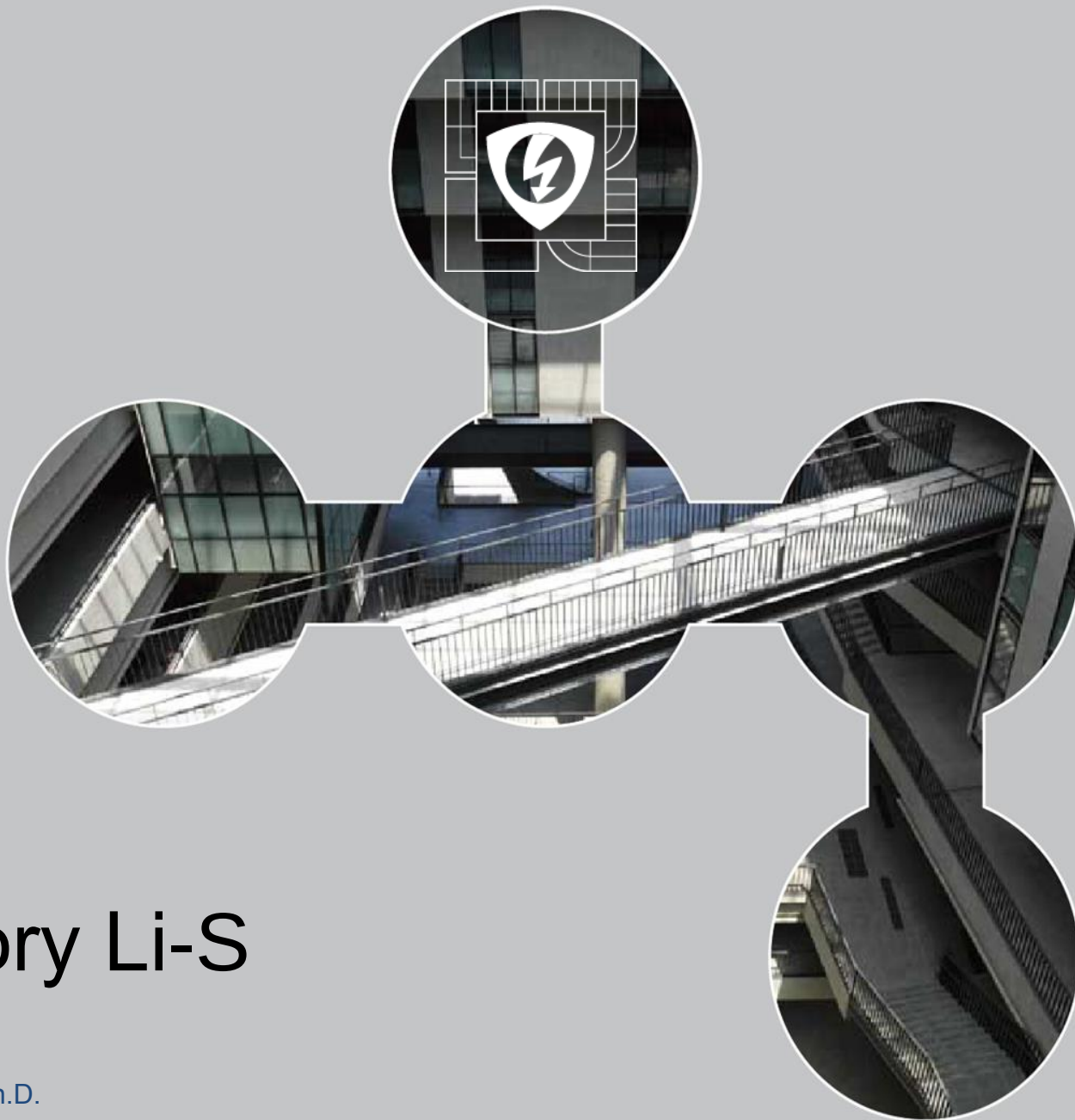
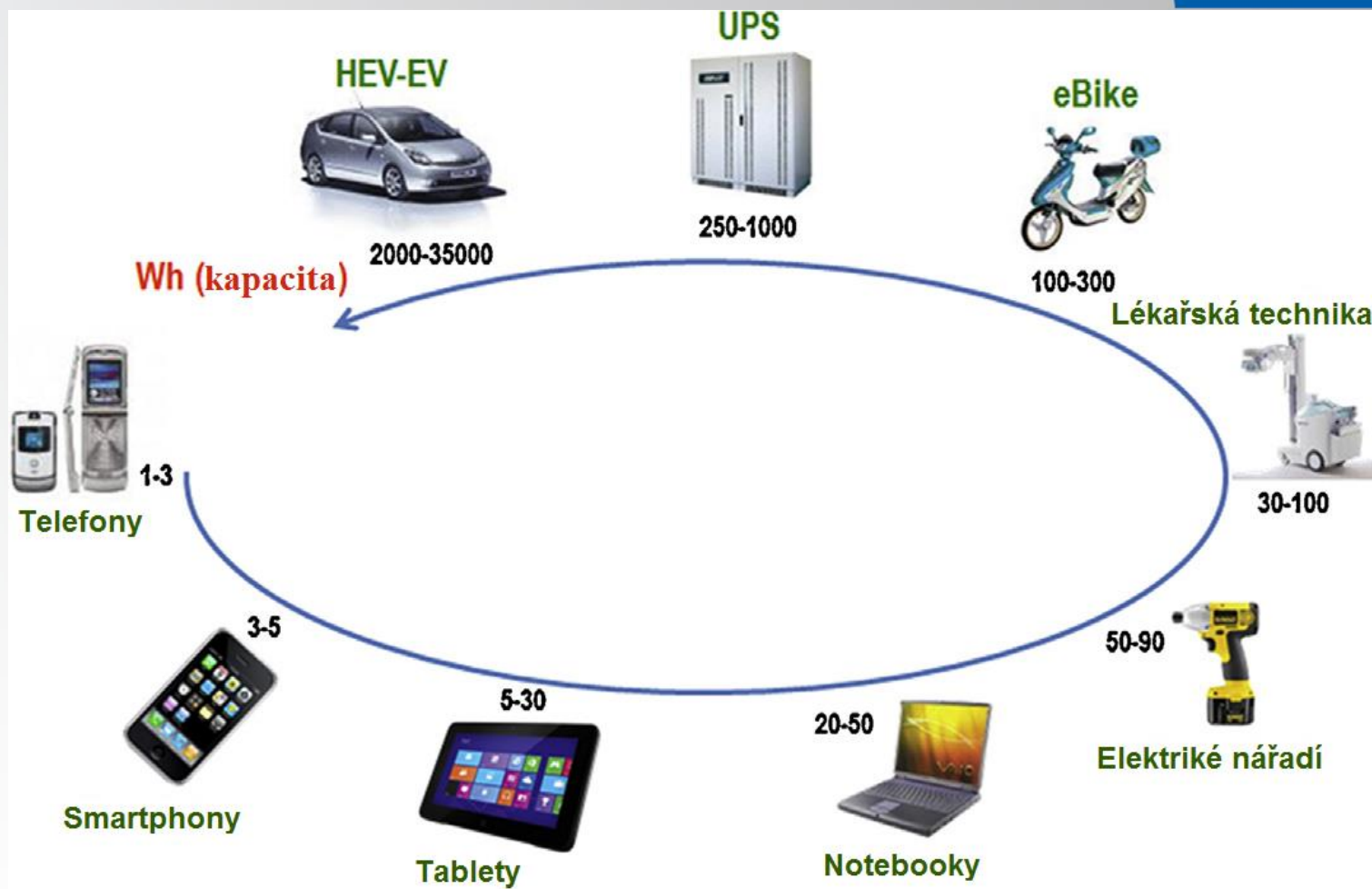




Akumulátory Li-S

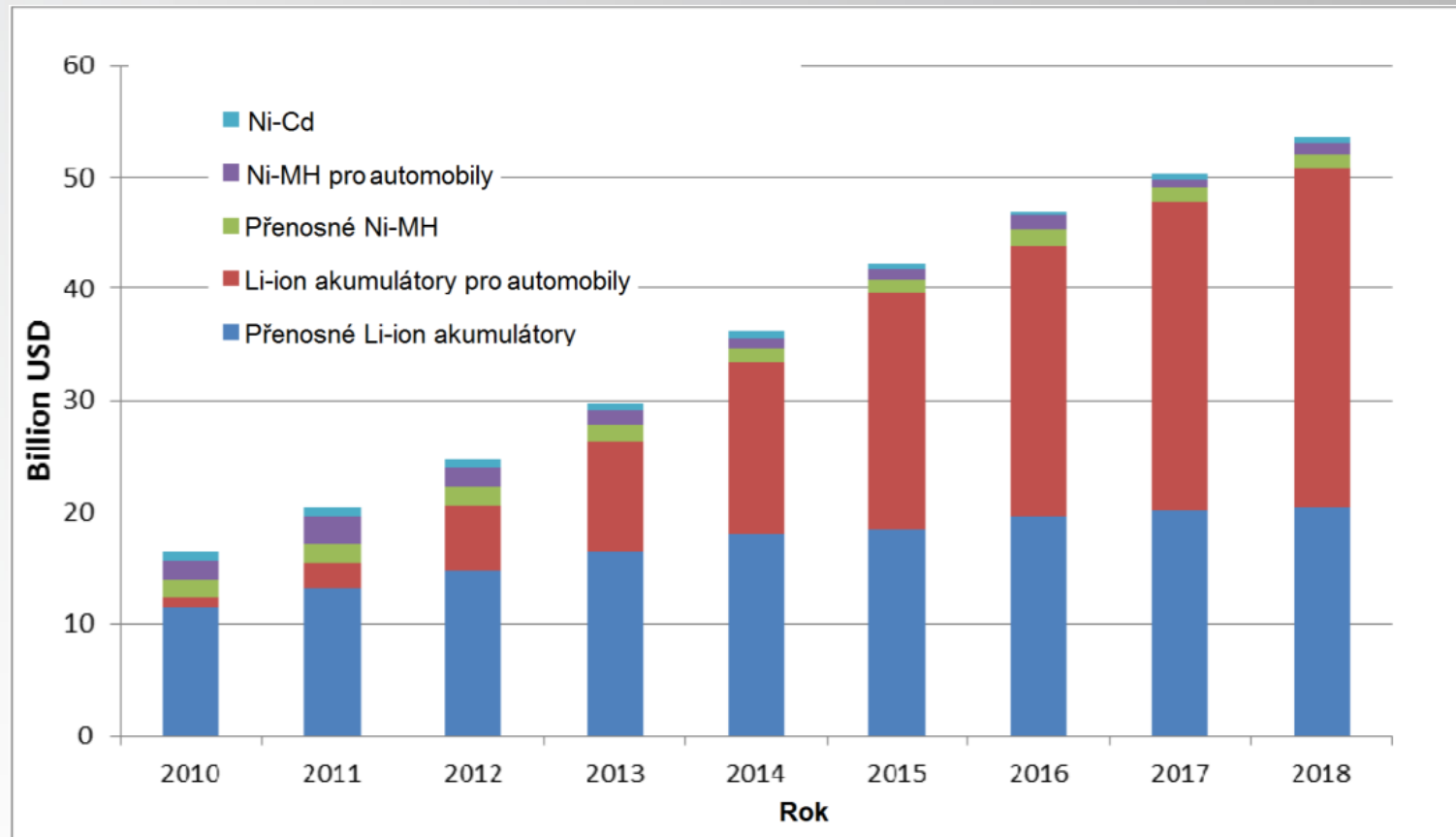
Připravil: Ing. Tomáš Kazda, Ph.D.

Využití a růst produkce Li-Ion akumulátorů



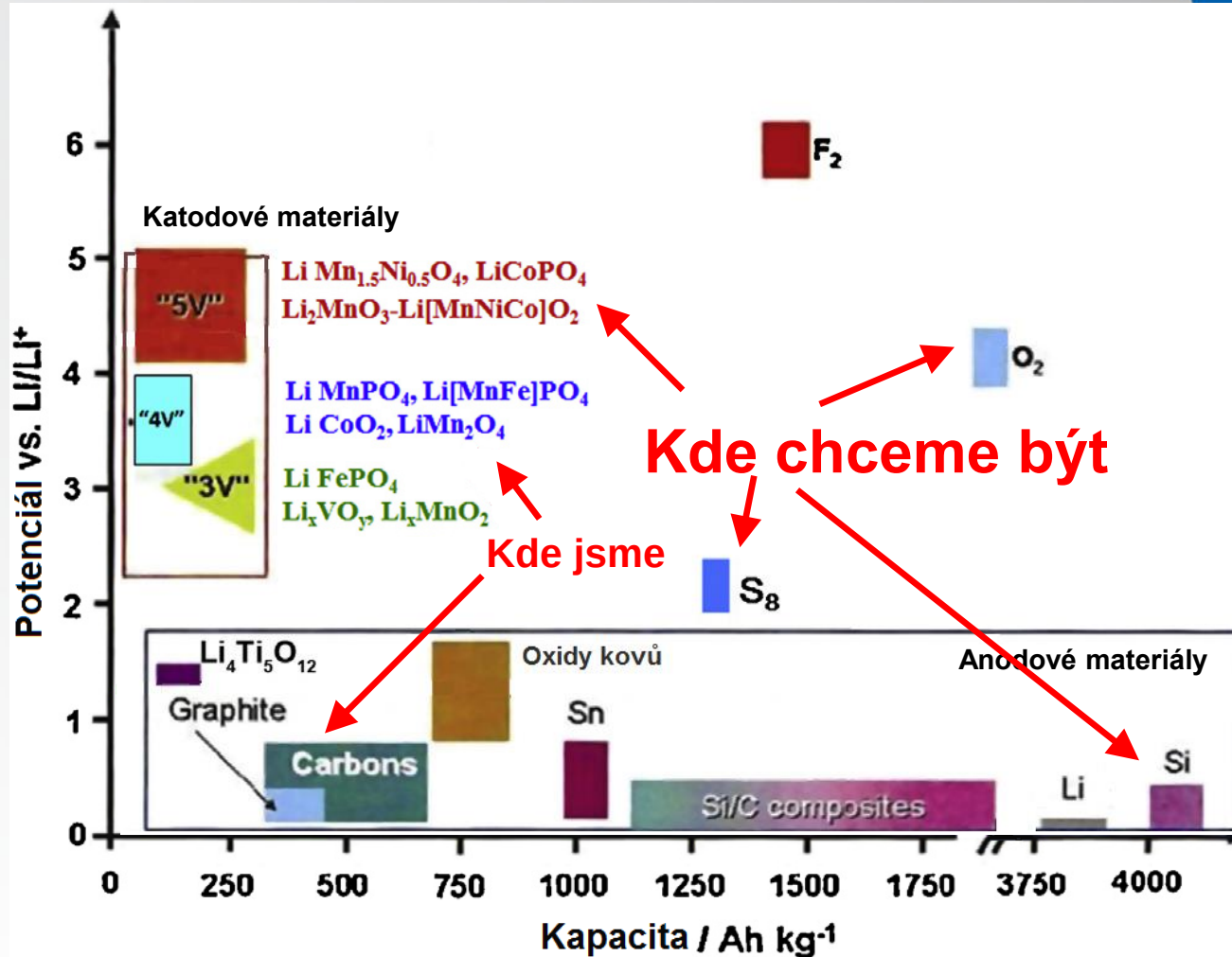
Obr.1: Příklady použití Li-ion akumulátorů [1]

Využití a růst produkce Li-Ion akumulátorů



Obr.2: Zastoupení jednotlivých typů akumulátorů na celkovém prodeji [2]

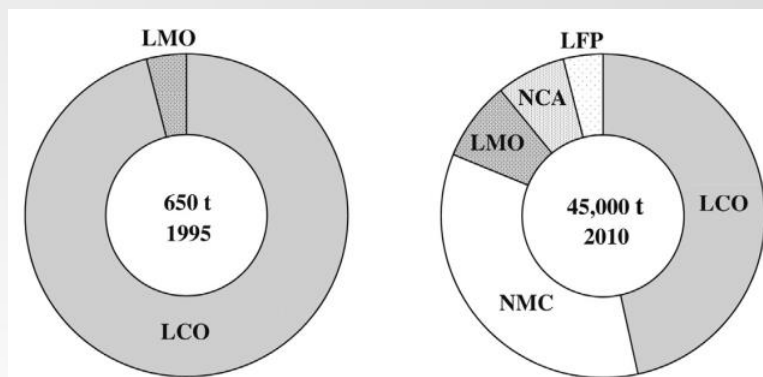
Úvod



Obr.3: Přehled materiálů Li-ion akumulátoru [1]

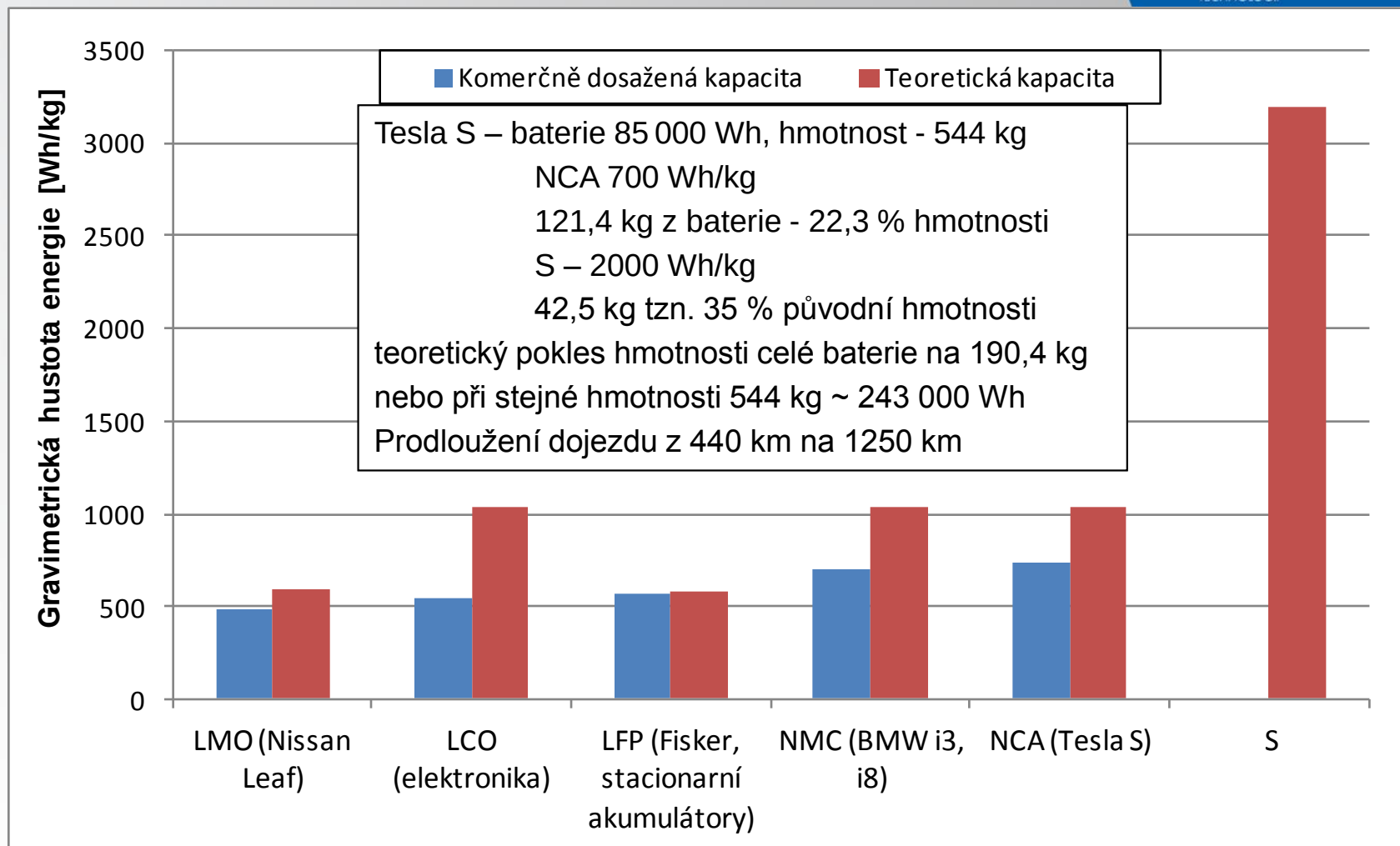
Porovnání Li-S a Li-Ion akumulátorů

Materiál	Kapacita [mAh/g]	Potenciál vůči Li [V]	Gravimetrická hustota energie [Wh/kg]
LiCoO_2 (LCO)	145	3,88	550
LiMn_2O_4 (LMO)	110-120	4,1	410-492
LiFePO_4 (LFP)	150-170	3,4	510-590
$\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$ (NCA)	170-280	3,7	680-760
$\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$ (NMC)	170-279	3,7	680-760
S	1675	2,1-2,4	~3200



Obr.4: Typy katodových materiálů dostupných na trhu a jejich zastoupení v roce 1995 a 2010; LCO: LiCoO_2 , NMC: $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$, LMO: LiMn_2O_4 , NCA: $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$, LFP: LiFePO_4 . [3]

Porovnání Li-S a Li-Ion akumulátorů



Obr.5: Porovnání kapacity a hustoty energie. [3]

Výhody a nevýhody Li-S akumulátorů

Výhody:

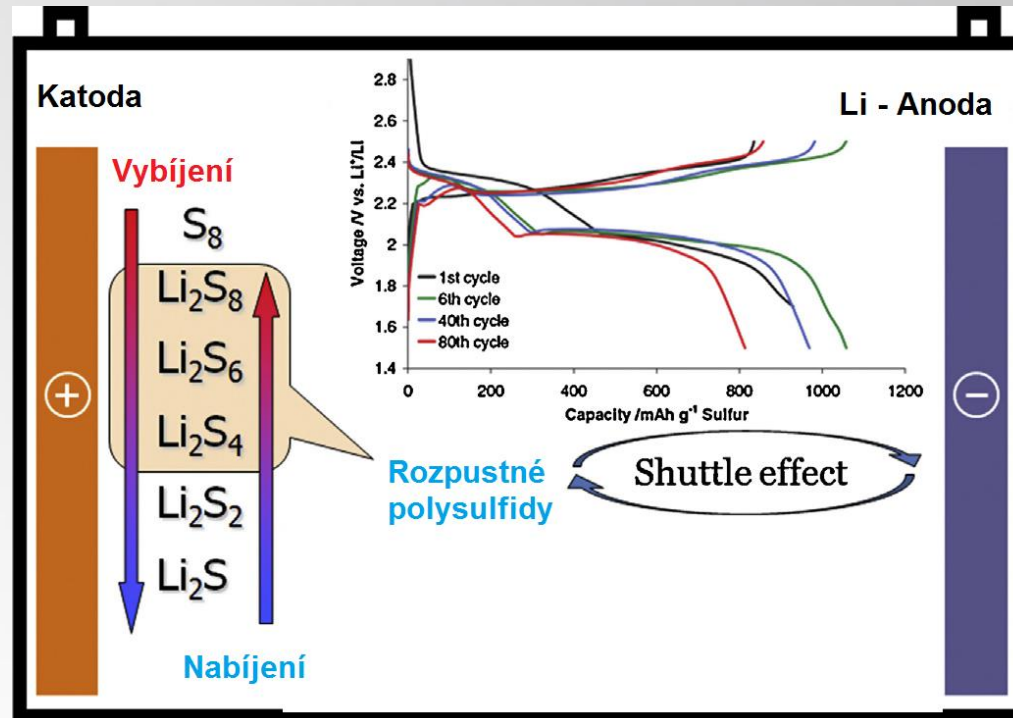
- Vysoká teoretická kapacita 1675 mAh/g
- Vysoká gravimetrická hustota energie ~3200 Wh/kg
- Snadná dostupnost síry
- Nízká cena síry v porovnání s katodovými materiály (S ~ 80 Kč/kg vs. LiFePO_4 ~ 1400 Kč/kg)

Nevýhody:

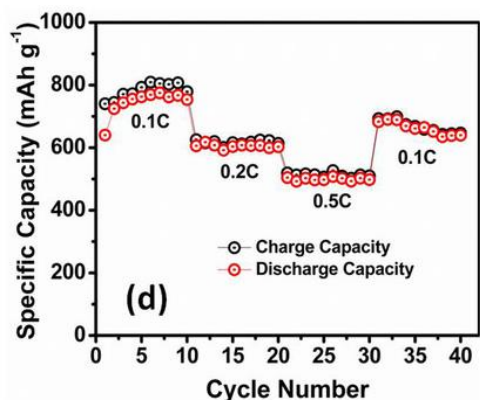
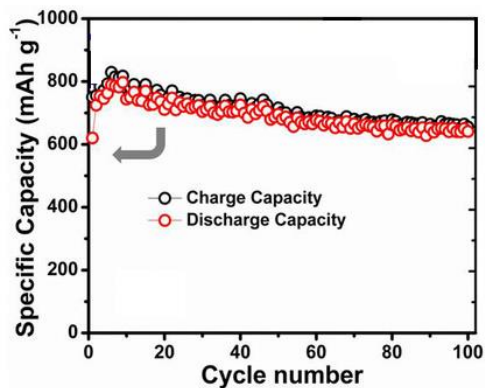
- Při cyklování vznikají polysulfidy rozpustné v elektrolytu a usazují na povrchu anody, což vede k velmi strmému poklesu kapacity – označuje se jako (shuttle effect)
- Nízká elektrická vodivost ($5 \cdot 10^{-30}$ S/m) vyplývající z faktu že síra je izolant
- Objemové změny síry během cyklování až o 80 %
- Li dendrity na anodě které mohou způsobit zkrat článku

Popis funkce Li-S akumulátorů

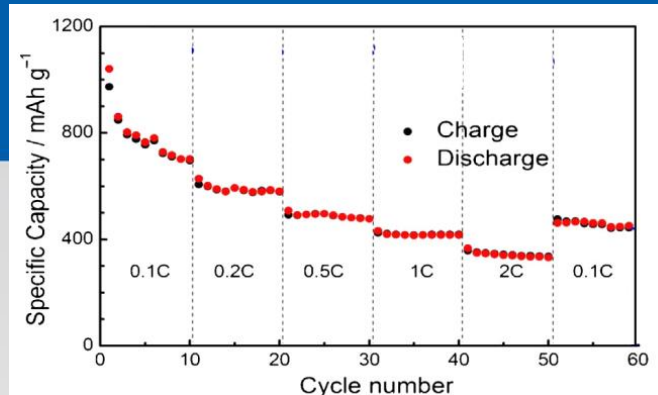
Na rozdíl od Li-Ion akumulátorů u Li-S nedochází k interkalaci Li iontů do struktury katody, ale k vzniku sloučeniny síry a lithia Li_2S (sulfid lithný). Tato konverze z S_8 na Li_2S probíhá v několika krocích, kdy dochází k formaci Li_2S_8 následně k formaci Li_2S_6 , Li_2S_4 , Li_2S_2 až nakonec Li_2S .



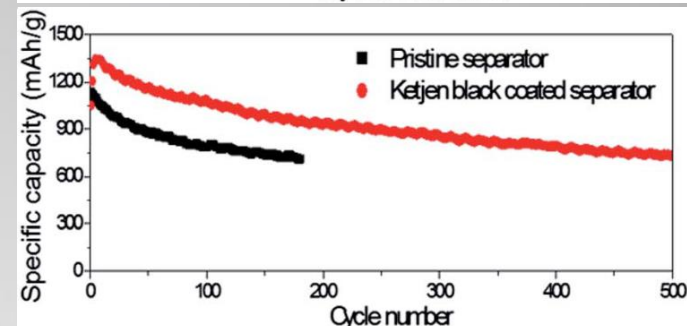
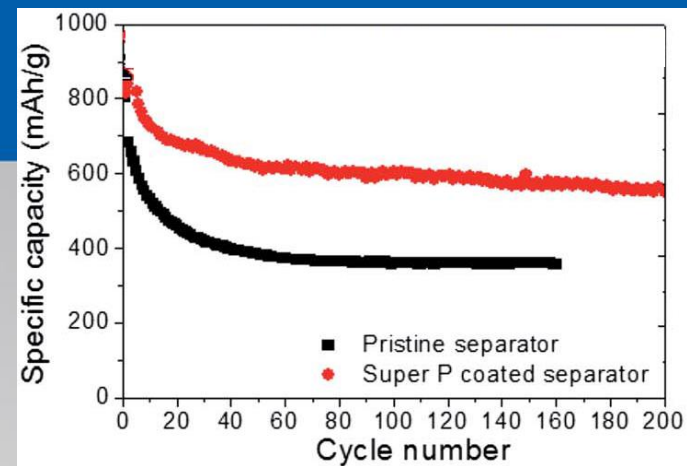
Obr.6: Děj probíhající během nabíjení a vybíjení Li-S akumulátoru a vybíjecí/nabíjecí charakteristiky s poklesem kapacity[1]



3D elektroda (Nature 2015) [5]



Nanosíra s grafenovou ochranou vrstvou
(Applied Surface Science 2014) [6]



Speciální separátor a nanosíra s ochranou
vrstvou (Nature 2014) [7]

Obr.7: Porovnání publikovaných výsledků s výsledky VUT

- [1] YOO, Hyun Deog, Elena MARKEVICH, Gregory SALITRA, Daniel SHARON a Doron AURBACH. On the challenge of developing advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion. *Materials Today*. 2014, **17**(3): 110-121. DOI: 10.1016/j.mattod.2014.02.014.
- [2] ADITYA, Jayam Prabhakar, Mehdi FERDOWSI a D. MACARTHUR Comparison of NiMH and Li-ion batteries in automotive applications. *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. 2008, : 701-706. DOI: 10.1007/978-0-387-92675-9_23.
- [3] PISTOIA, G. *Lithium-ion batteries: advances and applications*. First edition. Oxford: Newnes, 2013, xxi, 612 pages.
- [4] BRODD, R. *Batteries for sustainability: selected entries from the Encyclopedia of sustainability science and technology*. New York: Springer-Verlag New York, 2013, vi, 513 pages.
- [5] BABU, Ganguli, Khalid ABABTAIN, K. Y. Simon NG a Leela Mohana Reddy ARAVA. Electrocatalysis of Lithium Polysulfides: Current Collectors as Electrodes in Li/S Battery Configuration. *Scientific Reports*. 2015-3-5, 5(3), 8763-. DOI: 10.1038/srep08763. ISSN 2045-2322.
- [6] LIU, Ya, Jinxin GUO, Jun ZHANG, Qingmei SU a Gaohui DU. Graphene-wrapped sulfur nanospheres with ultra-high sulfur loading for high energy density lithium–sulfur batteries. *Applied Surface Science*. 2015, **324**(1), 399-404. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.10.176. ISSN 01694332.
- [7] YAO, Hongbin, Kai YAN, Weiyang LI, et al. Improved lithium–sulfur batteries with a conductive coating on the separator to prevent the accumulation of inactive S-related species at the cathode–separator interface. *Energy Environ. Sci.* 2014, 7(10), 3381-3390.