

Cena a kapacita nejsou jedinými kritickými faktory při výběru vhodné baterie

Na trhu se v současné době nachází velké množství různých značek bateriových úložišť, které se uchází o přízeň projektantů i zákazníků. Jak ale vybírat a jaká další kritéria, kromě ceny a kapacity, posuzovat?

Michal Klečka, GWL

ABSTRACT:

Different battery system materials imply different qualities. When considering an investment, any customer should take into account not only price and capacity, but also safety features (vulnerability to ignition), charging/discharging cycles etc.

Asociace AKU-BAT CZ, z.s., sdružující nejvýznamnější subjekty aktivní v oblasti akumulace energie, konkrétně její technická pracovní skupina vám přináší tento článek jako podklad, jak se rozhodovat. Při konečném výběru se však vždy řiďte vlastním rozumem, lokálními podmínkami a odborným názorem vašich projektantů a poradců.

Na úvod si řekněme, že budeme uvažovat pouze úložiště založená na lithiu-iontových bateriích a vynecháme starší technologie na bázi olova. Proč, to napoví tento graf (obrázek 1), který je sice staršího data, takže reálné energetické hustoty mohou být

dnes až o desítky procent vyšší, ale pro účely demonstrace rozdílu mezi jednotlivými chemiemi je plně dostačující.

Jak vidíte na grafu, baterie na bázi olova mají nejen nejnižší energetickou hustotu (měřeno ve Wh na 1 kg), ale díky nízké životnosti zároveň nejvyšší cenu za jeden cyklus, tedy nejvyšší cenu amortizace. Vyhoví tedy jen pro ty nejméně náročně aplikace, kde není třeba baterii cyklovat, jako jsou například startovací baterie v automobilech či levné záložní zdroje pro spotřební elektroniku a IT.

Pro pravidelné a dlouhodobé cyklování v domácnostech, firmách a průmyslu tedy bude lithium ještě dlouho jedinou široce dostupnou, levnou a relativně bezpečnou technologií ukládání elektrické energie. Je ale lithium jako lithium?

V ČEM SE ČLÁNKY OD SEBE ODLIŠUJÍ?

V praxi se často setkáte s laickými názvy baterií, jako je lithium polymerová (Li-Pol) baterie, lithium iontová (Li-Ion), NMC, LFP, LTO, prismatická, LiFePO₄ atd. Pojďme se podívat, jaký je v nich rozdíl.

Předně, všechny baterie na bázi lithia jsou vždy „iontové“. Lithium-iontová baterie funguje na principu pohybu iontů mezi kladnou a zápornou elektrodou. Většina Li-Ion baterií (kromě LTO) má podobnou konstrukci sestávající z kladné elektrody (katody) z oxidů kovů, která je nanesena na hliníkový sběrač elektrického náboje, záporné elektrody (anody) z uhlíku/grafitu naneseného na měděný sběrač náboje, separátoru a elektrolytu z lithné soli v organickém rozpouštědle. Protože je mezi anodou a katodou elektrické napětí, musí být dobře odděleny membránou, která sice dovolí pohyb iontů, ale zabrání zkratu mezi elektrodami. V praxi se nejčastěji používá velmi tenká keramická fólie, která na první pohled vypadá jako papír.

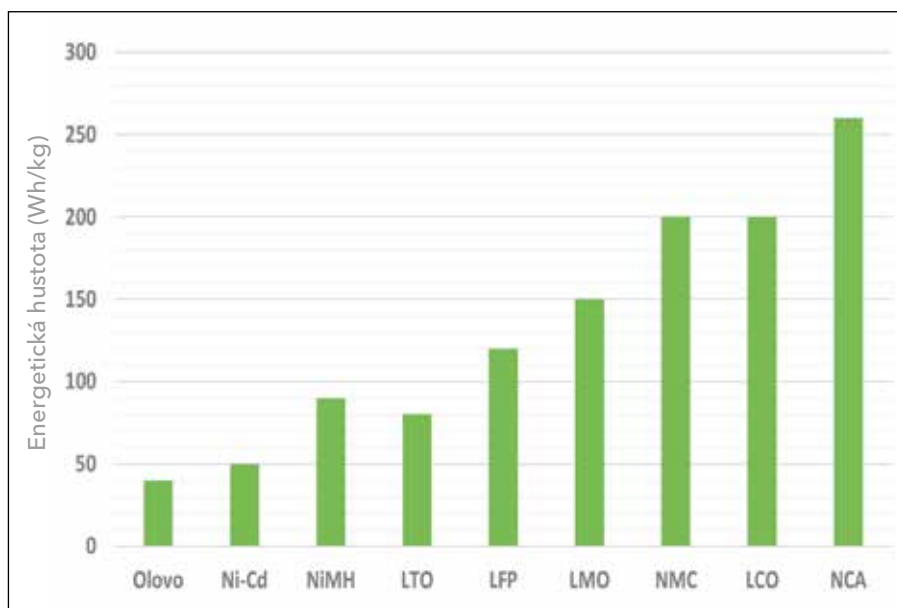
Zatímco anoda je většinou (až na LTO, viz dále) stále stejná, tedy grafitová, tak podle katody jsou jednotlivé články odlišovány a mají výrazně odlišné vlastnosti.

Články s katodou na bázi oxidů lithia, niklu, hliníku, manganu a kobaltu o jmenovitém napětí 3,6 nebo 3,7 V chemicky degradují již po 300 – 1000 nabíjecích cyklech. Napětí těchto článků ve stavu úplného nabití je vysoké (až 4,2 V), a dochází proto ke zrychlenému usazování zpevněného elektrolytu na elektrodách, jejich oxidaci, a to brání další výměně iontů lithia, zvyšuje se vnitřní odpor článků a kapacita baterie rychle klesá.

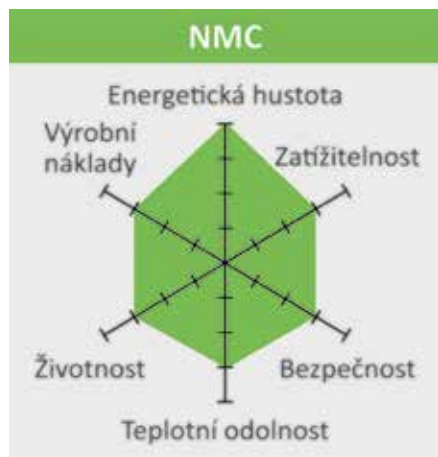
Níže uvádím několik nejrozšířenějších chemií článků a jejich základní vlastnosti. Mějte však na paměti, že výrobci výrazně inovují a konkrétní chemie článků (katody) může být kombinací několika technologií a oxidů kovů, čímž se i vlastnosti výsledného článku mohou pohybovat kdekoliv „mezi“.

NMC (NIKL, MANGAN, KOBALT) BATERIE S VYUŽITÍM HLAVNĚ PRO ELEKTROMOBILY

Baterie s **nikl-mangan-kobaltovou** katodou (NMC) jsou dnes nejpoužívanější v elektromobilech. Mají vysoký (tedy dobrý) poměr kapacity a hmotnosti, ale jsou na tom relativně hůře s životností. V automobilu to nevadí, protože zde stačí životnost cca 300 tis. km, což v praxi znamená maximálně jeden



Obrázek č. 1: Porovnání energetické hustoty jednotlivých baterií na bázi olova i lithia Zdroj: batteryuniversity.com



Obrázek č. 2: Vlastnosti NMC článků v přehledném diagramu Zdroj: batteryuniversity.com

tisíc nabíjecích cyklů při zachování 80 % původní kapacity. Pro bateriové úložiště se však nehodí, protože tisíc cyklů lze v domácnosti i firmě při denním používání dosáhnout již za 3–4 roky.

Tyto baterie se také nedokážou nabíjet a vybijet vysokým výkonem, což lze v automobilu nahradit vysokonapěťovou instalací, která nižší proudy dožene vysokým napětím baterie. V domácnosti to tak jednoduché není, ale i přesto mnoho výrobců bateriových úložišť tuto chemii pro úložiště používá, protože je levná a široce dostupná. Chybějící nativní bezpečnost a životnost nahrazují „elektronickou optimalizací“ a „škracením“ článků. Pak se nelze divit, že taková baterie má maximální vybíjecí proud nižší, než je příkon obyčejné rychlovarné konvice.

V případě zkratu / nechtěného přebíjení zde hrozí vysoké riziko požáru či exploze, čehož důkazem je mnoho videí na YouTube, kde se můžeme „kochat“ samovolným vznícením bateriových úložišť, elektromobilů, elektrických kol, různých koloběžek a podobně.

Tyto články je obtížné vyrobit s kapacitou větší než přibližně 0,5 kWh, proto NMC baterie obsahují mnoho stovek nebo dokonce tisíců malých sériově-parallelně zapojených článků, tzv. „tužkovek“. Tím se jednak dohání nízká kapacita jednoho článku a za druhé se zvyšuje napětí celé baterie až na stovky voltů.

To přináší vysoké nároky na bezpečnost instalace a obslužnou elektroniku, která musí v reálném čase neustále sledovat teploty,



Obrázek č. 3: Neschopnost vyrobit článek NMC o vyšší kapacitě se nahrazuje jejich vzájemným propojováním do obrovských celků. Dokážete si představit, že vyměníte jeden vadný článek ze středu svazence?

proudy a napětí jednotlivých článků a tomu přizpůsobovat odběr energie, případně spouštět chlazení či vyhřívání baterie.

LCO A LMO (LITHIUM COBALT/MANGAN OXID) BATERIE SE VYUŽÍVAJÍ HLAVNĚ VE SPOTŘEBNÍ ELEKTRONICE A RUČNÍM NÁŘADÍ

Lithium Cobalt/Mangan Oxid (LCO/LMO) baterie a jejich modifikace s příměsí jiných oxidů kovů jsou dnes často používané v hračkách, drobné spotřební elektronice a ručním nářadí. Mají podobný poměr hmotnosti a kapacity jako NMC články, ale jsou levnější na výrobu. Životnost je spíše podprůměrná – po přibližně 800 cyklech začínají rychle degradovat. To jistě znáte ze svých notebooků a mobilních telefonů, které po roce až dvou používání již nevydrží to, co nové zařízení. Historicky byly používány i v některých starších elektromobilech, například Nissanu Leaf.



Obrázek č. 4: Diagram vlastností LMO článků Zdroj: batteryuniversity.com

Tyto články se dokážou poměrně rychle nabíjet a vybijet, nicméně pouze při běžných teplotách mezi 10 a 30 °C. Při poklesu teplot pod 5 °C se jejich elektrické parametry rychle zhoršují až na hranu použitelnosti.

V případě zkratu / přebíjení zde hrozí vysoké riziko požáru či exploze. Na základě odborné literatury i testů, které jsme ve společnosti GWL prováděli, nelze tyto články doporučit pro domácí bateriová úložiště, a to právě z důvodu bezpečnosti. Jak dopadne přebíjení či mechanické poškození LCO/LMO/NMC článku můžete vidět na našem videu z testů, stačí naskenovat tento QR kód.



TESLA A SAMSUNG VYUŽÍVAJÍ NCA (NIKL, KOBALT, HLINÍK) BATERIE

Oxid kobalt-níkl-hliníková (NCA) baterie je podobná té s NMC chemií, ale nabízí vyšší hustotu energie (až 300 Wh/kg). Nabíjecí a vybíjecí výkon (cca 1C) i životnost (< 1000 cyklů) jsou průměrné, výrobní náklady naopak nadprůměrné.



Obrázek č. 5: Diagram vlastností NCO článků Zdroj: batteryuniversity.com

Poznámka: Tzv. „C“ násobek je údaj, jakým relativním proudem v poměru ke své kapacitě v Ah se baterie nabíjí nebo vybíjí. Příklad - článek o kapacitě 10 Ah, který vybíjíme proudem 20 A, vybíjíme rychlostí 2C. Když ho budeme ale vybijet proudem 5 A, pak ho zatěžujeme pouze proudem 0,5C.

Problémem je také bezpečnost – platí pro ni to samé, co pro LCO/LMO/LMC baterie, tedy při přebíjení, zkratu nebo mechanickém poškození dojde k prudké exotermické reakci. Baterii lze pak jen velmi těžko uhasit, protože si svým hořením sama produkuje kyslík a teplota může dosáhnout až 3000 °C. Hoří tedy i pod vodou a nelze ji hasit běžnými hasícími přístroji.

Tyto baterie podobně jako LCO/LMO/NMC poznáte podle nominálního napětí článku 3,6 nebo 3,7 V. Do svých elektromobilů je používají společnosti Tesla a Panasonic.

LFP (LITHIUM-ŽELEZO-FOSFÁTOVÉ) BATERIE PRO STACIONÁRNÍ POUŽITÍ

Lithium-železo-fosfátové (LFP / LiFePO₄) baterie jsou dnes nepoužívanější právě ve stacionárních úložištích a průmyslové elektromobilitě. Mají sice nejhorší poměr hmotnosti a kapacity, ale to nám v domě nevnadí. Obrovskou výhodou je však schopnost výrobců je produkovat v kapacitách až 30 kWh na jeden článek, takže kompletní úložiště o kapacitě 1 MWh lze sestavit z pouhých 32 kusů článků! Jiné technologie Li-Ion by na to potřebovaly tisíce kusů a s tím související složitou obslužnou elektroniku.



Obrázek 6: Diagram vlastností LFP článků
Zdroj: batteryuniversity.com

Jsou relativně levné na výrobu, v ceně surového článku se dnes dostaneme na přibližně 200 USD/kWh (rok 2021). Také z pohledu životnosti jsou šampiony, vydrží totiž běžně osm tisíc cyklů, což u domácího či firemního úložiště znamená při denním cyklování nejméně 20 let životnosti.

Bez problému se dokážou rychle vybíjet, takže i baterie o relativně malé kapacitě 5 kWh dokáže poskytnout výkon 10 kW (neboli 2C). Nabíjení může probíhat výkonem až 1C, tedy baterie o libovolné kapacitě se zcela nabije za 1 hodinu.

Protože je katoda vyrobena z oxidů fosforu, železa a lithia, což je v podstatě nerost olivín, je baterie extrémně odolná pro případ zkratu a přebíjení. Nerosty většinou nehoří a olivín není výjimkou.

Jediná hořlavina, kterou články obsahují, je plastový obal článku a organické rozpouštědlo elektrolytu. Ten se však nemůže vznítit přebíjením ani zkratem, museli bychom ho zapálit externím zdrojem tepla, což dle našich testů nebylo úplně jednoduché. A v případě zahoření je baterii snadné uhasit běžnými

hasícími prostředky. Z pohledu toxicity neobsahuje LFP baterie téměř žádné toxické a prostředí škodlivé látky, jako jsou například těžké kovy mangan a kobalt. Lze je dobře recyklovat, ale i bez recyklace a při náhodném průniku do životního prostředí nehrozí žádné škody, pouze ztráta cenných surovin.

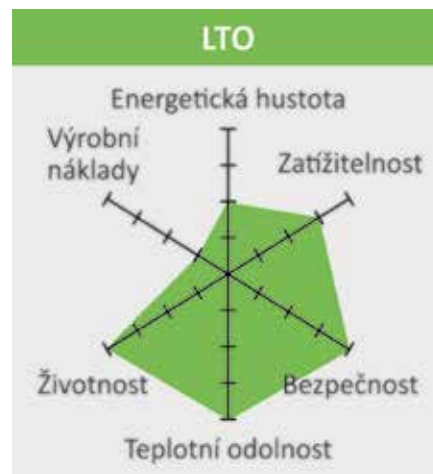
LFP články poznáte snadno – nominální napětí článku je 3,2 nebo 3,3 voltu. To je na jednu stranu výhodou, protože sedimentace elektrolytu na anodě a oxidace na katodě probíhají nejméně při napětích článku nad 3,9 V a teplotách nad 50 °C. Těmto napětím a teplotám se ale LFP baterie při provozu ani nepřiblíží, nabijí se jen na 3,6 V a při provozu se nezahřívají. Výhoda je ale zároveň i nevýhodou: Nízké napětí znamená nižší hustotu energie a navíc, v důsledku přítomnosti železa, se hmotnost článku ještě zvyšuje a hustota energie pak dosahuje jen cca 80–100 Wh/kg.

U NMC/NMO/NCA článků lze bez problémů dosáhnout hustoty dvoj- i trojnásobné (160 - 300 Wh/kg).

NEJSTABILNĚJŠÍ LTO (S TITANIČITANOVOU ANODOU LITHIA) BATERIE

V bateriích s **titanicitanovou anodou lithia** (Li_2TiO_3 – LTO) titanát nahrazuje grafit v anodě a materiál tvoří tzv. spinelovou strukturu. Katodu může tvořit oxid manganický lithný nebo NMC. LTO mají jmenovité napětí článku 2,40 V, podle toho je vždy a snadno poznáte.

LTO články lze rychle nabíjet proudy až 10C, tedy desetinásobkem jmenovité kapacity. Počet cyklů je výrazně vyšší než u ostatních chemií a dosahuje hodnoty až 20 tisíc cyklů, tedy 20krát více, než u ostatních Li-Ion baterií. To je způsobeno právě nahrazením kobaltové směsi na katodě a grafitové anody. Díky tomu LTO články při rychlém nabíjení i vybíjení vnitřně nedegradují, a to ani při provozu v nízkých a vysokých teplotách



Obrázek 8: Diagram vlastností LTO článků
Zdroj: batteryuniversity.com

– ještě při -30 °C poskytnou 80 % nominální kapacity.

Články jsou navíc zcela bezpečné, nehoří ani neexplodují. Zatímco dřívější nevýhodu v podobě vysoké ceny se podařilo odstranit a dnes nejsou LTO články výrazně dražší než jiné chemie, měrná energie je stále pouze 65 – 80 Wh/kg, což je nízká hodnota na úrovni prastaré technologie Ni-Cd.

JAKÉ BATERIE VOLIT PŘI VÝBĚRU BATERIOVÉHO ÚLOŽIŠTĚ?

Kritéria výběru baterie pro bateriové úložiště musí být bezpečnost, životnost a cena. Nezáleží nám na hmotnosti ani energetické hustotě, nepotřebujeme odolnost proti nízkým teplotám, protože úložiště je většinou provozováno ve vnitřních temperovaných prostorách.

Ačkoliv se výjimečně ještě používají i jiné, než lithiové baterie (například olověné na bázi gelu či kyseliny sírové, nikl – kadmiové, nikl – metal – hydridové, nikl – železitě), jedná se o technologie zastaralé, pro které se stále hůře hledá jak opodstatnění, tak dodavatelé.

Bateriové úložiště by mělo být v budoucnu rozebíratelné a servisovatelné tak, aby šlo v případě potřeby vadný článek nahradit. To musí dle servisního manuálu dokázat každá lepší firma, která se servisu úložišť věnuje. Neří nic horšího, než když dodavatel či výrobce zkrachuje, či z jiného důvodu ukončí činnost a vám zůstane baterie, která nefunguje a nelze k ní dohledat servisní manuály ani nikoho, kdo je schopný a ochotný ji rozebrat a opravit. Pak hovoříme o takzvaném „vendor lock-up“ systému a kdo z vás máte zkušenosti se správou softwaru či IT systémů, víte, o čem hovořím.

Garantovaná životnost baterie by měla být nejméně pět tisíc nabíjecích cyklů při hloubce vybití nejméně 80 %. Po dokončení pěti tisíců cyklů by pak měl dodavatel garantovat, že baterie bude mít ještě nejméně 80 % původní kapacity a poskytnout na to finanční garanci, například formou pojištění



Obrázek 7: Zde se v GWL pokoušíme zapálit LFP článek.

	Lithium kobalt LCO	Lithium hořčík LMO	NMC NMC	Lithium železo fosfát LFP	Lithium hliník NCA	Lithium titanát LTO
Nominální napětí	3,60 V	3,70 V (3,80 V)	3,60 V (3,70 V)	3,20 V, 3,30 V	3,60 V	2,40 V
Nabíjecí napětí	4,20 V	4,20 V	4,20 V	3,65 V	4,20 V	2,85 V
Minimální napětí	3,00 V	3,00 V	3,00 V	2,50 V	3,00 V	1,80 V
Hustota energie	150-200 Wh/kg	100-150 Wh/kg	150-220 Wh/kg	90-120 Wh/kg	200-260 Wh/kg	70-80 Wh/kg
Nabíjení max.	0,7-1C	0,7-1C	0,7-1C	3C	1C	10C
Vybíjení max.	1C	1C, 10C špičkově	1-2C	10C	1C	20C
Životnost cyklů	500 - 1000	300 - 700	1000 - 2000	2 000 - 10 000	500 - 1 000	10 000-20 000
Použití	spotřební elektronika	nářadí, hobby, modely	elektromobily, elektrokola	energetická úložiště, průmyslová elektromobilita	elektromobily, průmysl, lékařství, obranný průmysl	speciální aplikace v průmyslu, průmyslová elektromobilita
Riziko samovznícení při přebíjení / zkratu / přehřátí	extrémní	vysoké	vysoké	minimální	extrémní	žádné

Obrázek č. 9: Porovnání základních vlastností bateriových úložišť



Obrázek č. 10: Takto může probíhat pohodlná údržba a servis bateriového úložiště z prismatických článků.

odpovědnosti právního subjektu usazeného v EU, nikoliv čínské firmy se sídlem v Shenzenu. Takové záruky jsou právně nevyzpytatelné, a tedy bezcenné.

Při denním cyklování znamená taková záruka přibližně patnáctiletý provoz. Pozorně

studujte záruční podmínky. I někteří renomovaní výrobci z Německa například na bateriových úložištích uvádí, že kapacita je sice 10 kWh (to je vyvedeno velkým písmem a je to obsaženo v názvu), ale malinkým písmem kdesi v jiném dokumentu je uvedeno, že to je



Obrázek č. 11: Kompletní FV elektrárna, záložní systém a bateriové úložiště z prismatických LFP článků pro domácnost

kapacita hrubá a pro uživatele je „elektronicky“ omezena na 8 kWh. A ještě menším písmem je uvedeno, že tuto „uživatelskou“ kapacitu smíte cyklovat pouze na 80 %, tedy reálně získáte baterii s kapacitou pouze 6,4 kWh.

Pozor také na ochranné a bezpečnostní systémy, tzv. BMS. Ty by měly být taktéž zcela univerzální a kromě proprietární komunikace s nadřazenými systémy (různé uzavřené protokoly, RS485, ModBUS...) mít možnost komunikovat i analogově, tedy pomocí spínaných výstupů pro různá relé, stykače apod. Mějte na paměti, že během životnosti bateriového úložiště můžete několikrát doplnit či vyměnit návazné systémy podle měnících se potřeb domácnosti, výroby či provozu firmy.

Chybu neuděláte, pokud budete trvat na bateriovém úložišti na bázi prismatických (neboli hranatých) LFP nebo LTO článků. Takové úložiště nemůže za žádných okolností samovolně zahořet, explodovat a většinou ho bude možné v budoucnu dobře servisovat. Životnost můžete očekávat na úrovni 15 let a více a to i bez různé složité optimalizace a škrcezení „chytrou“ a složitou elektronikou. Takové úložiště může být i nízkonapěťové na úrovni bezpečného napětí 60 V, a přitom ho stále bude možné nabíjet i vybíjet vysokým výkonem.



O AUTOROVI

MICHAL KLEČKA je zakladatel a spoludávatel společnosti GWL a.s., která je největším evropským dovozcem, prodejcem a integrátorem lithium-železo-fosfátových baterií. Ve firmě se věnuje strategii, technickým inovacím a publikační činnosti. Současně také působí v technické sekci asociace AKU-BAT.



Kontakt: