

## Nové trendy a smery vo vývoji akumulátorov pre elektromobily

Kaňuch Ján · Elektrotechnika

28.03.2016



V tomto príspevku je prezentovaný popis nových trendov a smerov vo vývoji akumulátorov pre elektromobily. V prvej časti je popísaná veľmi stručná história akumulátora a je urobená analýza a porovnanie v súčasnosti najpoužívanejších akumulátorov v elektromobiloch. V ďalšej časti sú popísané súčasné trendy a smery vo vývoji akumulátorov, ich výhody a nevýhody a ich základné parametre. Na záver príspevku je urobené a popísané porovnanie súčasných a vývojových akumulátorov.

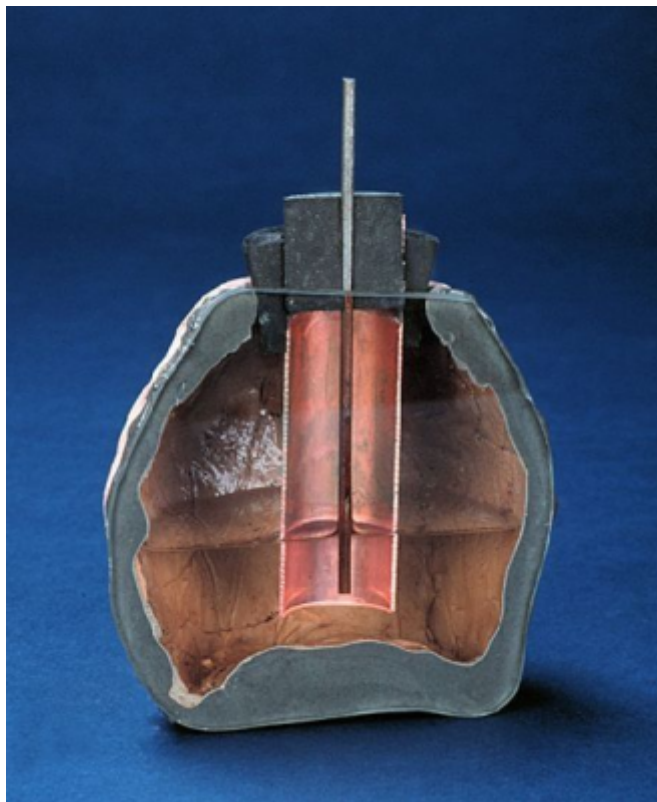
### Úvod

Je všeobecne známe, že elektromobily oproti autám so spalovacím motorom majú niekoľko podstatných výhod. Medzi hlavne výhody patria tieto: priamo neznečisťujú životné prostredie, majú tichý chod a väčšiu akceleráciu a vyžadujú menej údržby. No napriek tomu sa mnohí čudujú, prečo je tak malo elektromobilov na trhu a hlavne na cestách. Ich hlavným problémom sú akumulátory. Medzi ich hlavnú nevýhodu patrí cena akumulátorov, čo niekedy predstavuje až 1/3 ceny elektromobilu. Medzi ďalšie nevýhody akumulátorov patrí hustota energie a životnosť. Sú príliš ťažké, zaberajú príliš veľa miesta a je ich potrebné vymeniť po určitých nabíjacích cykloch.

Nevýhodou je aj doba nabíjania akumulátora, plné nabitie akumulátora môže trvať 4 až 8 hodín. Dokonca aj pri rýchlonabíjačkách trvá nabíjanie pri úplnom vybití až jednu hodinu. Avšak vo svete sa neustále pracuje na vylepšení a vývoji nových akumulátorov, ktoré budú spĺňať čo najviac požiadaviek na to, aby sa udržali na trhu. Ide hlavne o zvýšenie hustoty energie akumulátora, zníženie doby nabíjania, hmotnosti a hlavne zníženie ceny. Tieto požiadavky sú rozhodujúce a malú podstatný vplyv na budúcnosť elektromobilov.

### 1. Stručná história vývoja akumulátorov

Aj napriek tomu, sa história akumulátorov začína omnoho neskôr, tak zmienka o prvej batérii pochádza zhruba z obdobia pred 2000 rokmi. Táto takzvaná „batéria z Bagdadu“ (Obr.1) mala podobu hlinenej nádoby v ktorej sa nachádzal medený valec. Nádoba bola uzavretá asfaltom. V strede medenej nádoby sa nachádzala železná tyčka, ktorá bola elektricky izolovaná tekutinou od medeného obalu. Pri experimentoch s replikou, vedci naplnili nádobu hroznovou šťavou a namerali medzi medenou a železnou časťou napätie 0,5 V [1].



Obr. 1 Batéria z Bagdadu [1]

V roku 1800 fyzik Alessandro Volta, zostrojil tzv. Voltov článok (Obr.2), prototyp galvanického článku [2].



Obr. 2 Voltov článok [2]

Voltov článok pozostával so striedavo navrstvených medených a zinkových doštičiek, ktoré boli vzájomne oddelené vrstvou papiera alebo handričkou namočenou v elektrolyte. Elektrolyt pozostával z roztoku hydroxidu sodného alebo slanej vody. Napätie článku bolo malé, len 0,2 až 0,4 V. Ale Voltovým objavom sa začala nová éra v náuke o elektrine.

V roku 1836 John Frederic Daniell predstavil vylepšenú formu elektrického článku,

ktorý sa skladal z medi a zinku v kyseline sírovej. Ďalšie pokroky pokračovali v roku 1839, keď britský fyzik Wiliam Robert Grove vyvinul elektrický článok z dvoch kvapalín. Tento sa skladal zo zlúčeniny zinku v zriedenej kyseline sírovej a platinovej katódy v koncentrovanej kyseline dusičnej, pričom kvapaliny boli oddelené, v poréznych nádobách. V roku 1859 Gaston Planté vynášiel olovený článok (Obr. 3), prvý praktický akumulátor, ktorý sa stal predchodcom oloveného automobilového akumulátora. Akumulátor obsahuje olovené dosky, oddelené gumovými pásmi, ponorené do roztoku kyseliny sírovej [3].

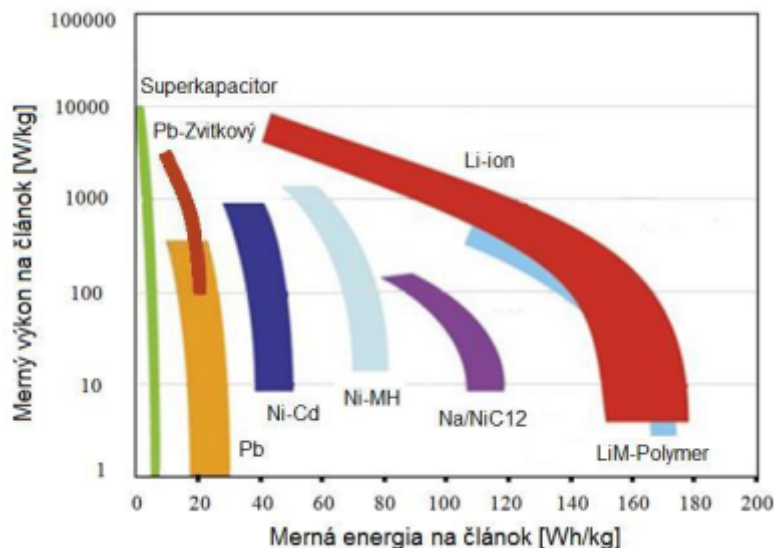


*Obr. 3 Planté-ho olovený akumulátor [2]*

Švéd Waldmar Junger v roku 1899 patentoval prvý nikel-kadmionový (Ni-Cd) akumulátor, Američan Thomas Alva Edison patentoval o dva roky neskôr prvý nikel-železový (Ni-Fe) akumulátor a experimenty s lítium-iónovým akumulátorom (Li-ion) vykonával G. N. Lewis už v roku 1912. Francúz Laclanche odstránil pôvodnú ťažkopádnosť a vysokú cenu galvanických článkov pri zlepšení elektrických parametrov, ale Nemecký Gessner bol tvorcom prvého suchého článku, ktorý bol prenosný, fungujúci v každej polohe, a to tak, že elektrolyt zahustil v kašovitú hmotu. V 20. storočí sa začína rozvoj moderného batériového priemyslu, ktorý zaznamenal veľké pokroky vo vývoji batériových technológií. Vznikajú nové sekundárne batérie, ako napríklad nikel-metal-hydridové batérie a lítium-iónové batérie [1].

## **2. Porovnanie v súčasnosti používaných akumulátorov v elektromobiloch**

Pri porovnaní jednotlivých typov akumulátorov sa zaoberáme viacerými vlastnosťami. Medzi tieto vlastnosti patrí hmotnosť, počet nabíjajúcich a vybíjajúcich cyklov, merný výkon, merná energia, cena a čas nabitia. Na Obr. 4 je zobrazený pomer mernej energie k mernému výkonu pre rôzne typy akumulátorov na jeden článok.



Obr. 4 Porovnávanie mernej energie a merného výkonu batérií [4]

Z vyššie uvedeného grafu vyplývajú pre jednotlivé typy akumulátorov a superkapacitor nasledujúce údaje, ktoré sú uvedené v tabuľke 1, pričom je tam uvedený aj počet nabíjajúcich cyklov.

Tab. 1 Hodnoty parametrov z obrázku 3 pre určitý typ akumulátora

Typ akumulátora	Merný výkon [W/kg]	Merná energia [Wh/kg]	Počet nabíjajúcich cyklov
Olovený (Pb)	1 - 500	10 - 30	400
Pb-Zvitkový	100 - 5000	10 - 25	400
Nikel- kadmiový	9 - 990	28 - 50	2000
Nikel-metal-hydridový	20 - 2000	48 - 82	700
Sodík-nikel-chloridový	9 - 300	80 - 120	450
Lítium-metal-polymérový	5 - 700	107 - 175	600
Lítium-iónový	7 - 9000	42 - 180	1200
Superkapacitor	1 - 10000	0 - 8	-

Zvýšenie mernej energie súvisí s poklesom merného výkonu. Ako je zrejme z tabuľky 1 tak z hľadiska počtu nabíjajúcich a vybíjajúcich cyklov sú na popredných miestach nikel-kadmiové akumulátory a najmenej nabíjajúcich cyklov majú olovené akumulátory.

### 3. Súčasné trendy a smery vo vývoji akumulátorov pre elektromobily

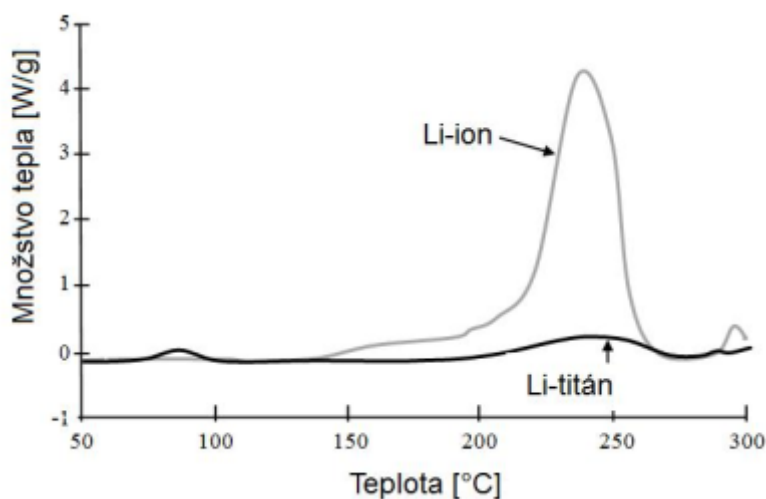
Najväčším problémom pre praktické uplatnenie elektrických automobilov nie je ani tak v menšom dojazde na jedno nabitie akumulátorov v porovnaní s jednou nádržou spaľovacích aut, pretože dnes sú hodnoty dojazdu nad 100 km už bežné a v budúcnosti sa budú aj ďalej zvyšovať. Najväčším problémom je však hmotnosť, cena a možnosti dobíjania akumulátorov. Na odstránenie týchto problémov sa pracuje pri vývoji nových štruktúr akumulátorov, ktoré sú popísané ďalej.

#### 3.1 Nové vylepšenia lítium-iónových akumulátorov

Lítium-iónové akumulátory v elektromobiloch sa začínajú z roka na rok viac rozširovať. Tieto batérie využíva v svojich elektromobiloch množstvo automobiliek, ako Chevrolet, Toyota, Nissan, Ford a GM. Kvôli vysokej mernej hustote energie a výkonu budú lítium-ionové akumulátory hrať čoraz významnejšiu úlohu. Ale aj tak sú ich parametre nedostačujúce, najmä pre vysoké požiadavky kľúčových trhov, ako je doprava. Preto výrobcovia týchto akumulátorov vyvíjajú úsilie, aby zaistili ešte väčšiu mernú hustotu energie a výkonu, dlhšiu životnosť a zároveň znížili hmotnosť a veľkosť akumulátorov. Hlavne sa zaoberajú vývojom nových materiálov pre elektródy a úpravou elektrolytu. Súčasná generácia lítium-iónových akumulátorov najčastejšie používa anódu na baze uhlíka a katóda je z oxidu kobaltolitného ( $\text{LiCoO}_2$ ). Avšak pri vývoji nových akumulátorov sa najslubnejšie javí z hľadiska chemických procesov kremík, síra a vzduch (kyslík).

### 3.2 Vylepšenie lítiových akumulátorov anódou z titanu

Ďalším vylepšením lítium-iónových akumulátorov je nový materiál pre anódu. Firma Toshiba prišla s novým materiálom pre anódu, ktorým je titan. Lítium-titánové akumulátory oproti lítium-iónovým akumulátorom majú vynikajúcu tepelnú stabilitu (Obr. 5).



Obr. 5 Porovnanie batérií - Li-ion a Li-titán

Pri lítium-iónových akumulátoroch, ktoré využívajú uhlíkové materiály na anóde, pri vzniku vnútorného skratu elektrický prúd prechádzajúci k anóde spôsobuje vytváranie veľkého množstva tepla, čo vedie k poškodeniu akumulátora. No naopak, pokiaľ ide o akumulátory, ktoré používajú ako anódový materiál titan, tak pri vnútornom skrato nedochádza k vytváranie veľkého množstva tepla a exotermická reakcia anódy je mierna. Toshiba nazvala tieto batérie „SCiB“ a začína ich ponúkať na trh aj pre automobilový priemysel [5].



Obr. 6 Toshiba „SCiBTM“- 20Ah článok (vľavo) a automobilový akumulátor (vpravo) [5]

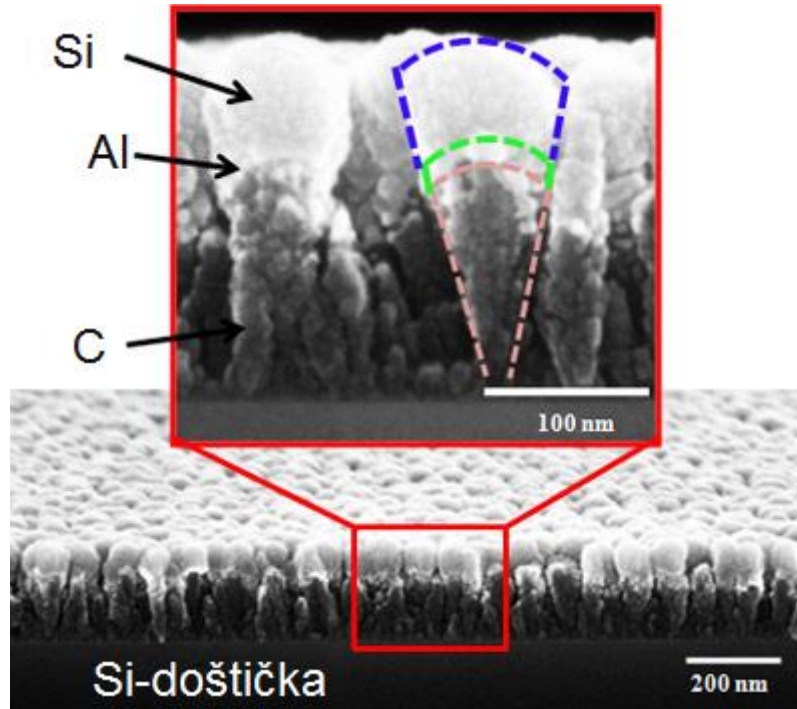
Akumulátor „SCiB“ (Super Charge ion Batterie) je už dlho očakávaný v elektrotechnických kruhoch. Spoločnosť Toshiba spolupracovala s Mitsubishi a vyvinula tak rýchlo nabíjateľný akumulátor, kde dobíjanie bude prebiehať za 15 minút na 80 percent, 10 minút na 50 percent a len 5 minút na 25 percent kapacity. Je jasné, že k tomu bude potrebná aj vhodná nabíjačka, resp. stacionárna dobíjacia stanica. Existujú aj ďalšie priaznivé vlastnosti týchto batérií, ako napr. vynikajúce dobíjacie vlastnosti a vysoká kapacita za veľmi nízkych teplôt, 2,5-násobok počtu nabíjajúcich/vybíjajúcich cyklov v porovnaní s lítium-iónovými akumulátormi a bezpečnejšia prevádzka.

Ale zo všetkého najdôležitejšie pre reálnu aplikáciu je to, že SCiB™ akumulátor má vysoký výkon a vyššiu efektívnu kapacitu ako typický lítium-iónový akumulátor. V kombinácii s vysokou účinnosťou rekuperačného dobíjania počas brzdenia alebo pri jazde z kopca zvýši sa dojazdová vzdialenosť až na 1,7 násobok v porovnaní s použitím klasického lítium-iónového akumulátora. To umožní inštaláciu menších batériových modulov do vozidiel a takto prispeje k nižším cenám elektromobilov. Akumulátor SCiB™ dodáva vysoký výkon v širokom rozsahu teplôt (až do  $-30^{\circ}\text{C}$ ) a ako bolo spomenuté vyššie, taktiež umožňuje aj veľmi rýchle dobíjanie.

### 3.3 Využitie nanomateriálu v akumulátore

V polytechnickom inštitúte v Rensselaer (v New Yorku) vyvinuli nový typ nanomateriálu, ktorého použitie vedie k vývoju nových rýchlo nabíjajúcich akumulátorov pre elektrické automobily. Materiál sa nazýva „nanoscoop“ a má extrémne vysokú rýchlosť nabíjania a vybíjania [6]. V dnešných lítium-iónových akumulátoroch by takéto vysoké zaťaženie viedlo k zničeniu akumulátora. Súčasný akumulátor postupne stráca schopnosť udržať náboj. Tempo poklesu kapacity sa zvyšuje, ak je akumulátor vystavený vyššej rýchlosti nabíjania a vybíjania. Nový materiál je však viacej odolnejší. Môžeme ho nabiť 40 až 60 krát rýchlejšie, než je to pri konvenčných akumulátoroch, ak zachováme porovnateľnú mernú energiu. Je urobený tak, aby bol schopný odolať vysokému zaťaženiu spôsobeného týmito rýchlymi cyklami.

Hlavné „telo“ materiálu má tvar kužela a je vytvorené uhlíkom. Na ňom je zhora aplikovaná tenká vrstva hliníka, ktorú ešte zakrýva „čiapočka“ z kremíka (Obr. 7). Všetky väzby sú pružné, vybavené schopnosťou rýchlo prijímať a vydávať ióny lítia bez známok poškodenia.

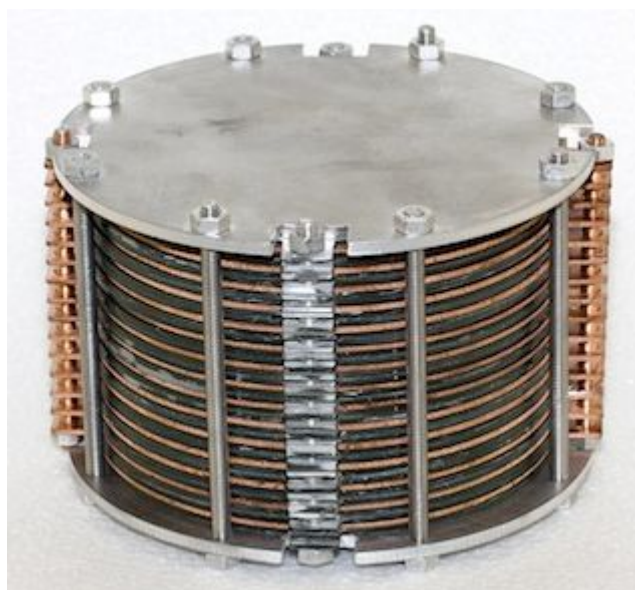


Obr. 7 Nanomateriál, tzv. nanoscoop [6]

Použitie „nanoscoopu“ pri výrobe anódy pre lítium-iónové batérie má veľkú budúcnosť na trhu s autobatériami.

### 3.4 Revolučná technológia „3D“ akumulátora

K ďalšiemu prelomu vo vývoji akumulátorov prispeli českí vedci na čele s Janom Prochádzkom [7]. Podarilo sa im navrhnúť prakticky dokonalú konštrukciu lítiového akumulátora (Obr. 8). Konštrukcia tohto akumulátora je vyriešená tak, že nedochádza k prehrievaniu, čo sa stáva pri klasických lítium-iónových akumulátoroch. Veľkou výhodou týchto akumulátorov je ich výrobná cena, ktorá je 3x nižšia v porovnaní s lítium-iónovými akumulátormi. Ale ich najväčšou nevýhodou je, že sa pomaly nabíjajú.



Obr. 8 Lisovaný „3D“ akumulátor [7]

Výhodou tohto akumulátora je to, že je 100% bezpečný. Nezhrieva sa a naopak, môže byť zahrievaný aj externe, aby sa dosiaha optimálna prevádzková teplota. Tento

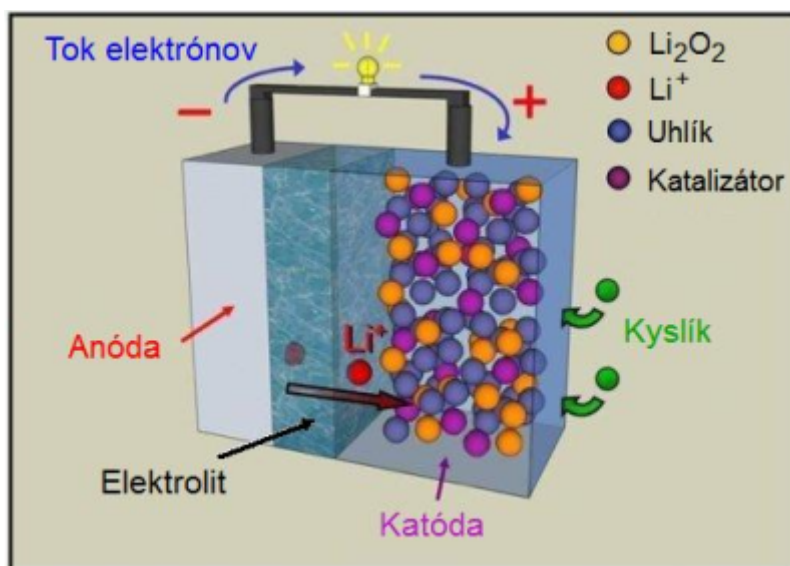
akumulátor má vnútornú štruktúru, ktorá sa zbavuje plynov a odvádza ich k tzv. odvetrávaciemu ventilu, ktorým je možné vypúšťať mikro bublinky, ktoré sa v každom lítiovom akumulátore nevyhnutne vytvárajú a znižujú jeho pracovnú schopnosť. Konštrukcia akumulátora je pripravená na to, aby bola možná regenerácia elektrolytu. To znamená nie len možnosť opätovnej výmeny, ale aj priebežné čistenie od mechanických častíc a produktov rozkladu. Tým sa zároveň významne zvyšuje flexibilita akumulátora a jeho celková životnosť. Akumulátor sa dokáže extrémne rýchlo vybíjať a má vyššiu kapacitu.

Podstatou tohto akumulátora je tzv. „prenesenie konštrukcie do ďalšieho priestoru“, teda namiesto súčasného „2D“ ide o prvý „3D“ akumulátor. Zatiaľ čo typické lítium-ionové akumulátory používajú veľmi dlhý plát fólie s naneseným aktívnym materiálom, ktorý sa postupne skladá, výroba nového 3D akumulátora prebieha jednoduchšie, teda lisovaním v priemyslových lisoch. Až 100 krát vyššia hrúbka elektród umožňuje nie len flexibilnejšie priestorové riešenie akumulátora, ale aj zvýšenie kapacity a predovšetkým lacnejšiu výrobu.

Podľa dostupných informácií je maximálne dosiahnuteľná hustota energie katódy nad  $1700 \text{ kWh/m}^3$  a anódy je viac ako  $3000 \text{ kWh/m}^3$ . Pokiaľ sa jedná o rozsah pracovných teplôt, tak tieto sú kontrolované chladením. Akumulátor však pracuje oveľa lepšie smerom k vysokým teplotám než klasické „2D“ akumulátory. Akumulátor neobsahuje, okrem elektrolytu, organické látky, je teda bezpečnejší a podľa typu aktívnych materiálov môže dlhodobo pracovať aj pri teplote nad  $80^\circ\text{C}$ .

### 3.5 Lítium-vzduchové akumulátory (Li-O<sub>2</sub>)

Výskumníci z škótskej univerzity St. Andrews vyrobili prototyp akumulátora (Obr. 9), ktorý je možné dobíjať za pomoci kyslíka zo vzduchu. V prípade úspechu bude možné nahradiť v batériách oxid lítia a kobaltu. Cieľom je získať päť až desať násobné zvýšenie úložnej kapacity, čo je za horizontom bežných lítiových batérií [8]. Medzi hlavnými výhodami lítium-vzduchových akumulátorov bude ich cena. Tieto batérie budú oveľa lacnejšie, hlavne preto, že nie sú z drahého materiálu, ale ľahkého porézneho uhlíka. Kyslík bude nasávaný priamo zo vzduchu z okolia batérie. Akumulátory sa znovu nabíjajú kyslíkom zo vzduchu, ktorý reaguje s uhlíkom v batérii.



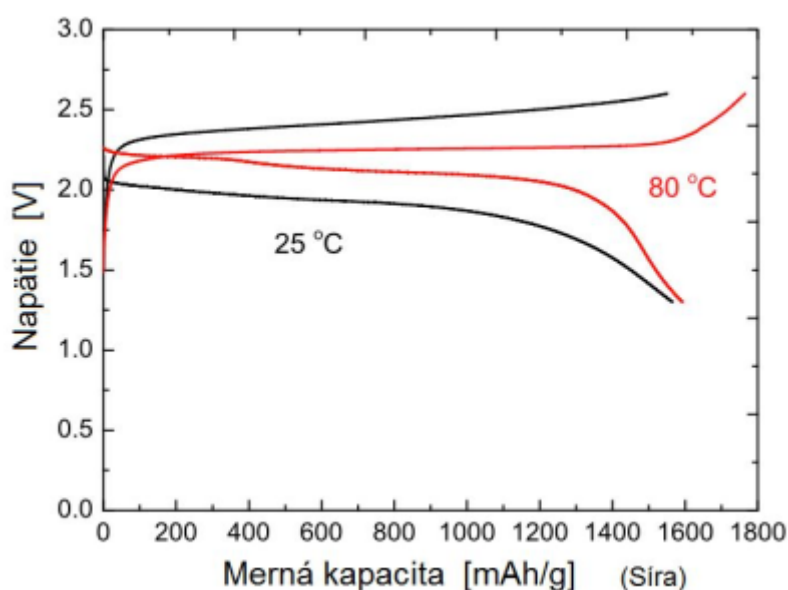


### Obr. 9 Lítium-vzduchový akumulátor [8]

Akumulátor nesie označenie „STAIR“ (St. Andrews Air) a odkazuje na miesto svojho vzniku. Základom je použitie kyslíka zo vzduchu, ako látky vyvolávajúcej reakciu, namiesto iných chemických látok, ktoré sú potrebné pre funkciu akumulátora. Prvé lítium-vzduchové články dosahovali kapacitu až 1000 mAh/g, no postupne sa ukazuje, že sa môže dosiahnuť väčšia kapacita až do 4000 mAh/g. Tieto akumulátory by mohli dosiahnuť dlhší dojazd až cez 500 km. Lítium-vzduchovými akumulátormi sa zaoberajú aj japonskí výskumníci v AIST a tiež spoločnosti IBM a GM [9].

### 3.6 Lítium-sírové akumulátory (Li-S)

Lítium-sírové akumulátory sú už síce istý čas známe, ale kvôli svojim nedostatkom sa zatiaľ ešte nepresadili. Hlavnou nevýhodou týchto akumulátorov bolo, že sa nerovnomerne (nelineárne) nabíjali a vybíjali, najmä v prevádzke pri vyšších teplotách. Tím z Japonska Samsung R&D v spolupráci s Univerzitou v Ríme vyrobil nový Lítium-sírový akumulátor s pevným elektrolytom  $\text{Li}_3\text{PS}_4$  [10]. Výhodou lítium-sírových akumulátorov je to, že používajú síru, ktorá je lacnejšia a bezpečnejšia oproti lítium-iónovým batériám. Merná kapacita týchto akumulátorov môže byť až 1600 mAh/g. Závislosť napätia od mernej kapacity pri nabíjaní a vybíjaní akumulátora je zobrazená na Obr. 10.



Obr. 10 Napätové charakteristiky pri nabíjaní a vybíjaní akumulátora s elektrolytom  $\text{Li}_3\text{PS}_4$  [10]

Zlepšením technológie Li-S akumulátora sa zaoberá aj spoločnosť SION Power [11]. Pre urýchlenie vývoja sa spojila s chemickou firmou BASF.

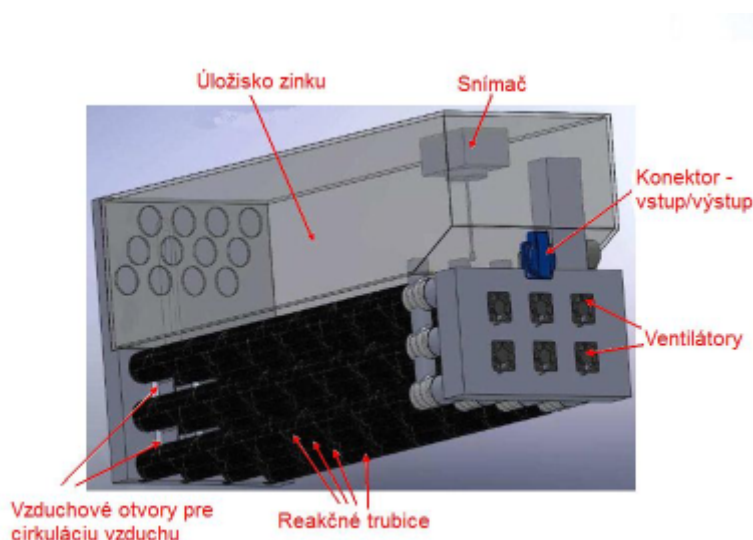


Obr. 11 Li-S akumulátor od spoločnosti SION Power [11]

Na obr. 11 je zobrazený Li-S akumulátor od spoločnosti SION Power Inc. s týmito parametrami: nominálne napätie 2,15 V, nominálna kapacita 2,5 Ah (C/5) a merná energia 350 Wh/kg. Rozmery akumulátora sú: 55x37x11,5 mm. Cieľom spoločnosti je vytvoriť články s mernou energiou väčšou ako 600 Wh/kg a zvýšenie nabíjacích cyklov na 1000.

### 3.7 Zinok-vzduchové akumulátory (Zn-air)

Vývoj nabíjacích batérii typu zinok-vzduch ("zinc-air") od roku 2007 robí švajčiarska spoločnosť ReVolt [12]. Táto 100 rokov známa technológia je zatiaľ najčastejšie používaná len vo špecializovaných oblastiach (napr. batérie do slúchadiel). Zatiaľ nebolo možné nabíjanie týchto batérií. Vďaka novému elektrolytu je to ale možné a vraj dokážu zabezpečiť tri až štyrikrát vyššiu kapacitu než existujúce typy lítium-iónových batérií. Pre elektrické vozidlá vyvíja ReVolt novú štruktúru batérie, ktorá sa podobá palivovému článku (Obr. 12).



Obr. 12 Zinok-vzduchový akumulátor od spoločnosti Revolt [12]

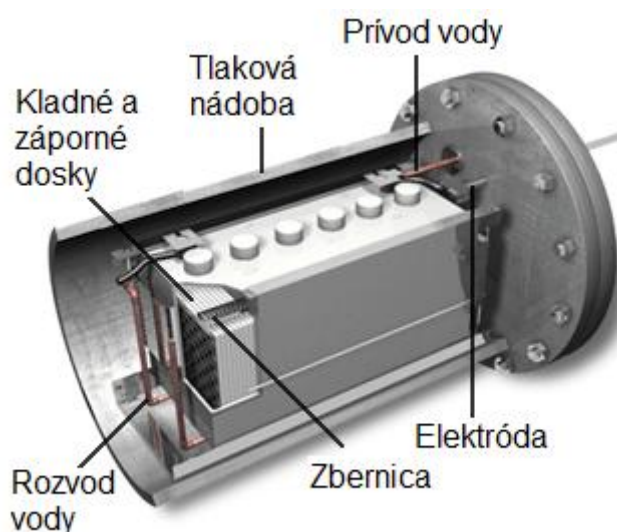
Ide o viacvrstvovú štruktúru, kde v hornej časti sa nachádza veko, ktoré prepúšťa vzduch, pod ním je plochá vzduchová elektróda, ďalej nasleduje rozhranie a zinková elektróda. Spoločnosť pracuje aj na novej štruktúre, v ktorej bude kašovitá zinková

zmes. Vzduchová elektróda bude mať rúrkovú formu. Elektrická energia vzniká riadenou oxidáciou zinku za pôsobenia vzduchu. Jedna elektróda je z kašovitej suspenzie zinku. Vzduchové elektródy sú vo forme rúr. Pri výrobe elektrickej energie suspenzia zinku, ktorá je uložená v jednom oddelení zásobníka, je čerpaná cez rúrky (vzduchové elektródy), kde je oxidovaná a tvorí sa oxid zinočnatý, pričom sa uvoľňuje energia (elektróny). Oxid zinočnatý sa potom uskladňuje v inom oddelení v akumulátore. Pri nabíjaní potom oxid zinočnatý prúdi späť cez vzduchové elektródy, kde sa uvoľňuje kyslík a opäť vzniká zinok.

Predpokladaná životnosť akumulátora je od 2000 do 10000 nabíjacích a vybíjacích cyklov. Výhodou je, že ak jedna časť zlyhá, ako napríklad vzduchové elektródy, tak sa dá nahradiť novou a nie je potrebné kúpiť celý nový akumulátor. Ďalšou výhodou týchto akumulátorov je spoľahlivosť a jednoduchá ekologická likvidácia. Medzi výhody patrí taktiež stály a relatívne stabilný prúd. Zinok je lacný, široko dostupný a vo veľkom množstve nemá tendenciu vzplanúť v akejkoľvek forme. Nevýhodou je, že akumulátor musí mať neustály prístup k vzduchu, čo obmedzuje niektoré možnosti použitia.

### 3.8 Nikel-vodíkové akumulátory (Ni-H<sub>2</sub>)

NASA používa vodík ako pohon pre kozmických lodí. Používa vodíkové palivové články pre napájanie palubných systémov a zaoberá sa vývojom nikel-vodíkových akumulátorov, ktoré sa používajú pre kozmické satelity [13]. Nikel-vodík je najnovšia technológia článkov, ktoré majú kladnú elektródu z hydroxidu nikelnatého (oxidu niklu) podobne ako nikel-kadmionové články a zápornú elektródu tvorí vodík. Tento typ akumulátorov má dlhú životnosť nabíjacích cyklov (viac ako 20000 cyklov), akumulátory nemajú pamäťový efekt a vyžadujú nízku údržbu. Nevýhodou je, že sa používa vodík pod vysokým tlakom (5,5 - 7,8 MPa). Na obrázku 13 je zobrazený 6 voltový 100Ah nikel-vodíkový akumulátor. V reze je vidieť rôzne komponenty akumulátora. Kladné a záporné dosky sú pripojené na svorky, pričom akumulátor obsahuje aj prívod vody a je umiestnený v tlakovej nádobe [14].



Obr. 13 Rez Nikel-vodíkovým akumulátorom [14]

Momentálne sa pracuje na rozvoji nikel-vodíkových akumulátorov určených na prevádzku pri nižších tlakoch. Vodík by sa ukladal podobne, ako v bežných nikel-meta-

-hydridových (Ni-MH) akumulátoroch. Vodík uložený na zápornej elektróde pod nízkym tlakom (asi 100 kPa) by výrazne zlepšil bezpečnosť akumulátora. Nikel-vodíkové články dodávajú menovité napätie 1,25 V. Merná energia je 75 Wh/ kg (60 Wh/dm<sup>3</sup>) . Nikel-vodíkové akumulátory majú aj nevýhody. Medzi ne patrí hlavne hmotnosť a nebezpečenstvo výbuchu. Nikel-vodíkovými akumulátormi sa začala zaoberať firma ERRA, ktorá vyhlásila, že dokáže potlačiť nedostatky, a to spôsobom, že udrží vodík v pevnom skupenstve. Tým odpadáva nebezpečenstvo výbuchu, nakoľko aj pri poškodení obalu a zapálení by horel asi ako sviečka a nemá tendenciu vybuchnúť [15]. Na obrázku 14 je zobrazený Nikel-vodíkový akumulátor.



Obr. 14 Nikel-vodíkovým akumulátor [15]

### 3.9 Nové akumulátory od firmy Envia Systems

Nové akumulátory od firmy Envia Systems v spolupráci s General Motors s pevným elektrolytom takmer strojnásobia mernú energiu a mali by mať dojazd až 480 km. Firma Envia Systems predpokladá, že jej akumulátor s novou technológiou (Obr. 15) bude viac než 50 percent lacnejší ako súčasná generácia akumulátorov.

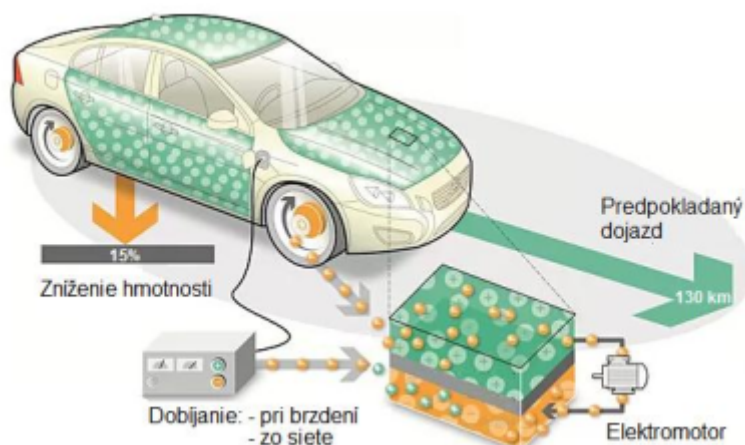


Obr. 15 Envia akumulátor [16]

Tieto nové lítium-iónové akumulátory používajú nanokompozitnú anódu z karbidu kremičitého (Si-C) a jedinečnú katódu, ktorú tvorí nano povlak „High Capacity Manganese Rich“ (HCMR- vysokokapacitný mangán) s vynikajúcou stabilitou. Je tu použitý nový (patentovaný) vysoko napäťový elektrolyt, ktorý umožňuje dosiahnuť vysokú mernú energiu (až 400 Wh/kg). Novou technológiou sa zvyšuje aj počet nabíjacích cyklov o viac ako 1000 nabití. Elektrolyt umožňuje vyššie napätie jedného článku, až do 5,2 V. Tieto články už prechádzajú prvými testami a čoskoro sa očakáva ich uvedenie na trh [16].

### 3.10 Akumulátor v karosérii automobilu

Volvo prichádza na trh s nápadom vyrábať automobily, ktorých karoséria bude slúžiť ako akumulátor vozidla (Obr. 16). Je to dobrý nápad, ale až prebiehajúce testy ukážu, či tieto vízie sa stanú aj realitou. Na celom projekte spolupracuje až deväť firiem, ale len Volvo je jedinou automobilkou, ktorá sa rozhodla do projektu zapojiť. Doposiaľ výskumný projekt prebiehal po dobu 3,5 rokov a bol financovaný Európskou úniou.



Obr. 16 Akumulátor v karosérii automobilu [17]

Keďže hlavnou nevýhodou súčasných akumulátorov je ich kapacita, tak na napájanie elektromobilu je potrebná sada akumulátorov s veľkou hmotnosťou a rozmermi. Cieľom spomínaného projektu je vyvinúť materiál, ktorý bude tvarovateľný a dostatočne pevný na to, aby sa z neho dali vytvoriť časti karosérie automobilu a zároveň, aby dokázal uchovať dostatočné množstvo energie. Materiál bude vytvorený na základe kombinácie uhlíkových vlákien a polymérových živíc. Volvo vybudovala experimentálne vozidlo S80, ktoré má časti karosérie (dvere, prednú kapotu a strechu) vyrobené z tohto pokročilého nanomateriálu, pričom sú tam zabudované už aj superkapacity. Vďaka menšej hmotnosti materiálu je možné ušetriť až 15% hmotnosti automobilu v porovnaní s klasickými akumulátormi. Dobíjanie akumulátorov je zatiaľ možné počas brzdenia alebo priamym pripojením vozidla do sieťovej zásuvky [17].

## 4. Porovnanie súčasných a vývojových akumulátorov

Vývoj v oblasti akumulátorov je podmienkou rozvoja elektromobilov a takisto aj rozvoja obnoviteľnej energie, ktorú v súčasnosti niet kde skladovať. Je tu však niekoľko technologických novinek, ktoré boli popísané v predchádzajúcej kapitole a na trhu by sa mohli objaviť už v najbližších rokoch. Dnešné najpoužívanejšie a najobľúbenejšie Li-ion (lítium-iónové) akumulátory boli opísané už v roku 1976, ale trvalo 20 rokov, kým sa dostali na trh. Prešlo ďalších viac ako 20 rokov a Li-ion akumulátory používame stále (s drobnými obmenami a optimalizáciami) a ešte niekoľko rokov si počkáme, kým príde skutočná zmena. Dnešné akumulátory používané v elektromobiloch (Li-ion) sú ale vo svojom princípe stále tie isté - ťažké, veľké a navyše aj drahé. Na obrázku 17 je zobrazený akumulátor pre Nissan LEAF.



*Obr. 17 Akumulátor pre Nissan LEAF (Nissan foto)*

Súčasná cena tohto akumulátora je približne 5000 EUR (plus odovzdanie starého akumulátora). Aby sme mali predstavu o jeho veľkosti, tak lítium-iónový akumulátor a automobile je umiestnený pod sedadlami (Obr. 18) a má hmotnosť až 218 kg (merná energie je 140 Wh/kg). Ak je akumulátor (30 kWh) plne nabitý, tak dojazd sa pohybuje okolo 172 km.



*Obr. 18 Umiestnenie akumulátora v automobile Nissan LEAF (Nissan foto)*

Lítium-iónový akumulátor pre Toyotu Prius (3-tia generácia) je zovraznený na obrázku 19. Lítium-iónové batérie sú menšie, ľahšie a majú väčšiu mernú energiu ako predtým používané NiMH akumulátory, ale sú aj drahšie. Ale aj tak sú používané v elektrických vozidlách rôznych výrobcov automobilov. Toyota tiež pracuje na akumulátoroch s pevným elektrolytom.



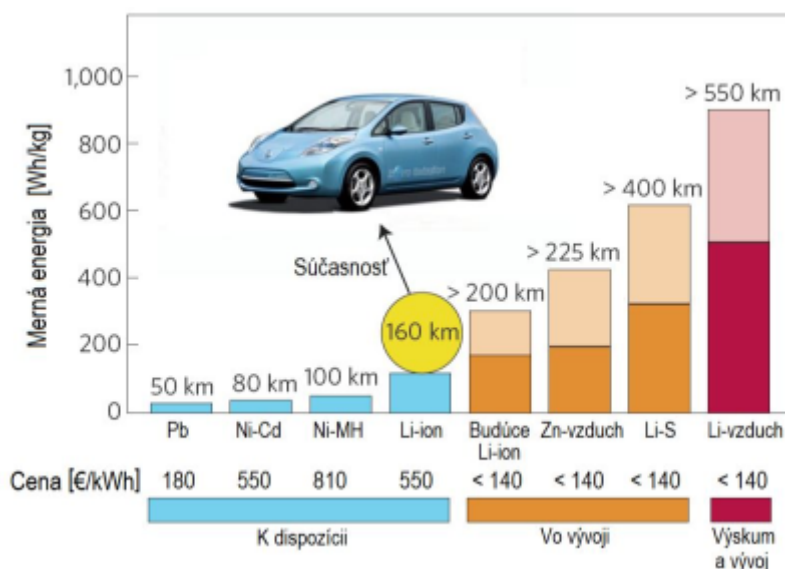
*Obr. 19 Akumulátor pre Toyotu Prius (3-tia generácia) [18]*

V tabuľke 2 je uvedené porovnanie parametrov niektorých vývojových akumulátorov s lítium-ionovým, ktorý je v súčasnosti najviac používaný v elektrických vozidlách rôznych výrobcov. Nárast mernej energie vývojových akumulátorov oproti lítium-ionovému je dosť podstatný.

Tab. 2 Hlavné parametre akumulátorov

Typ akumulátora	Napätie článku [V]	Merná energia [Wh/kg]	Merná objemová energia [Wh/l]
Li-ion	3,8	387	1015
Zn-vzduch	1,65	1086	6091
Li-S	2,2	2567	2199
Li-O <sub>2</sub>	3	3505	3436

Pre vývojové akumulátory je rozsah predpokladanej mernej energie zobrazený svetlejšou farbou aj na obrázku 20.



Obr. 20 Merná energia akumulátorov, predpokladaný dojazd a cena [19]

Hodnoty pre dojazd na obr. 20 sú určené na základe minimálnej mernej energie pre každú technológiu a porovnané s dnešnými Lítium-iónovými akumulátormi [19]. Ceny na obr. 12 sú platné pre rok 2012.

#### 4.1 Porovnanie cien akumulátorov

Cena vývojových akumulátorov bude tiež veľmi dôležitá pre ich nasadenie na trh. Odhadnuté ceny vývojových akumulátorov sa pohybujú okolo 117 € za 1 kWh, dokonca firma Envia System tvrdí, že ich akumulátor bude stáť iba 99 € za 1 kWh. Pre zaujímavosť sú v tabuľke 3 uvedené ceny (za kWh) v súčasnosti najpoužívanejších lítium-iónových (Li-ion) a nikel-metal-hydridových (NiMH) akumulátorov. Pre porovnanie je v tabuľke 3 uvedená aj cena oloveného akumulátora a vývoj ceny lítium-iónového akumulátora od roku 2010.

Tab. 3 Porovnanie cien akumulátorov

Typ akumulátora	Rok	Cena [€/kWh]
Olovený	-	100 - 200
Li-ion	2010	700
Li-ion	2012	350 - 700
Li-ion	2013	700 - 900
Li-ion	2014	180 - 280
Li-ion	2016	130
NiMH	2004	680
NiMH	2013	450 - 500
NiMH	2016	310

Ak porovnáme predajné ceny akumulátorov, tak v súčasnosti je cena za 23 kWh akumulátor, ktorý sa nachádza v Nissane LEAF okolo 5000 €. Za vývojový 23 kWh akumulátor by sme dnes zaplatili cca. 2760 € a za akumulátor do firmy Envia len okolo 2270 €. Rozdiel je veľký a určite aj veľmi podstatný na to, aby sa v budúcnosti elektromobily viacej presadili na svetovom automobilovom trhu.

#### 4.2 Li-ion akumulátor v porovnaní s benzínom

Aj keď sa predpokladá rapídne zníženie cien akumulátorov pre elektromobily, tak ešte stále je tu veľká konkurencia spaľovacích motorov, ktoré sa tiež vyvíjajú, aby boli čo najúspornejšie. Súčasný Li-ion akumulátor má životnosť asi 1000 ÷ 2000 nabíjacích cyklov a poskytuje mernú energiu (prepočítanú na objem) okolo 200 ÷ 250 Wh/l. Keby sme sa pustili do porovnávania, tak merná energia klasického oloveného akumulátora sa pohybuje na úrovni 90 Wh/l a pri niklovo-kadmiovom akumulátore stúpne na 150 Wh/l.

Napriek tomu, že Li-ion akumulátory sú dnes najčastejšie využívané, tak majú pomerne vysokú hmotnosť na poskytovaný výkon a sú aj drahé. Ale ak porovnáme mernú energiu Li-ion akumulátora s benzínom, čo je okolo 9000 Wh/l, tak to predstavuje len 3 %. A tu je aj podstatný rozdiel medzi automobilom s elektromotorom a spaľovacím motorom. Kým spaľovací motor umožní prejsť na jednu nádrž až 1000 km, tak priemerný dojazd v súčasnosti vyrábaných elektromobilov je od 100 do 400 km [20]. A preto je nevyhnutné smerovať vývoj a výskum akumulátorov na zvyšovanie ich mernej energie.

### 5. Záver

Hlavným cieľom tohto príspevku bolo v stručnosti popísať čo je nové vo vývoji akumulátorov pre elektromobily. V prvej časti je urobená stručná analýza a porovnanie v súčasnosti používaných akumulátorov v elektromobiloch. Sú tu porovnané akumulátory z hľadiska mernej energie, výkonu a počtu nabíjacích cyklov.

Súčasný trendy a smery vo vývoji akumulátorov pre elektromobily sú popísané v ďalšej časti. V súčasnej dobe sú najviac používanými akumulátormi na trhu lítium-iónové, ktoré majú aj nedostatky (napr. bezpečnosť, hmotnosť a pod.) a preto sa pracuje na ich vylepšení a zdokonalení a to hlavne úpravou elektrolytu a zlepšením materiálu pre



elektrody. Medzi tieto vylepšenia patrí použitie titánu, ktorý ma lepšiu tepelnú stabilitu. Veľmi pravdepodobné bude využitie aj lítium-vzduchových akumulátorov, ktoré majú veľkú mernú energiu (až trojnásobne väčšiu oproti súčasným lítium-iónovým akumulátorom) a tým dokážu zväčšiť dojazd elektromobilu nad 500 km. Na trh by sa mali dostať do roku 2020. Sľubnú budúcnosť majú akumulátory od firmy Envia, ktoré sú lacné a majú pomerne vynikajúcu stabilitu aj pri vysokých teplotách. Na týchto akumulátorov už prebehli prvé testy, ktoré sú priaznivé a v krátkej dobe by sa mali dostať na trh.

Pri vývojových akumulátoroch je rozhodujúca cena, ktorá je veľmi nízka oproti súčasným akumulátorom. Ak vezmeme do úvahy, že cena akumulátora tvorí až 1/3 ceny elektromobilu, tak výrazné zníženie ceny by prispelo k tomu, že elektromobily by sa stali viacej konkurencie schopnými dnešným automobilmom so spaľovacím motorom.

## Literatúra

1. Kasik Pavel, 2007. Jak se blesky z oblohy ocitly v naší kapse. Historie baterií, [online]. [cit. 2016/02/28]. Dostupné na internete:  
[http://technet.idnes.cz/jak-se-blesky-z-oblohy-ocitly-v-nasi-kapse-historie-baterii-paw/tec\\_tecnika.aspx?c=A071109\\_004120\\_tec\\_tecnika\\_pka](http://technet.idnes.cz/jak-se-blesky-z-oblohy-ocitly-v-nasi-kapse-historie-baterii-paw/tec_tecnika.aspx?c=A071109_004120_tec_tecnika_pka)
2. Cenek M., Jindra, J., Jon, M., 2003. Akumulátory od princípu k praxi. Praha: FCC PUBLIC, ISBN 80-86534-03-0
3. Battery Facts. [online]. [cit. 2016/02/28]. Dostupné na internete:  
<http://www.batteryfacts.co.uk/BatteryHistory/Plante.html>
4. Energy and Power by Battery Type. [online]. [cit. 2016/02/25]. Dostupné na internete:  
<http://energy.gov/eere/vehicles/fact-607-january-25-2010-energy-and-power-battery-type>
5. Toshiba SCiB to be used in Mitsubishi i-MiEV, recharge to 80 percent in just 15 minutes. [online]. [cit. 2016/02/29]. Dostupné na internete:  
[www.engadget.com/2011/06/16/toshiba-scib-to-be-used-in-mitsubishi-i-miev-recharge-to-80-per/](http://www.engadget.com/2011/06/16/toshiba-scib-to-be-used-in-mitsubishi-i-miev-recharge-to-80-per/)
6. Hradil Ivo, 2011. Rychlejší nabíjení elektromobilů díky novému nanomateriálu, [online]. [cit. 2016/03/02]. Dostupné na internete:  
<http://www.hybrid.cz/novinky/nabijeni-elektromobilu-rychlejsi-diky-novemu-nanomateriálu>
7. Horčík Ján, 2011. Čeští vědci pracují na revoluční technologii 3D baterií, [online]. [cit. 2016/03/03]. Dostupné na internete:  
<http://www.hybrid.cz/clanky/cesti-vedci-pracuji-na-revolucni-technologie-3d-baterii>
8. Air-fueled Battery for Electric Cars [online]. [cit. 2016/03/02]. Dostupné na internete:  
<http://www.alternative-energy-news.info/air-fueled-battery-for-electric-cars/#leavecomment>
9. Krnač Ján, 2010. Zásobník na báze Lithium - vzduch [online]. [cit. 2016/03/03]. Dostupné na internete:  
<http://elektromobily.sk/zasobnik-na-baze-lithium-vzduch>
10. Solid State Li-S Battery Shows Highest Efficiency, 2015. [online]. [cit. 2016/03/02]. Dostupné na internete:  
<http://www.electrochem.org/2015/02/04/solid-state-li-s-battery-shows-highest-efficiency/>
11. Lithium Sulfur Rechargeable Battery Data Sheet [online]. [cit. 2016/03/03]. Dostupné

na internete:

<http://www.sionpower.com/pdf/articles/LIS%20Spec%20Sheet%2010-3-08.pdf>

12. Battery technology, the next generation of vehicular power Sheet [online]. [cit. 2016/03/04]. Dostupné na internete:  
<http://mydogisdeadli.blogspot.sk/2012/11/battery-technology-next-generation-of.html>
13. Smithrick John J., O'Donnell Patricia M., 1995. Nickel Hydrogen Batteries - an overview. [online]. [cit. 2016/03/06]. Dostupné na internete:  
<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19950010446.pdf>
14. Nickel-Hydrogen Batteries, 2015 [online]. [cit. 2016/03/06]. Dostupné na internete:  
<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/electricity/batteries/nickelhydrogen.html>
15. Zmeták Viliam, 2015. Vodík v elektromobile? [online]. [cit. 2016/03/07]. Dostupné na internete:  
<http://elektromobily.sk/vodik-v-elektromobile>
16. Gordon-Bloomfield, N., 2012. New battery promises to bring 300-mile electric cars to the masses, [online]. [cit. 2016/03/07]. Dostupné na internete:  
[http://www.greencarreports.com/news/1073442\\_new-battery-promises-to-bring-300-mile-electric-cars-to-the-masses](http://www.greencarreports.com/news/1073442_new-battery-promises-to-bring-300-mile-electric-cars-to-the-masses)
17. Volvo consign normal car batteries to the history book, 2013, [online]. [cit. 2016/03/07]. Dostupné na internete:  
<http://cempaka-transport.blogspot.sk/2013/10/volvo-consign-normal-car-batteries-to.html>
18. Toyota upping lithium-ion battery production 6x for introduction to Prius family, 2013, [online]. [cit. 2016/03/08]. Dostupné na internete:  
<http://www.newfuelist.com/link/~83im#.Vt2IHObpyog>
19. Bruce, Peter G. et al., 2012. Li-O<sub>2</sub> and Li-S batteries with high energy storage, [online]. [cit. 2016/03/07]. Dostupné na internete:  
<http://www.nature.com/nmat/journal/v11/n1/full/nmat3191.html#corres-auth>
20. 11 Electric Cars With Most Range, 2015 [online]. [cit. 2016/03/09]. Dostupné na internete:  
<http://evobsession.com/electric-car-range-comparison/>

---

Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Kontakt: Letná 9, 042 00 Košice

---