

# Li-iónové batérie a ďalej

Karol Fröhlich

Centrum pre využitie pokročilých materiálov  
Slovenská akadémia vied, v.v.i.



## Past: Alessandro Volta cell

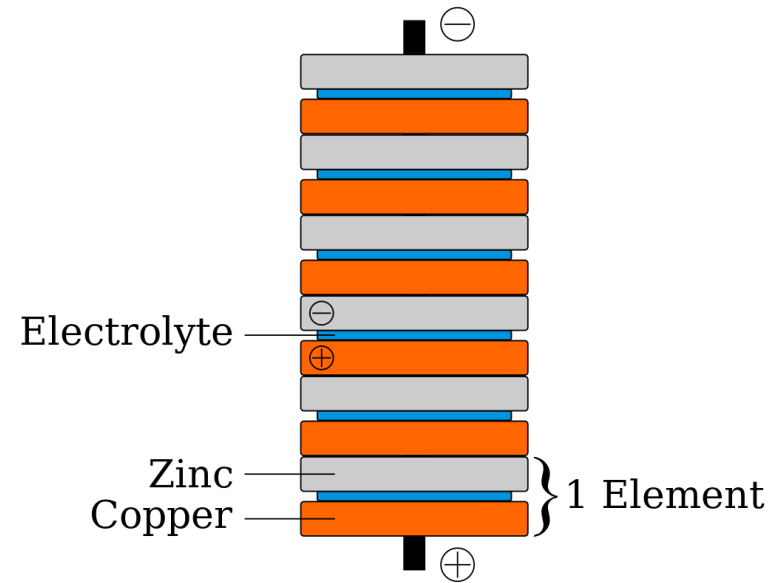
Alessandro Volta vynašiel elektrochemický Voltov článok v roku 1799.

Dokázal, že elektrický prúd môže vzniknúť následkom **chemickej reakcie**.

Jeho pokusy viedli k vzniku a rozvoju elektrochémie.

Na počesť jeho práce mu v roku 1810 udelil Napoleon Bonaparte titul gróf.

Redoxné reakcie (redukcia-oxidácia) sú zodpovedné za fungovanie Voltovho článku.



# História Li-iónových batérií

## Základný výskum: 1976-1990

Dr. S. **Whittingham** (Stanford Univ., Exxon): the first rechargeable "lithium-ion battery,,. (1976)

Prof. J. B. **Goodenough** (Oxford Univ.) and prof. K. Mizushima (Tokyo Univ.): demonstrated **discharge-charge cycling** of a 4 V cell made with lithium cobalt dioxide ( $\text{LiCoO}_2$ ) as the positive electrode and lithium metal as the negative electrode. This innovation provided the positive electrode material, which eventually became a component in the first commercial rechargeable lithium-ion battery. (1979)

**Dr. A. Yoshino** (Asahi Kasei) demonstrated a **rechargeable Li-ion battery** using carbonaceous material (acetylene black), into which lithium ions could be inserted, as the negative electrode (anode) and lithium cobalt oxide ( $\text{LiCoO}_2$ ) as the positive electrode (cathode). (1985)

**And many others...**

## Využitie v prenosných zariadeniach (portable applications): 1991-2007

**Sony** and **Asahi Kasei**: commercial sale of the first rechargeable lithium-ion battery. The battery employed soft carbon anode and  $\text{LiCoO}_2$  cathode. (1991)

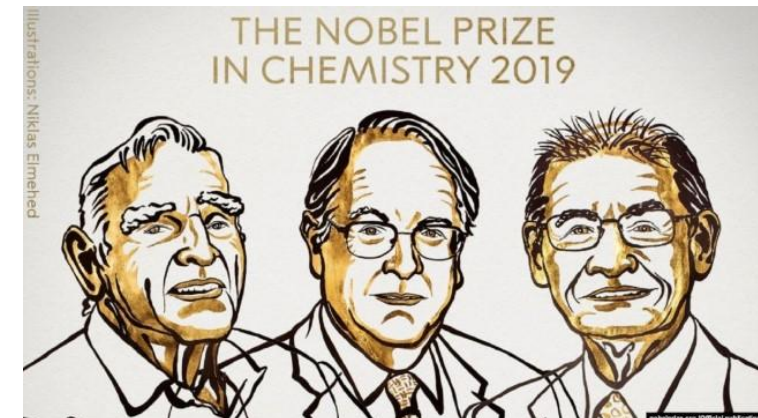
## Využitie v elektromobiloch

The launch of **Tesla** electric vehicle (2008)

Lithium nickel manganese cobalt oxide (**NMC**) cathodes, developed at Argonne National Laboratory, USA, (2011)

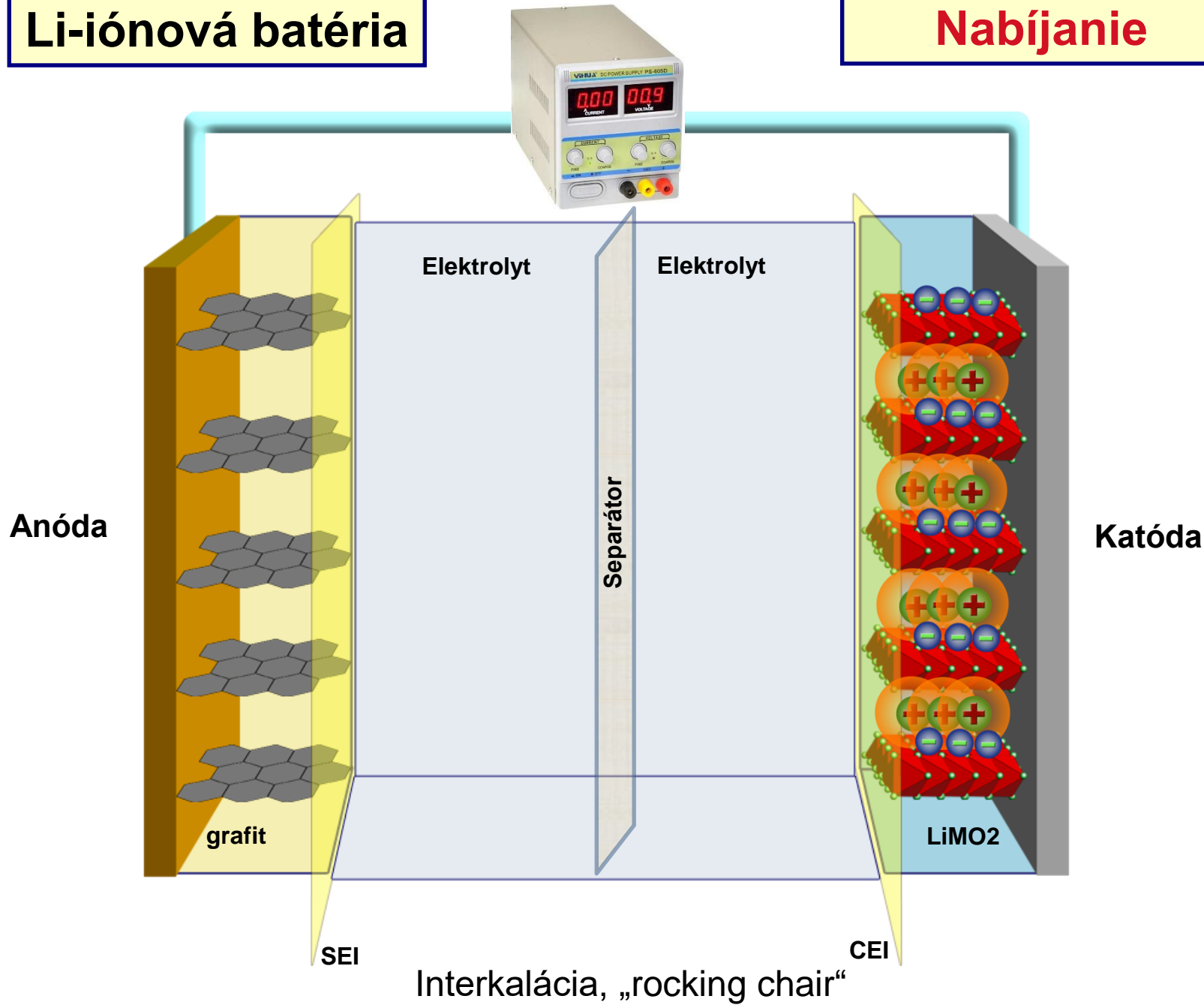
## Nobelova Cena za chémiu 2019

was given to **John. B. Goodenough**, **Stanley Whittingham** and **Akira Yoshino** "for the development of lithium ion batteries".



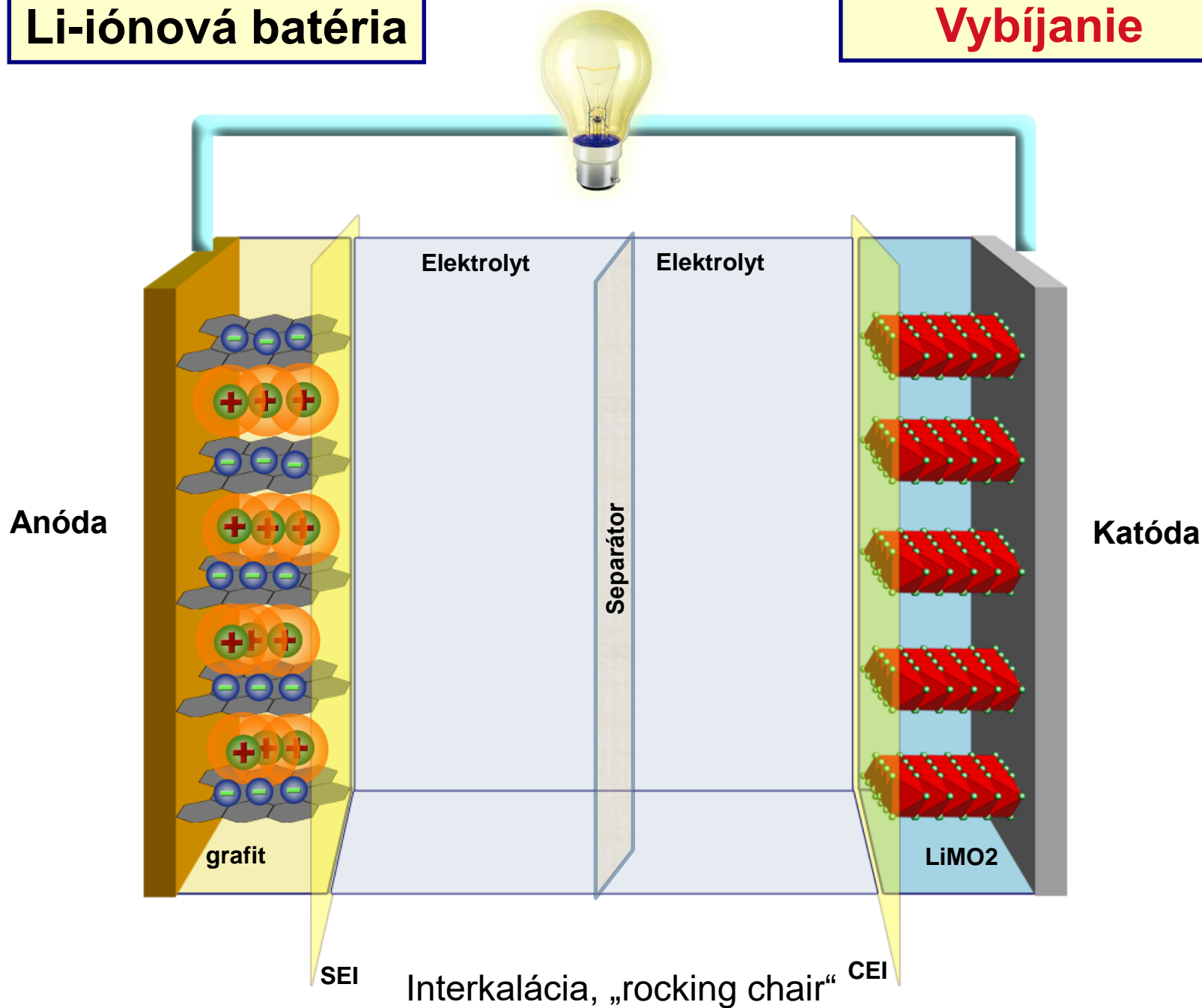
Li-iónová batéria

Nabíjanie



Li-iónová batéria

Vybíjanie



# Výskum a vývoj Li-iónových batérií vo svete

## Súčasný stav:

**Li-ion batéria:** Anóda grafit (+Si), katóda  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (NMC),  $\text{LiFePO}_4$  (LFP)

Hustota energie: 150 až 250 Wh/kg, 250 až 400 Wh/l

Elektrolyt:  $\text{LiPF}_6$  + EC/DMC, kvapalina  
(ethyl carbonate + dimethyl carbonate)

Nevýhoda: riziko horenia elektrolytu

## Budúcnosť:

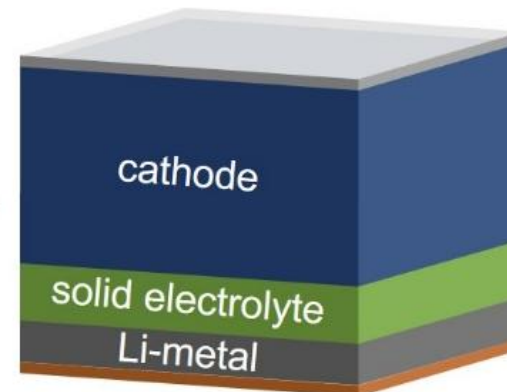
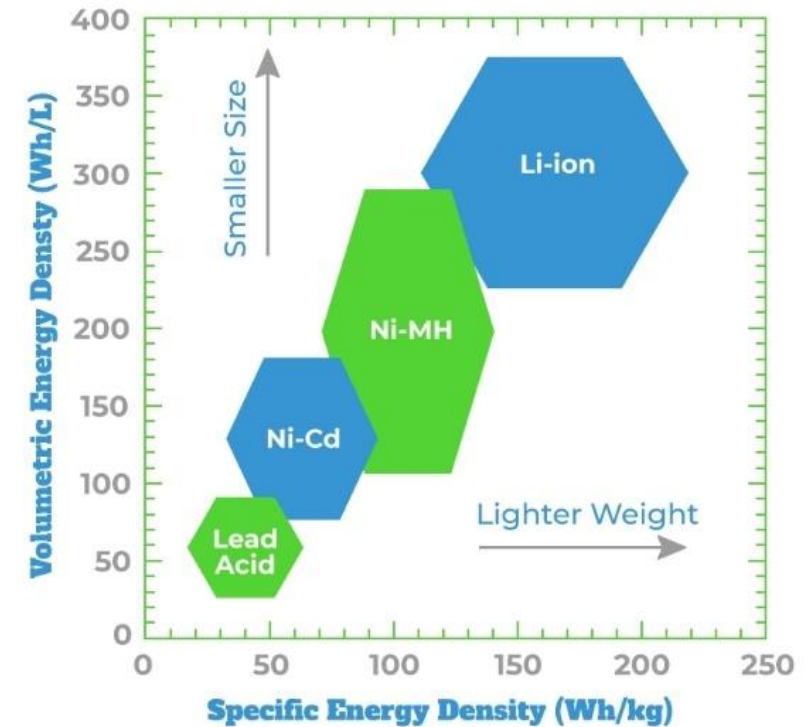
### - Li-batérie s tuhým elektrolytom

Anóda: Li-metal/kremík,  
elektrolyt: keramika (oxidy), polyméry, sulfidy

Katóda:  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (NMC)

Hustota energie: 250-500 Wh/kg, zvýšená bezpečnosť

Problémy: mechanická stabilita pri nabíjaní/vybíjaní



## Výskum a vývoj batérií vo svete

### - Batérie Li-S

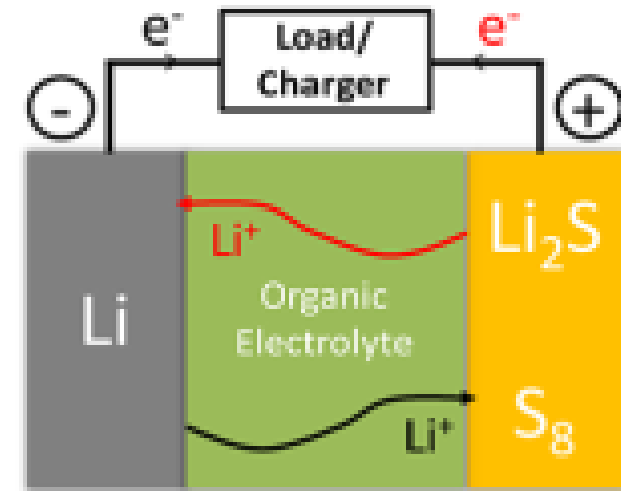
Anóda: Li-metal

Katóda: S-carbon

Elektrolyt: kvapalný: LiTFSI (bis(trifluoromethanesulfonyl)imide  
v cyklických éteroch (dioxolane, dimetyl éter)  
tuhý: sulfidy, polyméry

Hustota energie: až 400 Wh/kg

Problémy: tvorba rozpustných polysulfidov, degradácia  
nestabilita kontaktov anóda/elektrolyt/katóda



### - Na-ion batérie

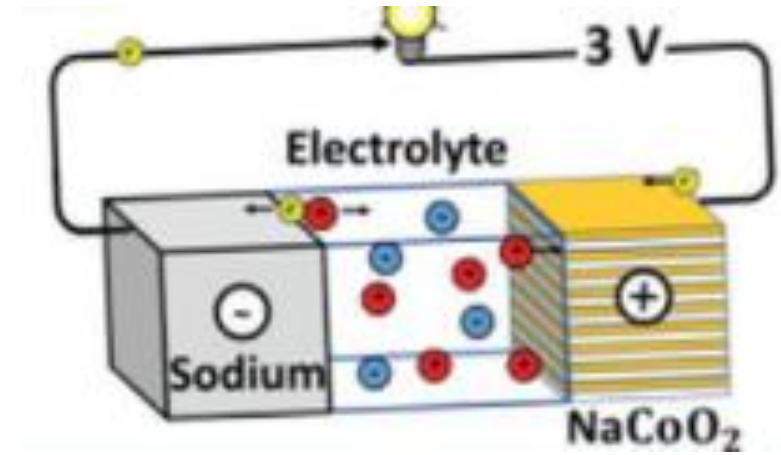
Anóda: uhlík (hard carbon, amorfny, negrafitizovateľny)

Katóda: vrstvené oxidy (NaNiFeMnO), NaFePO<sub>4</sub>, (Na<sub>2</sub>FeFe(CN))

Elektrolyte: kvapalný: NaPF<sub>6</sub>, NaTFSI v etylén karbonáte, dimetyl karbonáte  
- tuhý: NASICON (Na superionic conductor), sulfidy

Hustota energie: 160 Wh/kg

Výhody: Výskyt sodíka, dobrá cyklovateľnosť, fungovanie aj pri nízkych teplotách



# Výskum a vývoj batérií na Slovensku

## Centrum pre využitie pokročilých materiálov SAV, v.v.i., CEMEA

Dr. Peter Šiffalovič, Dr. Karol Frohlich

- vývoj anódy s vysokým obsahom kremíka, EU projekt FULL-MAP
- výskum a vývoj batérií Li-S, EU projekt ANGeLiC
- ochranné vrstvy elektród batérií ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- batérie s tuhým elektrolytom, národný projekt ZERO, EU projekt SEATBELT

## Fakulta elektrotechniky a informatiky STU,

Laboratórium batériových technológií, doc. Ing. Miroslav Mikolášek, PhD

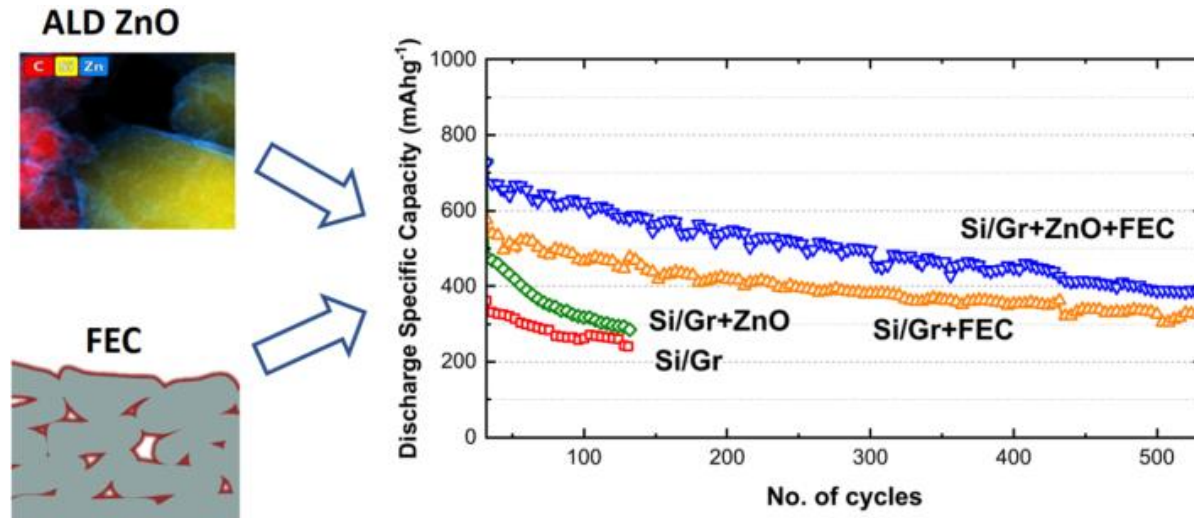
- Elektrická diagnostika batérií a superkapacitorov,
- Analýza mechanizmov degradácie batérií
- Stratégie rýchleho nabíjania
- Špeciálne diagnostiky
- Simulácia a modelovanie Li ion batérií
- Regenerácia batérií

## Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Košice, Prírodovedecká fakulta,

Ústav Chemických vied, Doc. Andrea Fedorková Straková

- výskum a vývoj batérií Li-S,
- elektródy pre Li-iónové batérie
- redoxné prietokové batérie pre uskladňovanie energie

## Vývoj Li-iónových batérií v CEMEA SAV



Zvýšenie počtu nabíjání/vybíjání kremík/grafitovej anódy pokrytím ultratenkou vrstvou ZnO využitím technológie nanášania po atomárnych vrstvách a pridaním aditíva FEC

Patent application 2023: priority national patent and PCT (Patent cooperation treaty)

Publication in 2025: **Silicon/Graphite Anode Performance Improvement: A Combination of Atomic Layer-Deposited ZnO Coatings with a Fluoroethylene Carbonate Additive**

ACS **APPLIED**  
ENERGY MATERIALS

Published as part of ACS Applied Energy Materials *special issue* "Advanced Thin Films for Energy and Sustainable Applications".

Prangya P. Sahoo, Alper Güneren, Boris Hudec, Matej Mičušík, Peter Švec, Jr., Magdaléna Precnerová, Ahmed Nada, Zoltán Lencéš, and Karol Fröhlich\*

**Vďaka za pozornosť**