

FACT SHEET

RECYKLACE BATERÍ A AKUMULÁTORŮ ELEKTŘINY

Obnovitelné zdroje energie a moderní technologie souvisejících s decentralizací, modernizací a digitalizací energetiky prodělávají se stupňující tendencí přibližně od roku 2008-2009 dramatický rozvoj. Klíčovou roli hraje akumulace elektřiny a s ní spojená schopnost výroby a recyklace velkých bateriových úložišť. Jaké jsou vyhlídky na recyklaci velkých akumulátorů a baterie s ohledem na principy ekologicky šetrné postupy a cirkulární ekonomiky?



CIRKULÁRNÍ
HUB PRAHA

Úvod

Obnovitelné zdroje energie a moderní technologie souvisejících s decentralizací, modernizací a digitalizací energetiky prodělávají se stupňující tendencí přibližně od roku 2008-2009 dramatický rozvoj. Spolu s masivnější penetrací národních energetických mixů čistými, nízkoemisními zdroji se rostoucí měrou šíří také fámy a zavádějící výroky spojované s těmito novými technologiemi. Jedním z takto zavádějících tvrzení je, že baterie respektive akumulátory není možné ekologicky likvidovat, recyklovat či vyrábět na základě principů cirkulární ekonomiky.

Přitom jak v současnosti či do budoucna platná legislativa, rostoucí tlak na nerostné suroviny, zejména vzácné kovy, volatilita jejich ceny, surovinová bezpečnost a soběstačnost, stejně jako zaběhlé i nově objevované průmyslové a výrobní postupy ukazují, že principy cirkulární ekonomiky, tedy recyklace, opětovné využívání surovin a předcházení vzniku odpadu a zbytečných energomateriálových toků, budou v sektoru obnovitelných zdrojů elektřiny a jejího ukládání v menších a středně velkých objemech jednou z klíčových oblastí energetiky.

Baterie a akumulátory spolu s obnovitelnými zdroji sehrají klíčovou roli v přechodu na udržitelnou, ekonomicky rozumnou a čím dál méně uhlíkově intenzivní energetiku budoucnosti. O tom, zda dokážeme plně využít benefitů průmyslových odvětví, která se zaměřují na konec životního cyklu zdrojů obnovitelné energie, rozhodne politika a regulatorní prostředí, které stanoví jasná pravidla a podmínky. Zelená dohoda pro Evropu a jí předcházející série legislativních opatření, v podobě energetického balíčku, dlouhodobé strategie pro nízkouhlíkovou ekonomiku či strategie cirkulární ekonomiky, vede řadu firem k tomu, aby hledaly způsoby, jak tyto klíčové politiky a s nimi spojené regulatorní požadavky překlopit v byznysovou příležitost a výhodu a do budoucna jim tak usnadnil obstat v konkurenci vůči asijským výrobcům, zajistil jim dílčí surovinovou nezávislost a samostatnost a připravil na případnou cenovou volatilitu klíčových nerostných surovin.

Recyklace akumulátorů a baterií

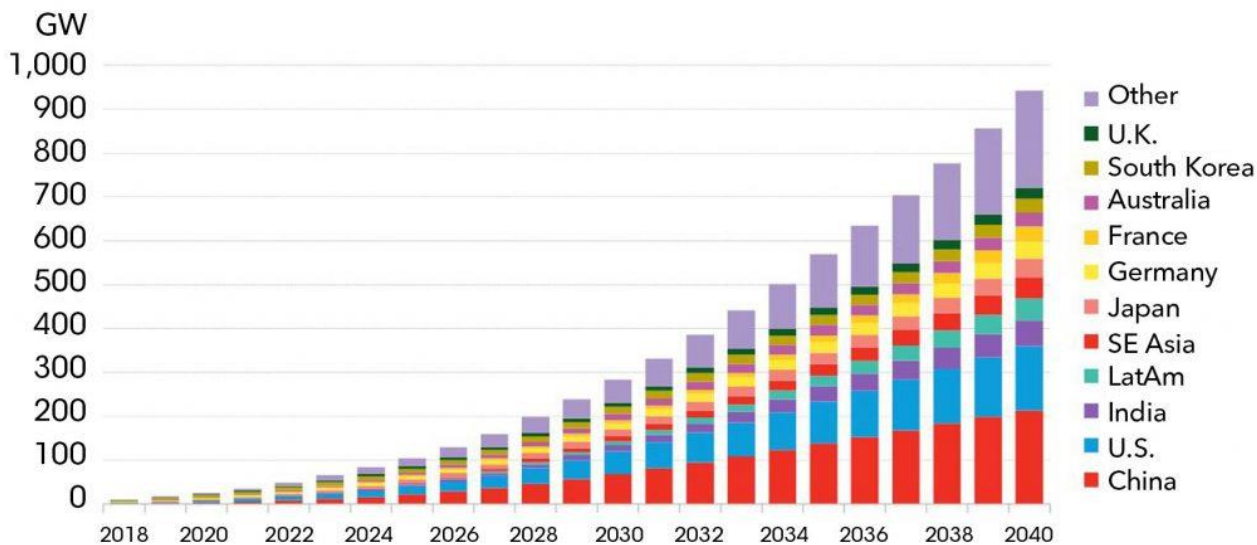
Dobíjecí baterie či též akumulátor je článek sloužící k vícenásobnému uchování elektřiny. První komerční lithiové akumulátory vyrobila firma SONY v roce 1991. Dnes lithiové akumulátory najdeme v téměř každém bezdrátovém elektronickém zařízení či přístroji, jako jsou mobily, notebooky, tablety, hodinky, ovladače, bezdrátové klávesnice, myši, autonomní senzory, záložní a nouzové zdroje, elektrokola a elektrokoloběžky, vrtačky, kardiostimulátory či dobíjecí tužkové baterky AA. A čím dál více nacházejí své místo také v oblasti dopravy a mobility, nejen na úrovni osobních automobilových vozidel, ale také vozidel užitkových (bagry, tahače, atp.), lodí či malých letounů.

Každý rok skončí obrovské množství akumulátorů ve sběrných dvorech, třídících linkách či na skládkách a výjimku netvoří ani EU. V roce 2019 na evropský trh 800 tisíc tun autobaterek, 190 tisíc tun průmyslových baterií a 160 tisíc tun spotřebních baterií. V roce 2015 byl celkový objem

nových spotřebních baterií na evropském trhu 212 tisíc, přičemž ve stejný rok skončilo na skládkách 35 tisíc a 84 tisíc tun se podařilo vysbírat.¹ Podle platné evropské legislativy je třeba minimálně 50 procent všech baterií shromáždit na recyklaci. Tuto normu zatím splňuje jen několik málo členských států EU.

V současnosti lithiové akumulátory výrazně nabírají na velikosti a očekává se jejich exponenciální boom. Začalo to boomem e-kol a následně e-koloběžek a následovat budou další sektory mobility, včetně leteckého a námořního průmyslu. Viz predikce Bloomberg NEF pro vývoj.²

Global cumulative storage deployments



Source: BloombergNEF

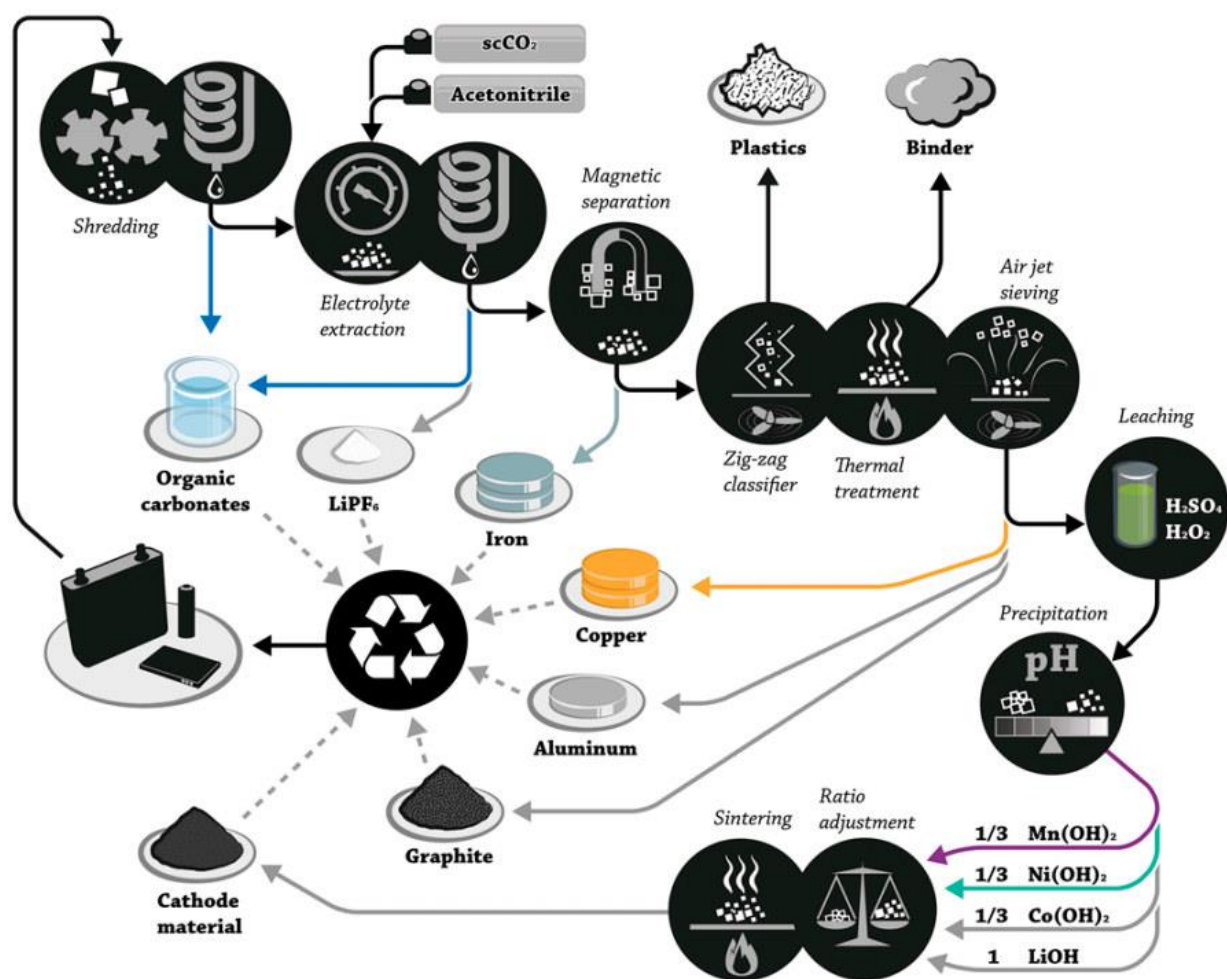
Jak je možné recyklovat akumulátory?

Po chemické stránce je základním rozdílem mezi bateriemi a akumulátory s obsahem lithia, že katoda baterie je tvořena kovovým lithiem a netoxickými kovy. Akumulátory neobsahují kovové lithium. Riziko při recyklaci v exotermní reakci při styku vodní páry s kovovým lithiem je proto výrazně vyšší u baterií než akumulátorů. U akumulátorů je třeba vyřešit vyšší koncentraci kovů, jako jsou nikl a kobalt. Lithiové akumulátory sestávají z těžkých kovů, organických chemikálií a plastů v zastoupení 5-20 % Co, 5-10 % Ni, 5 - 7% Li, 15 % organických chemikálií a 7 % plastů.³

Existují různé metody, jak akumulátory i baterie recyklovat. V současnosti je v komerčních provozech nejčastěji uplatňovaná recyklační metoda pomocí termického rozkladu v uzavřeném cyklu. Recyklují se Li-ion, Li-polymer a NiMH články. V tomto procesu se použité články přímo sázejí do pece bez jakéhokoliv předzpracování drcením, demontáží, kalcinací, pyrolýzou. Plasty plní úlohu redukčního činidla a zdroje energie zároveň.

Kovy se roztaví a koncentrují do slitiny. Tento recyklační postup realizují například společnosti Umicore, SONY, ACCUREC či CITROEN. Účinnost těchto metod se pohybuje na úrovni 60 %

zpětného získání obsažených materiálů. Důvodem relativně nízké míry efektivity recyklace je především přehlížení lithia jako recyklovatelného součásti.



Efektivnější metody recyklace akumulátorů a baterií

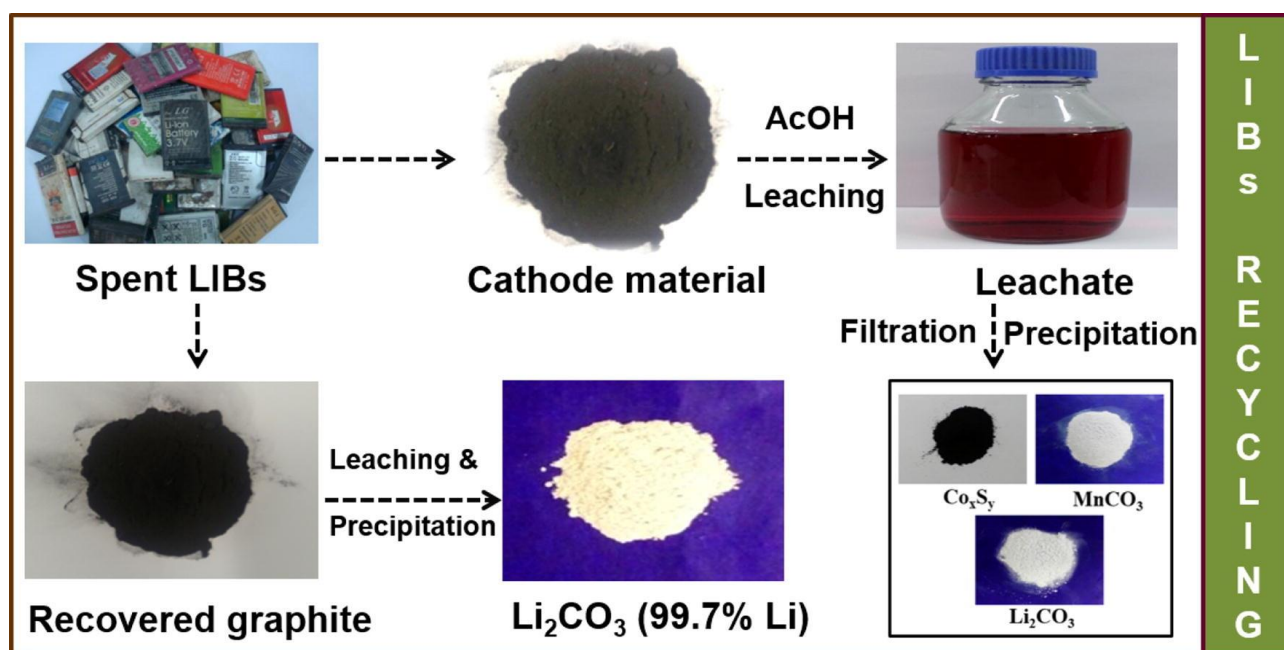
Nedávno popsaná metoda, jak recyklovat lithium-ionové akumulátory, je založena na sto let starém způsobu získávání surovin, které spočívá v kombinaci vody, vzduchu a petroleje.⁴ Metoda známá z těžebního inženýrství, jakou se získávalo železo z rudy, se může použít také na „vysloužilé“ baterie.

Postupy dlouho známé a běžně používané v těžebním průmyslu, které pro separaci mědi a hliníku využívají gravitaci. Pro oddělení dalších komponent (grafit, lithium a kobalt) se používá voda, konkrétně tzv. pěnová flotace. Flotace využívá rozdílné smáčitelnosti povrchu různých materiálů. Některé materiály jdou vodou smáčet snadno, zatímco jiné hůře. Během pěnové flotace se nejednodušší směs, která tvořila obsah baterie, intenzivně míchá ve vodě, která se zároveň nechává probublávat vzduchem. Méně smáčivé (hydrofobní) části ulpívají na vzduchových bublinách, které je vynášejí na hladinu. Zde se shromažďují ve formě pěny, která se mechanicky odstraňuje a dopravuje k dalšímu zpracování. Oproti tomu dobře smáčivé (hydrofilní) částice k bublinám nepřilnou, klesají ke dnu, kde vytvářejí flotační sediment. Pro větší efektivity celého

procesu lze použít chemický sběrač, látku, která přitahuje jen některé minerály a ty následně Inou k bublinám pěny, například petrolej.

Největší výhodou této metody spočívá v nízkých finančních nákladech a velké energetické efektivitě. Takto získané materiály jsou plně vhodné pro opětovné využití v průmyslové výrobě a navíc jsou levnější než vytěžené suroviny.

Další příkladem vysoce efektivní recyklace lithium-iontových baterií je nízkonákladová a ekologicky šetrná metoda recyklace kovů z materiálů obsažených v anodách a katodách mobilních telefonů pomocí loužení.⁵ Touto metodou se daří efektivně získávat oxidy kovů na bázi lithia a grafit a následně je využívat v loužení. Kyselina octová (CH_3COOH , resp. $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) a voda byly použity jako louhy sloužící k recyklaci, respektive opětovnému získání kovů z katody a anody. Efektivnost této metody byla 99,9 % Li, 98,7 % Co a 99,5 % Mn v případě katody v časovém rozpětí 40 minut a 70°C a hustoty 20g/l. Kromě louhování katody se lithium pomocí této metody získává z grafitového materiálu anody za užití vody jako rozpouštědla s výsledným produktem Li_2CO_3 (99,7 % Li). Z louhování katody se podařilo získat 99 % kobaltu sulfid kovu s výslednou čistotou 99,2% a následně se podařilo získat MnCO_3 výslednou čistotou 98,7% a Li_2CO_3 s výslednou čistotou 99,4 %.



Materiály z katody a anody z manuálně rozebraných doslouživších lithiových baterií se nechaly zreagovat s kyselinou octovou. Nejlepší výsledky louhování 99,9 % Li z grafitu za pomoci zeleného rozpouštědla na bázi vody coby louhu. Takto získané cenné produkty z vysloužilých baterií mohou posloužit jako prekursory pro syntézu katodových materiálů, které by měly přispět k udržitelnosti bateriového průmyslu.

Obdobně vysoké účinnosti recyklace li-ionových baterií dosahují také Taguchiho metoda či mechanicko-chemický postup popsany výzkumníky Čínské akademie věd, za užití kyseliny

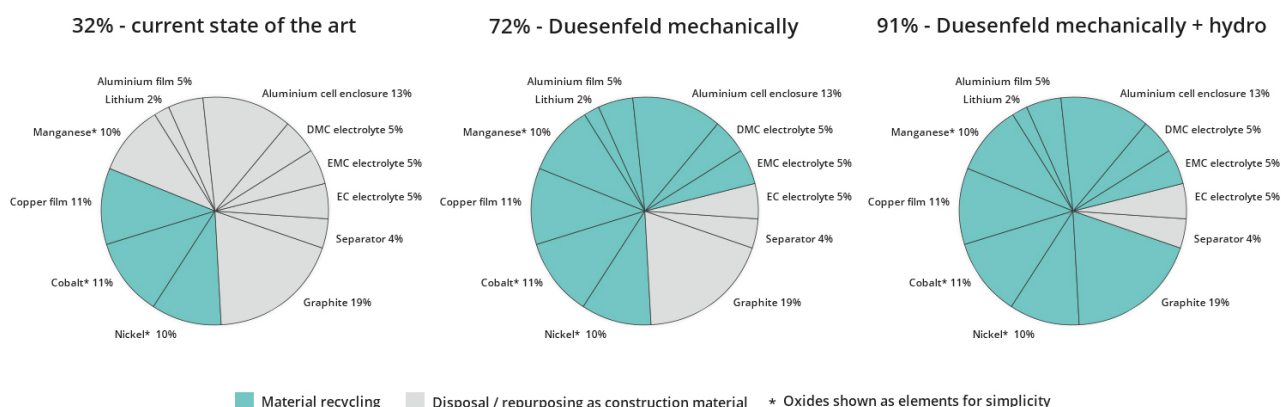
ethylenediamintetraoctové (EDTA) coby chelatačního činidla a následného vzniku Li-EDTA and Co-EDTA.⁶

Ekologická recyklace lithium-iontových baterií firmy Duesenfeld

Za pozornost stojí také úspěšné metody recyklace baterií, užívané v některých komerčních provozech. Německá společnost Duesenfeld používá patentovanou metodu recyklace, která kombinuje mechanické, termodynamické a hydrometalurgické postupy. Díky této metodě je pomocí velmi malých energetických vstupů možné dosáhnout výjimečné míry zpětného získání a následného využití obsažených materiálů. Nízká energetická náročnost celého procesu je dána tím, že firma neuplatňuje energeticky náročné techniky, které se běžně používají při recyklaci baterií, jako je tavení, pyrolýza nebo zahřívání.

Touto cestou firma recykluje nejen obvyklé kovy, ale také grafit, elektrolyt a lithium. Při výrobě druhotných surovin se pomocí recyklačního procesu Duesenfeld v porovnání s primární těžbou surovin ušetří 8,1 tun CO₂ na tunu recyklovaných baterií. Ve srovnání s konvenčními procesy tavení šetří metoda Duesenfeld 4,8 tun CO₂ na tunu recyklovaných baterií.

Recycling efficiency of a lithium-ion battery cell



Úspora CO₂ metody Duesenfeld ve srovnání s dalšími postupy

U lithium-iontových baterií dosahuje metoda Duesenfeld míry využití materiálu, která je téměř dvojnásobná oproti konvenčním metodám recyklace. Je doplněna hydrometalurgickými procesy, je možné dosáhnout míry recyklace téměř 100%. Proces mechanické recyklace může být proveden ve stacionární i mobilní konfiguraci na sběrných místech v kontejnerech o délce 40 stop. Baterie s ukončenou životností se obvykle klasifikují jako nebezpečné zboží a přepravují se v přepravních kontejnerech na baterie. Mechanické zpracování in situ odděluje elektrolyt od ostatních materiálů a pro výsledné produkty není potřeba speciální přepravní nádoba na baterie. Tyto meziprodukty se přepravují ve standardních kontejnerech, což znamená, že průměrný kamion může nést

sedmkrát tolik. Toto snížení přepravy nebezpečných věcí eliminuje většinu nákladů na celý proces recyklace baterií.

Ve svém mechanickém recyklačním procesu dosahuje společnost Duesenfeld 72% míry recyklace materiálu, zatímco zpracování tmavé hmoty pomocí hydrometalurgického procesu Duesenfeld zvyšuje míru recyklace materiálu na 91%. Pouze separační film a složky elektrolytu s vysokými body varu se v současné době nedají obnovit. Díky těmto hodnotám Duesenfeld překonává současné požadavky směrnice EU o bateriích 2006/66 /EC.

Firma Duesenfeld vyvinula speciálně pro lithium-iontové baterie inovativní řetězec procesů, který je chráněn širokou škálou patentů. Unikátní kombinace mechanického zpracování a hydrometalurgických procesů a skutečnost, že firma nevyužívá vysokoteplotní procesy, umožňují vysoce efektivní proces recyklace materiálů z baterií.

Mechanická příprava lithium-iontových baterií je náročný úkol vzhledem k hořlavému elektrolytu a nebezpečným komponentům. Pro zajištění bezpečné přípravy vyvinul Duesenfeld patentovanou metodu, která eliminuje rizika. Po vybití a demontáži jsou baterie rozdrceny v atmosféře inertního plynu a rozpouštědlo v elektrolytu se získá z drceného materiálu vakuovou destilací. Nízká teplota procesu zabraňuje tvorbě toxických plynů. Separované rozpouštědlo je posláno do chemického průmyslu pro další využití.

Vysušený drcený materiál je rozdělen na různé frakce materiálu na základě fyzikálních charakteristik, jako jsou velikost částic, hustota či magnetické a elektrické vlastnosti; ty pak podléhají dalšímu metalurgickému zpracování. Frakce železa, mědi a hliníku jsou odeslány ke standardní recyklaci. Duesenfeld vyvinul hydrometalurgickou metodu zpracování černé hmoty, která obsahuje elektricky aktivní materiály a vodivou sůl. Tímto postupem společnost z černé hmoty získává kobalt, lithium, nikl, mangan a grafit. Ve většině průmyslových hydrometalurgických procesů, které se v současné době používají pro zpracování černé hmoty, se získává pouze kobalt a nikl. Lithium, mangan a grafit.

Životnost akumulátorů

Životnost velkých akumulátorů překračuje běžně rozšířenou laickou představou, že jejich životnost je maximálně 2 roky. Z dlouhodobých studií moderních akumulátorů vyplývá, že běžně překonají 1 200 nabíjecích cyklů s garancí 70 - 80 % původní kapacity. To podle ČSÚ odpovídá při současném využití 20-30 let provozuschopnosti. Navíc kdyby využitelná kapacita akumulátoru by klesla na 70 %, stále může ještě dlouhá léta sloužit jako stacionární úložiště elektrické energie. Ovšem i akumulátory s degradovanou kapacitou mohou i nadále sloužit svému původnímu účelu, jak ukazuje francouzský start-up Transition-One, který vykupuje baterie z vyřazených vozů Tesla a konvertuje vozy Renault Twingo II, Fiat 500, Citroen C1, Peugeot 107, Toyota Aygo, VW Polo na elektromobil s dojezdovou vzdáleností 100 při maximální rychlosti 110 km/h. Současná cena přetvořeného automobilu, který startup umí vyrobit za jediný den, je 8,5 tisíc euro, tedy přibližně za 220 tisíc korun, ale firma počítá s tím, že zefektivněním celého procesu sníží cenu až na 5 tisíc

euro, tedy 130 tisíc korun. První elektromobily tohoto druhu plánuje na trh dodat v roce 2020, v plánu má vyrobit celkem 4 tisíce ročně.⁷

Recyklační linky automobilek

Už nyní jsou u řady velkých intermitentních zdrojů obnovitelné energie (vítr a slunce) využívány staré akumulátory pro vykrývání nerovnoměrné výroby elektrické energie. Takovým příkladem je fotbalový stadion Ajaxu Amsterdam, v jehož útroběch se nachází 148 akumulátorů z první generace Nissan Leaf, která slouží jako úložiště elektřiny s kapacitou 4 MWh pro fotovoltaickou elektrárnu s kapacitou 3 MWp instalovanou na střeše stadionu.

Dalším příkladem je VW, který od 2020 začíná se sériovou výrobou Mobile Powerbank ve formátu malého kontejneru nebo nabíjecího stojanu s instalovanou kapacitou 360 kWh ze starých vyřazených trakčních akumulátorů. Plán je nasazovat toto zařízení při různých společenských akcích, odlehlých parkovištích, místech s nestálou nebo nedostatečnou kapacitou pro rychlé nabíjení. Případně i pro humanitární účely v době přírodních katastrof nebo geopolitických nepokojů.

Za běžných podmínek se akumulátor z elektromobilu dostane k recyklaci odhaden za 20 let provozu. A proto, když nyní často vidáme velké titulky "odborných" internetových i tištěných zpravodajských služeb a bombardují nás výsledky Meta-studie, že neexistují žádné recycling koncepty a průmysl vůbec není připraven na obrovské množství vyřazených akumulátorů, tak je to jen polopravda. Protože skutečnost je prostě taková, že tyto hory vyřazených akumulátorů ještě neexistují.

Nedostatek akumulátorů k recyklaci

Počet moderních linek a relativně velké nevyužití jejich zpracovatelské kapacity je omezen zatím nízkým množstvím dostupných velkých akumulátorů k recyklaci a relativně nízká tržní hodnota lithia a koncentrace v samotných akumulátorech ve srovnání s cenou Co, Ni, Cu, Al, jakož i velmi nízké počty recyklovaných akumulátorů. Podle údajů zpracovatelských společností pro rentabilní recyklaci lithia musí pětinásobně zvýšit přísun velkých akumulátorů. Závody jsou dimenzovány na zpracování přes 3 000 tun velkokapacitních akumulátorů ročně.

To se změní do budoucna otevřením nových výrobních závodů samotných automobilek. Poté bude každý zdroj lithia vítán a recyklace se stane rentabilní. Zařízení jsou běžně dimenzované na zpracování okolo 7 000 tun ročně. V současnosti jsou vytížené převážně zpracováním malých baterií. Výhodou jejich provozu je velmi snadné zpracování poškozených akumulátorů bez nutnosti jejich hloubkového vybití. V případě kompletní recyklace je momentální technologická hranice někde na úrovni 80 % zpětné výtěžnosti.

Zároveň jsou v komerčním provozu dostupné technologie, které recyklují baterie až na úrovni 96 %, při zpracování akumulátorů i baterií aplikují hydrometalurgické metody. Těmi disponuje například již zmíněná německá společnost Duesenfeld či firma Redux. Pozoruhodné na těchto

recyklačních závodech je využití zbytkového napětí zpracovávaných článků, které po hloubkovém vybití slouží přímo k pohonu samotné recyklační linky.

Články jsou drcené v dusíkem naplněném prostředí, které brání reakci vody s lithiem a hrozící termální události. Toto umožňuje zpracování i poškozených akumulátorů a baterií, které nebylo možné kompletně zbavit zbytkového napětí. Získaný granulát se opakovaně drtí až na prach, z něhož se pomocí elektrochemických procesů, jakož i louhováním v kyselinách získávají jednotlivé kovy.

Za současných podmínek nedává smyslu provozovat velkokapacitní průmyslové zařízení k likvidaci lithiových baterií a akumulátorů z elektrických vozidel. Příštích 10 let by totiž taková instalace neměla dostatek materiálů. Z provozně ekonomického hlediska bude stavba stavět sběrná místa ve formátu giga factory dávat smysl až přibližně za deset let.

Proto firmy volí jiné postupy, Například automobilka VW k budované výrobní lince na lithiové akumulátory ve městě Salzgitter připojí také recyklační centrum. V první fázi pouze jako pilotní jednotku s roční kapacitou na úrovni 1 200 tun, což se rovná přibližně 3 tisícům elektromobilů. VW se chystá využívat chemický proces hydrometalurgického zpětného získávání základních surovin pro vlastní výrobu s minimální 90% účinností. Obdobné závody v dohledném čase pravděpodobně postaví také další automobilky, výrobci baterií i akumulátorů. A jejich hlavním motivem nebudou ušlechtilé environmentální cíle, ale ekonomický pragmatismus snižování provozních a výrobních nákladů.

Zdroje:

- Redux GmbH <https://www.redux-recycling.com/en/>
- Duesenfeld GmbH <https://www.duesenfeld.com/>
- UMICORE <https://www.umicore.com/>
- Transition One <https://transition-one.fr>
- Special Issue „Circular Economy of Batteries Production and Recycling“ (ISSN 2313-0105)
- [Waste Electrical and Electronic Equipment \(WEEE\) Handbook \(Second Edition\)](#) Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials 2019, Pages 371-391
- Lithium Ion batteries and EVs <https://www.solonpartners.com>
- Subramanian Natarajan, Arvind B. Boricha, Hari C. Bajaj: "Recovery of value-added products from cathode and anode material of spent lithium-ion batteries". *Waste Management*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.032>
- Jinqi Xu: A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries, *Journal of power sources*, Volume 177, Issue 2, 2008, ISSN:0378-7753 <https://link.springer.com/article/10.1007/s41918-018-0012-1>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. Theecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>, Version: Ecoinvent 3.6 cut-off
- Öko-Institut e.V. Ökobilanz LiBRi, 2011, Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge – LiBRi <https://www.oeko.de/uploads/oeko/oekodoc/1499/2011-068-de.pdf>
- The Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries: a Review of Current Processes and Technologies <https://link.springer.com/article/10.1007/s41918-018-0012-1>
- Economical recycling process for spent lithium-ion batteries and macro- and micro-scale mechanistic study https://www.researchgate.net/publication/322865158_Economical_recycling_process_for_spent_lithium-ion_batteries_and_macro-_and_micro-scale_mechanistic_study
- Development of a Recycling Process for Li-Ion Batteries by Haiyang Zou <https://web.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-042412-153435/unrestricted/hyzou.pdf>
- A laboratory-scale lithium-ion battery recycling process <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775300005231>
- A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775307026195>
- Ecofriendly recycling of lithium-ion batteries
- https://www.duesenfeld.com/recycling_en.html
- <https://www.energy-storage.news/blogs/batteries-need-to-be-renewable-too-why-recycling-matters-now>
- http://www.akubat-asociace.cz/wp-content/uploads/2019/09/190923_PRO-ENERGY.pdf
- <https://www.asiatimes.com/2019/03/article/new-battery-to-revolutionize-energy-storage/>
- <https://www.ft.com/content/fa6f2830-6a97-11e9-9ff9-8c855179f1c4>
- <https://qz.com/1588236/how-we-get-to-the-next-big-battery-breakthrough/>
- <https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/Published%20Supporting%20Study%20Evaluation.pdf>
- <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-620-billion-investment-opportunity-2040/>
- <https://www.mojelektromobil.sk/ako-je-to-s-recyklaciou-akumulatorov-pri-elektromobiloch-blog/>

- Ruiting Zhan, Zachary Oldenburg, Lei Pan: „Recovery of Active Cathode Materials from Lithium-Ion Batteries Using Froth Flotation“. *Sustainable Materials and Technologies*, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993718300241>
- Subramanian Natarajan, Arvind B. Boricha, Hari C. Bajaj: "Recovery of value-added products from cathode and anode material of spent lithium-ion batteries". *Waste Management*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.032>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18302551>
- <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.006>



Autor František Marčík

Vydáno v lednu 2020, Praha/Brno.

Projekt realizuje BIC Brno



T A
Č R

Informační list byl sestaven v rámci projektu číslo TL01000317 s názvem "ODPAD ZDROJEM neboli uplatnění nových metod výzkumu pro rozvoj cirkulární ekonomiky v ČR", který je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu ÉTA.