C
Baterie stacjonarne	1/20C-Rate	27°C
Baterie trakcyjne	1/5C-Rate	30°C
Baterie solarne	1/100C-Rate	25°C

### Napięcia znamionowe baterii

Ogniwo	Napięcie
lead-acid	2,0V
NiCd	1,2V
NiMH	1,2V
Na/NiCl (ZEBRA)	2,58V
LiFePO <sub>4</sub>	3,3V
Li-Ionen	3,7V

Pojemność znamionowa  $C_N(T_N) = \int_0^t I_N(t) \cdot dt$

- Ładunek w warunkach nominalnych
- Określone zgodnie ze standardem
- Specyfikacja producenta
- Może się różnić ze względu na tolerancję

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazyn. energii, sprawność i pojemność

Cu

### Pojemność

- Wielkość ładunku
- Zależy od prądu rozładowania, temperatury i wieku

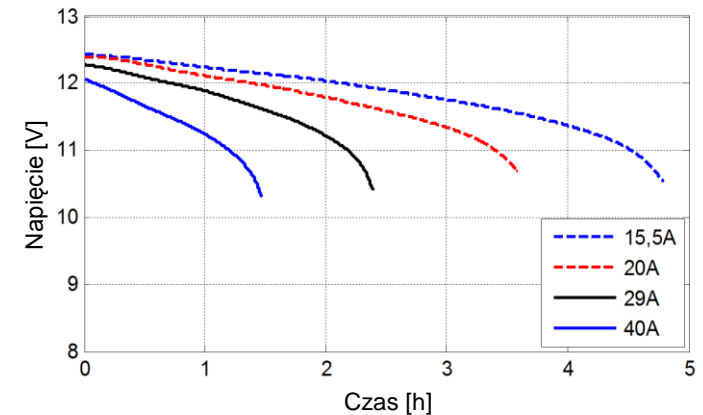
$$C(\mathcal{Q}) = \int_0^t I(t) \cdot dt$$

### Sprawność

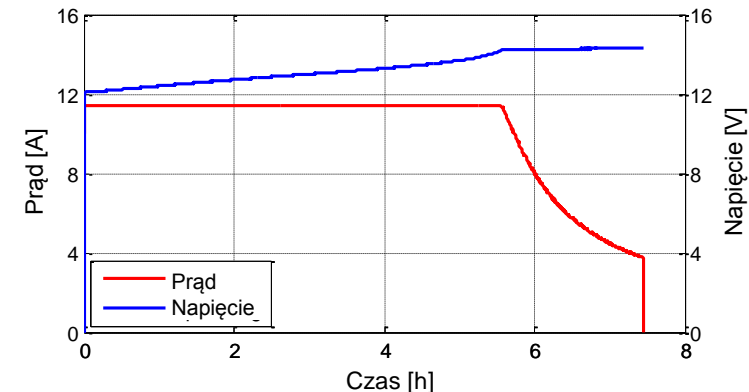
- Stosunek usuniętych  $Q_E$  do pobranych  $Q_L$  ładunków (sprawność coulombowska)
- Odwrotność jest równoważna współczynnikowi ładowania LF
- Stosunek usuniętej  $E_E$  do pobranej  $E_L$  energii (sprawność energetyczna)

$$\eta_{Ah} = \frac{Q_E}{Q_L} = \frac{1}{LF}$$

$$\eta_{Wh} = \frac{E_E}{E_L}$$



Zmierzone krzywe rozładowywania baterii kwasowo-  
ołowiowych



Zmierzone krzywe ładowania baterii kwasowo-  
ołowiowych

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, State-of-Charge

Cu

### Stan naładowania - State-of-Charge (SoC)

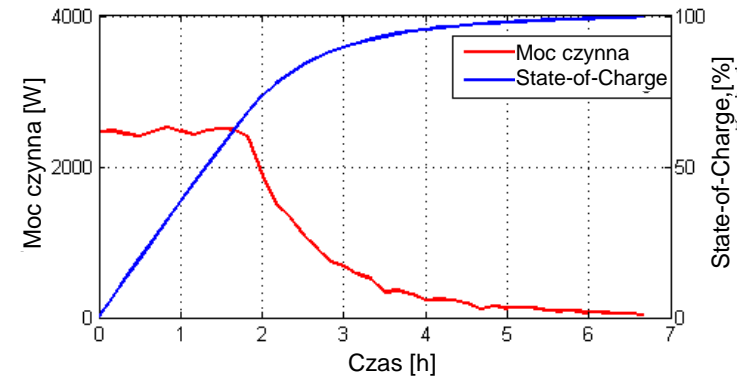
- Pozostała pojemność znormalizowana względem pojemności całkowitej (0,1 or 0, 100%)
- Pośrednio pokazuje pozostały czas i zakres
- Istnieje wiele metod określania SoC (licznik Coulomba, modele napięcia obwodu otwartego)

### Wpływ na SoC

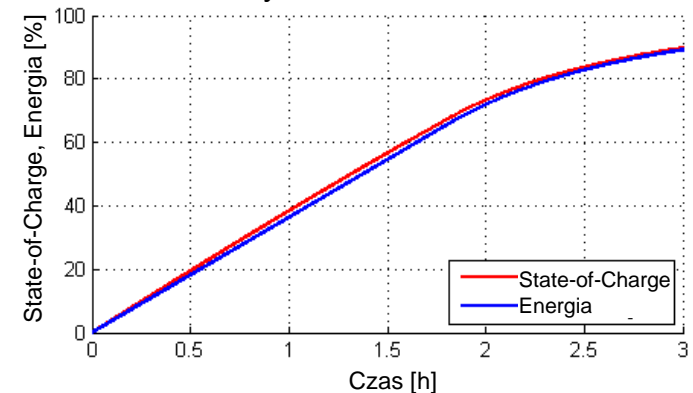
- Stan starzenia
- Prąd ładowania i rozładowania
- Temperatura
- Zmierzona pojemność  $C_m$

$$Q_b = \int_t I_{+-} dt$$

$$SoC = \frac{C_m - Q_b}{C_m}$$



SoC i proces ładowania E-pojazdu z bateriami kwasowo-ołowiowymi



Różnica między energią i wzrostem SoC

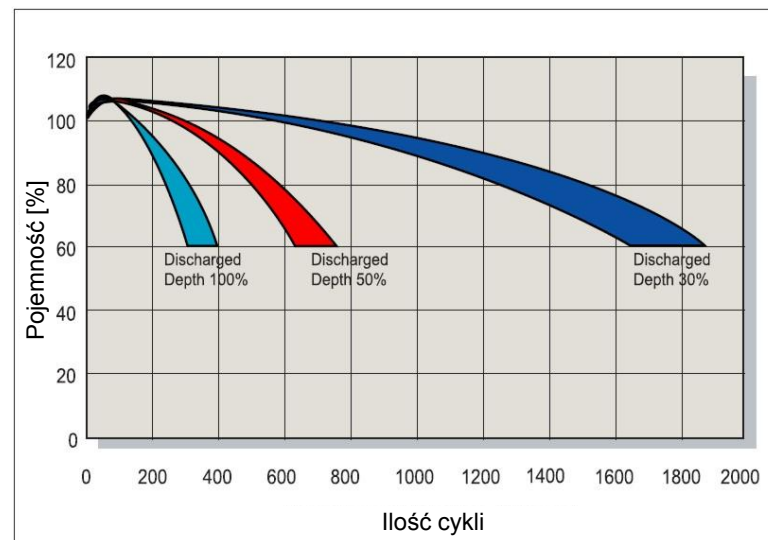
# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, State-of-Health



### Wpływ na SoC

- Stan starzenia
- Prąd ładowania i rozładowania
- Temperatura
- Zmierzona pojemność  $C_m$

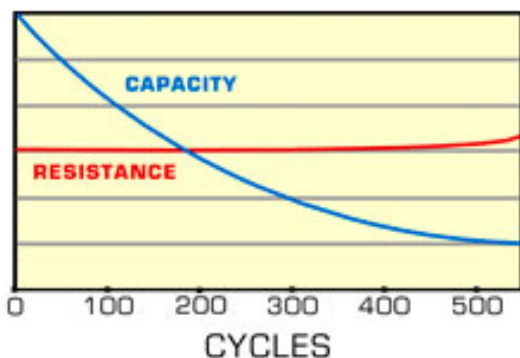


Cykl życia baterii VRLA,  
Źródło: CSB-Battery EVH12150

$$SoH = \frac{C_m}{C_N} \cdot 100\%$$

### Stan zdrowia - State-of-health (SoH)

- Stosunek pojemności zmierzonej i znamionowej
- Wartość graniczna 80% (60, 70% również możliwe)
- Wartość graniczna odpowiada końcowi cyklu życia



Źródło: www.cadex.com

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, samorozładowanie

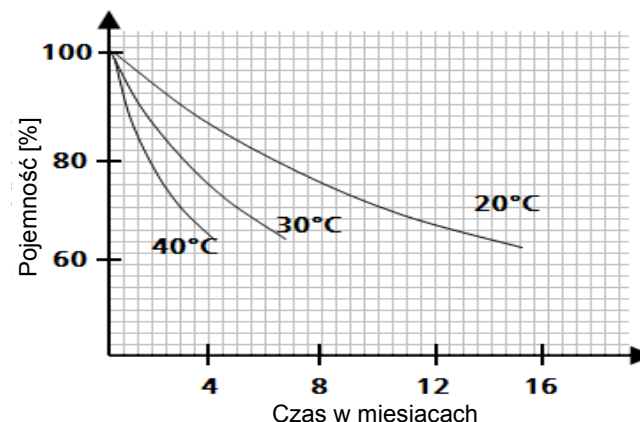


### Samorozładowanie

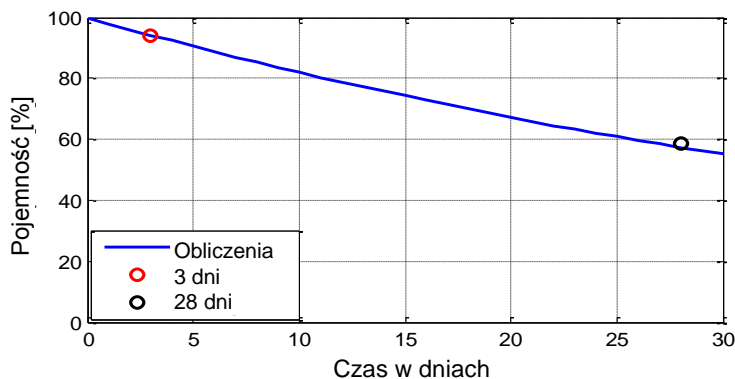
- Czasowo zależna utrata ładunku
- Może uszkodzić ogniwo

### Powodowane przez

- Podłączony odbiornik (np. BMS)
- Reakcje niepożądane
- Zwarcia wewnętrzne



Ilustracja typowego samorozładowania



Samorozładowanie baterii LiFePO<sub>4</sub>

### Określenie samorozładowania

- Ładowanie, rozładowanie, pauza
- Ewentualne samorozładowanie



# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, metody ładowania



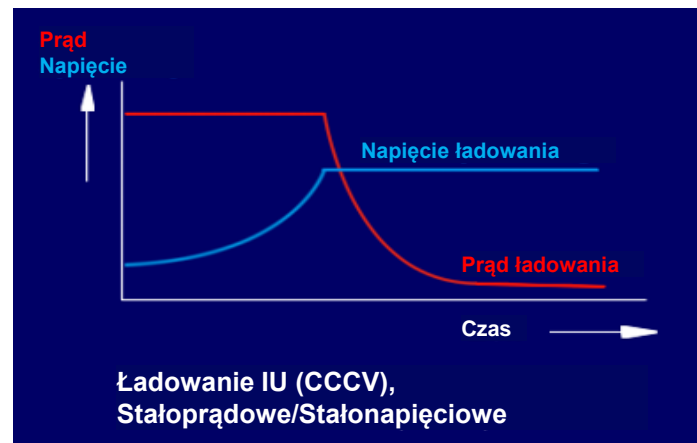
### Przegląd metod ładowania

Źródło: Battery Technology Handbook

Charakterystyka	Skrót	Przebieg czasowy	Zastosowanie
	L		Częściowe ładowanie Pełne ładowanie Przeładowanie
	U		Tylko w ograniczonym czasie Monitorowanie temperatury
	W		Tylko w ograniczonym czasie
	Ia		Dla dużych ogniw Szybkie ładowanie
	IOIa		Ładowanie częściowe Dalsze ładowanie ograniczonym prądem
	W'a		Dla ładowania Ia z niewielkim nakładem techn.
	WOW'a		Dla ładowania IOIa z niewielkim nakładem techn.

### Metoda ładowania IU

- Ładowanie stałym prądem
- Po osiągnięciu napięcia końca ładowania, ładowanie stałym napięciem
- Koniec ładowania oceniony na podstawie kryterium czasu lub energii elektrycznej
- Zastosowanie m.in. w akum. ołowiowych, Li-ion, Na / NiCl



### Metoda ładowania IU

Źródło: [www.itwissen.info](http://www.itwissen.info)



# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, metody testowania

Cu

### Testowanie akumulatorów:

- Zmienność danych producenta
- Określenie pojemności, charakterystyki temperaturowej, trwałości...
- Dopasowanie baterii do systemu docelowego
- Normy dotyczące zastosowań i typów baterii

$$\text{Pojemność: } C = \int_0^t I(t) \cdot dt$$

$$\text{Sprawność: } \eta_{Ah} = \frac{Q_E}{Q_L}$$



Stanowisko testowania baterii do 1000kW (do 1000A),  
Źródło: FuelCon



Inne formy prezentacji  
arkuszy danych



Stanowisko testowania baterii IEC, Źródło: Digitron

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, test wytrzymałości

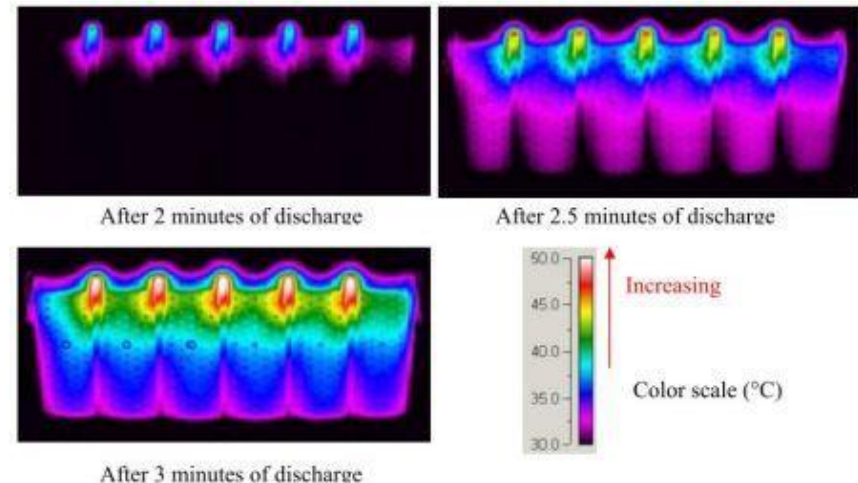
Cu

### Temperatura wpływa na:

- Samorozładowanie
- Pojemność
- Czas życia
- Prąd ładowania
- Uszkodzenie ("thermal runaway")



Stanowisko testowe z komorą o regulowanej temp.



Wzrost temperatury baterii NiMH pojazdu hybrydowego przy prądzie 100A

Źródło: Electro-Thermal Modeling to improve Battery design

### Test temperaturowy

- Komora o regulowanej temp.
- Termografia w podczerwieni
- Sugerowane IEC 21/455/CD

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazyn. energii, system zarządzania baterią

Cu

### Akumulator, jako system złożony wymaga BMS Battery Management System

- Monitorowanie parametrów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo (T, I, U)
- Równoważenie ogniw
- Estymacja stanu naładowania (SoC)
- W pewnych warunkach funkcje i interfejsy diagnostyczne

### Funkcje zaawansowane

- Zarządzanie obciążeniem
- Historia
- Uwierzytelnienie



Kluczowe funkcje BMS,  
Źródło: courtesy of Compact Power Inc.

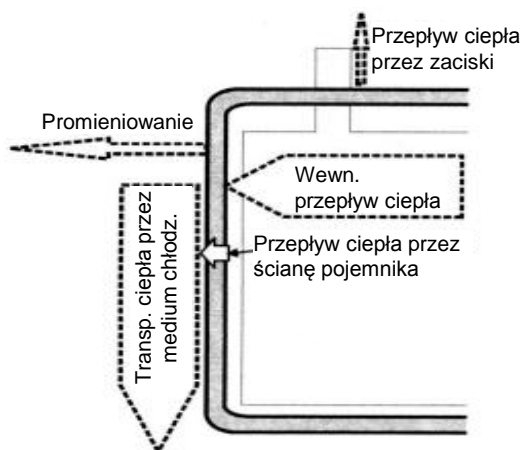
# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, BMS

Cu

### Zarządzanie temperaturą baterii

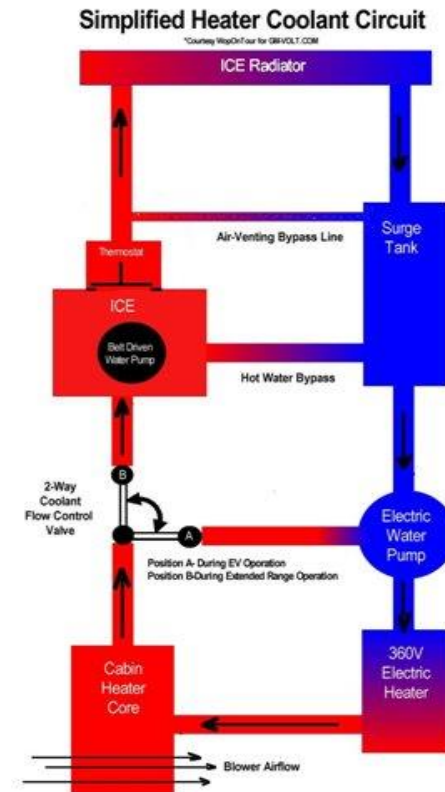
- W zakresie dopuszczalnej temperatury pracy
- Chłodzenie ciepła wytworzonego podczas rozładowywania
- Ogrzewanie przy niskiej temperaturze otoczenia i/lub wysokiej temperaturze pracy baterii



Sposoby usuwania ciepła z baterii,  
Źródło: Battery Technology Handbook 2008



Bateria PH Toyota Prius z wewnętrznym chłodzeniem,  
Źródło: Autonews



System chłodzenia i ogrzewania baterii w Chevrolet Volt,  
Źródło: //gm-volt.com

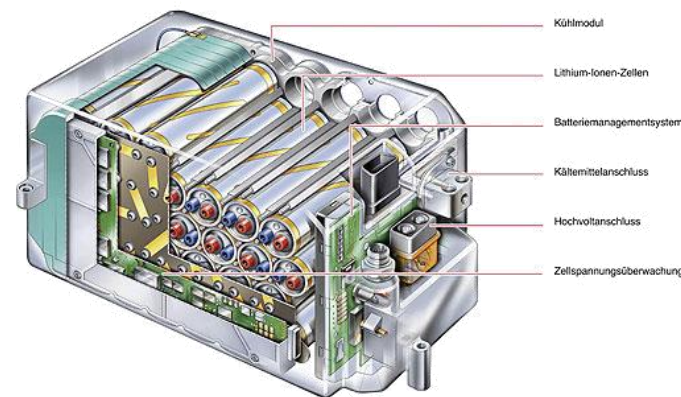
# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, bateria Lithium-ion



### Li-ion jako akumulator trakcyjny

- W przypadku awarii energia cieplna jest sześć razy większa od energii elektrycznej
- Nie jest iskrobezpieczny, dlatego zredukowano zastosowanie w e-mobilności
- Preferowane do zastosowań trakcyjnych ze względu na wyższą gęstość energii, brak potrzeby konserwacji i trwałość



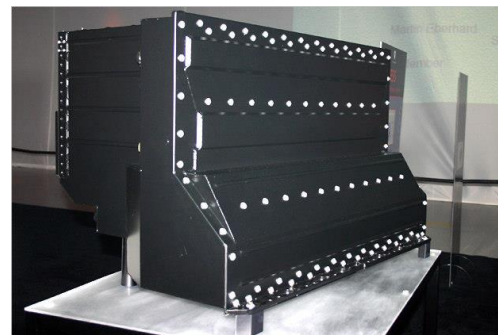
Konstrukcja Li-ion dla pojazdów hybryd.,  
Źródło: [www.automobil-produktion.de](http://www.automobil-produktion.de)



Bateria Li-Ion dla E-Mini  
Źródło: flickR, BMW



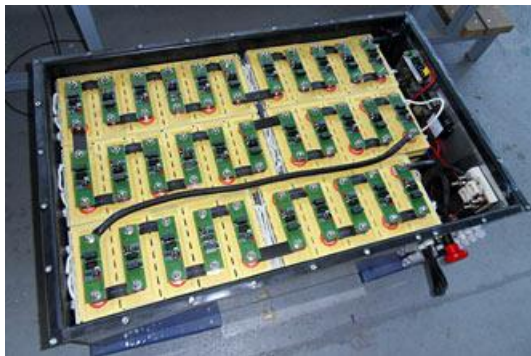
Ogniwo Li-ion dla zastosowań automotive, [Automedienportal.net/Bosch](http://Automedienportal.net/Bosch)



Bateria 450kg dla Tesla Roadstar,  
RW=365km, koszt 13.300€, Źródło: heise Autos

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazyn. en., bat. litowo-żelazowo-fosforanowa



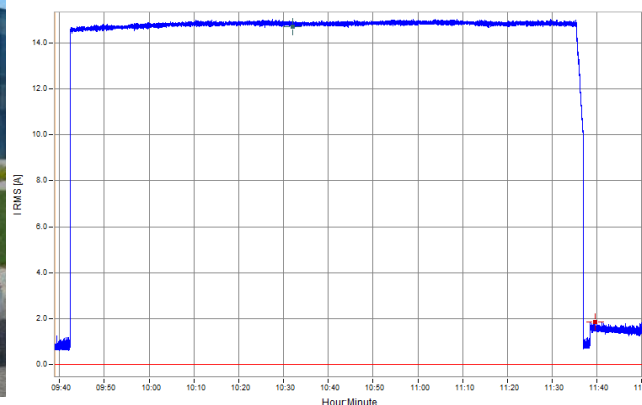
LiFePO<sub>4</sub>- układ baterii  
Źródło: aquawatt



LiFePO<sub>4</sub>- układ baterii GAIA  
Źródło: www.solar-sicherheit.de



Limo-Green hybrid



Samochód elektryczny Stromos i zmienność prądu podczas ładowania

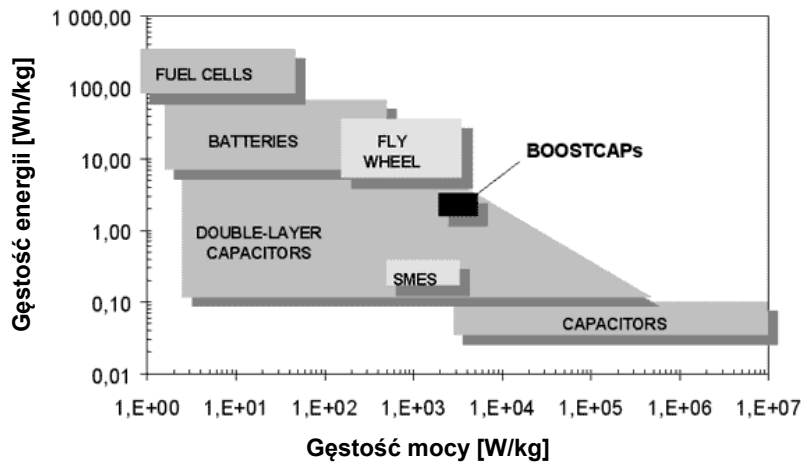


Akumulator LiFePO<sub>4</sub> (8,6kWh) za tylnym siedzeniem Jaguar Limo-Green, Źródło: www.motorvision.de

# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, gęstość en. i mocy

Cu



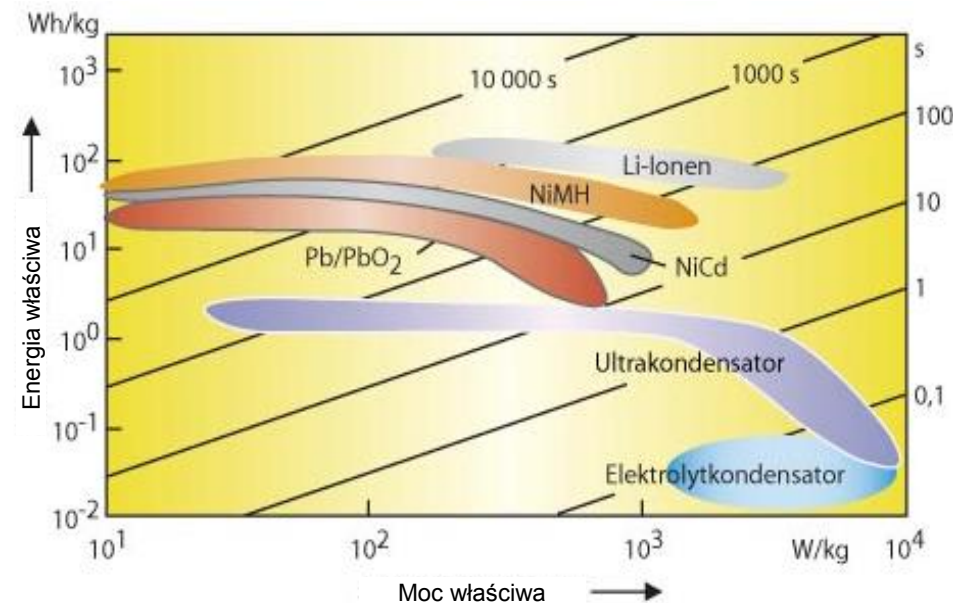
Wykres Ragone dla różnych technologii magazynowania en. Źródło: Maxwell Technologies

### Typowe wartości charakterystyczne

- Energia właściwa pomiędzy 20 i 200Wh/kg
- Moc właściwa do 5kW/kg
- Energia zależna od objętości między 50 i 500 Wh / l

### Charakterystyka energii i wydajności

- Ocena technologii
- Wykres Ragone



Wykres Ragone dla różnych technologii baterii

Źródło: elektroniknet.de

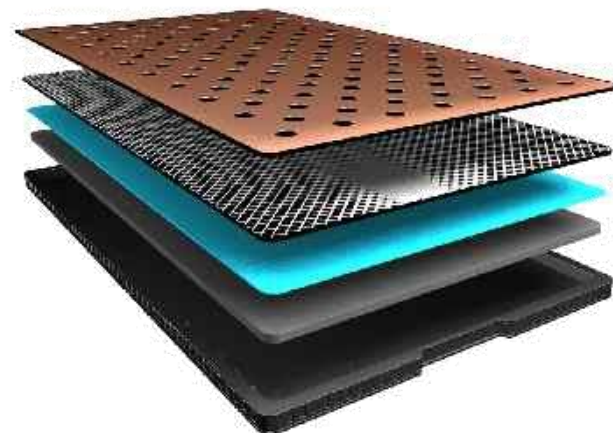
# Komponenty pojazdu elektrycznego

## Magazynowanie energii, rozwój

Cu

### Dziedziny rozwojowe

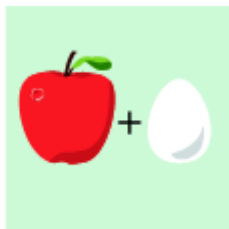
- Materiały katodowe
- Technologia zapewnienia bezpieczeństwa
- Czas życia
- System zarządzania baterią BMS
- Redukcja kosztów przy produkcji seryjnej
- Technologia Start-Stop dla hybryd i pojazdów elektrycznych



Większa gęstość energii przy zastosowaniu ogniw cynkowo-powietrznych, Źródło: ReVolt



koszty



Cel konsumenta

### Zastosowanie nanotechnologii

- Powiększenie powierzchni elektrody
- Optymalizacja transportu jonów



# Dziękuję za uwagę

Aby uzyskać więcej informacji, prosimy o kontakt:  
[michal.ramczykowski@copperalliance.pl](mailto:michal.ramczykowski@copperalliance.pl)



Cu

Copper Alliance