

Přehled zařízení pro recyklaci lithium-iontových baterií (LIB) v ČR a Evropě

Konečný uživatel výsledků: **Ministerstvo životního prostředí**

Vršovická 1442/65

Praha 10, 100 10

Název projektu:	Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost CEVOOH
Číslo projektu:	CEVOOH SS02030008
Řešitel projektu:	Česká informační agentura životního prostředí (CENIA) Moskevská 1523/63, Praha 10, 101 00
Vypracoval:	Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i. Rozvojová 135, Praha 6 – Suchbátka, 165 00 https://www.icpf.cas.cz/
Doba řešení:	2021 až 2026

Cíl projektu: Cílem projektu je vybudování dlouhodobě pracující, odborné, interdisciplinární, výzkumné základny tvořené klíčovými výzkumnými organizacemi disponujícími expertízou a odbornou kapacitou pro provádění výzkumu v oblasti odpadového a oběhového hospodářství v širších souvislostech. Centrum bude poskytovat Ministerstvu životního prostředí, dalším resortům, odborným platformám a dalším subjektům výsledky výzkumu, rozšiřování vědeckých poznatků a expertní podporu při tvorbě politik, strategií a regulací. Centrum tvořené konsorciem osmi výzkumných organizací a univerzit je zaměřeno na provádění výzkumu

Stránka 1 z 17

T A Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a **Č R** Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

v tematických oblastech souvisejících s přechodem České republiky z lineárního na cirkulární hospodářský model. Tento přechod vyžaduje výzkum v nových, dosud neřešených oblastech, jakými jsou například materiálové toky surovin, inovativní technologie zaměřené na minimalizaci použití primárních surovin ve výrobě, maximální materiálovou využitelnost a využívání odpadů, vedlejších produktů a meziproductů, ekodesign produktů, sledování a vyhodnocování nejen environmentálních, ale také sociálně-ekonomických procesů. Hlavními tematickými oblastmi, na které se Centrum v rámci své činnosti zaměří, jsou odpadové a oběhové hospodářství, monitoring a rozvoj nových monitorovacích nástrojů sledování přechodu k oběhovému hospodářství, včetně vývoje nových indikátorů, analýza životní cyklu výrobků, ekodesign, problematika kontaminace prostředí z hlediska technologií, nově se vyskytujících polutantů, využití nových metod a přístupů k identifikaci a odstranění znečištění, např. prostřednictvím dálkového průzkumu země. Neopominutelným tématem je také oblast environmentální bezpečnosti, prevence závažných havárií a tím související témata kybernetické bezpečnosti a společenské přijatelnosti environmentálně a technologicky podmíněných. Činnost Centra propojuje přírodovědné, technické a humanitní obory v jedné interdisciplinární platformě s cílem posunout ČR blíže k oběhovému hospodářství.

Informace o autorském týmu:

Hlavní řešitel projektu: **Mgr. Miroslav Havránek**

Garant výsledku: **Ing. Michal Šyc, Ph.D.**

Autorský kolektiv:

Ing. Petra Kameníková, Ph.D. (Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.)

Ing. Michal Šyc, Ph.D. (Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.)

Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.

Rozvojová 135, Praha 6 – Suchbátka

Česká Republika, 165 00

<https://www.icpf.cas.cz/>



INSTITUTE
OF CHEMICAL
PROCESS
FUNDAMENTALS
OF THE ASCR

Garant MŽP: **Ing. Vlastislav Kotrč**

Další informace o výstupu:

Výstup byl vytvořen v rámci řešení projektu CEVOOH – Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost, jehož řešitelem byla Česká informační agentura životního prostředí (CENIA).

T A
Č R

Projekt je podpořen Technologickou agenturou České republiky (TA ČR) v rámci 2. veřejné soutěže Programu na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život, projekt číslo SS02030008.

T A
Č R

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Kapacity pro recyklaci LIB v Evropě.....	6
3	Průmyslová zařízení pro recyklaci LIB v Evropě.....	10
4	Situace v ČR.....	13
5	Seznam literatury.....	15

1 Úvod

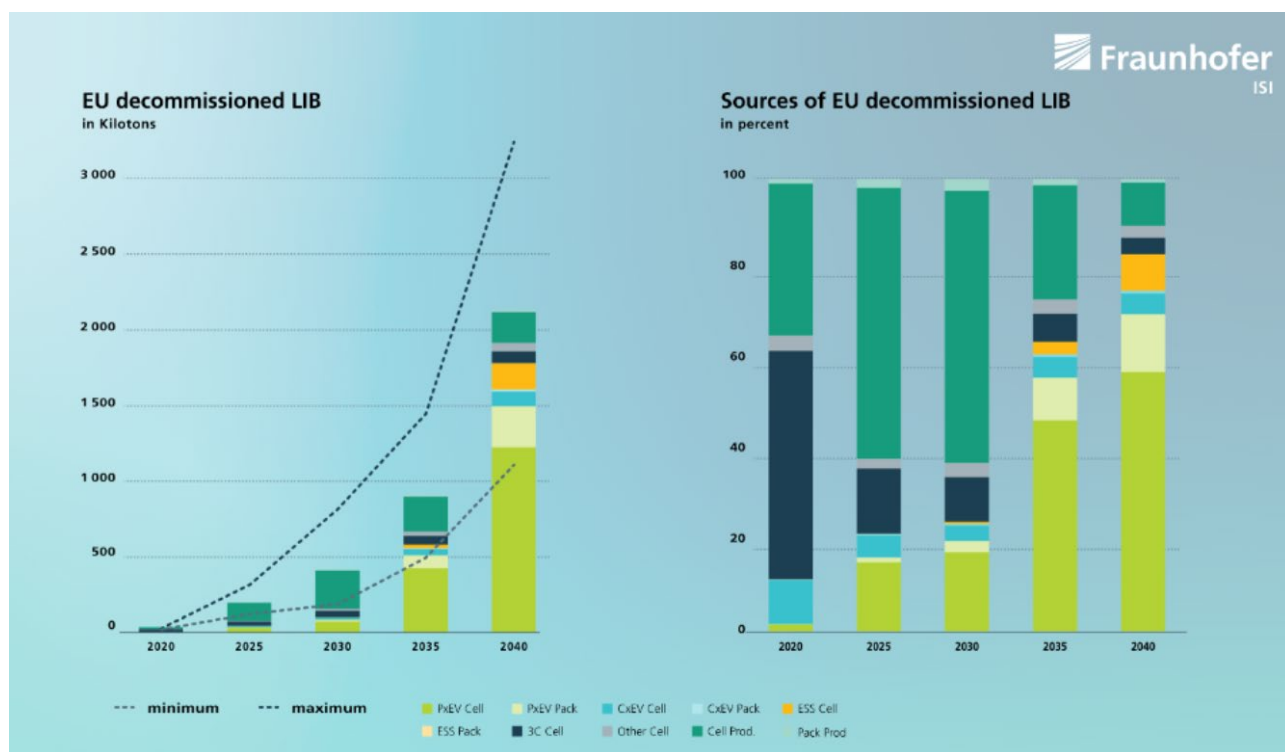
Tato zpráva navazuje na předchozí výzkumnou zprávu „Analýza současného stavu v oblasti lithiových baterií“ z října 2022 [1] , ve které byl uveden přehled jednotlivých typů lithium-iontových baterií (LIB), jejich složení zejména s ohledem na cenné složky, a možnosti využití. Dále byla představena produkce LIB v minulých letech a předpoklad budoucího vývoje na trhu. V poslední části byly popsány dostupné průmyslové metody pro recyklaci LIB a příklady fungujících recyklačních technologií.

Cílem aktuální zprávy je zmapovat situaci v oblasti recyklace LIB v ČR a Evropě a aktualizovat přehled fungujících průmyslových zařízení.

2 Kapacity pro recyklaci LIB v Evropě

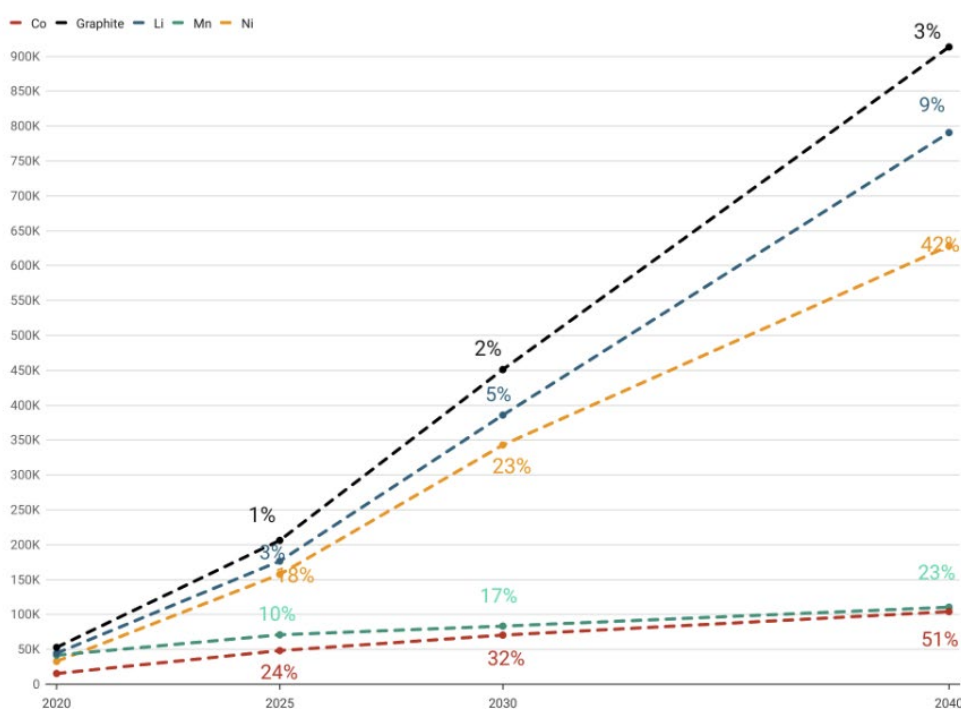
Jak bylo diskutováno v předchozí zprávě [1], množství LIB uváděných na trh každoročně narůstá, v posledních letech především v důsledku rozvoje elektromobility a bateriových úložišť. S tím bude zároveň narůstat množství vyřazených baterií určených k recyklaci.

Podle studie německé výzkumné organizace Fraunhofer ISI [2] je aktuálně v Evropě ročně recyklováno asi 50 kt vyřazených LIB. V roce 2030 by mohlo množství LIB určených k recyklaci vzrůst na 420 kt (podle různých scénářů v rozmezí 200-800 kt) a v roce 2040 dosáhne asi 2100 kt (1100-3300 kt), jak je ukázáno na Obr. 1 vlevo. Na Obr. 1 vpravo je znázorněn původ vysloužilých baterií. Zatímco v roce 2020 pocházela většina vysloužilých baterií ze spotřební elektroniky (v grafu tmavě modrá), v současnosti tvoří nejvýznamnější podíl odpad z výroby baterií (tmavě zelená). Tento trend bude v následujících letech pokračovat, dokud nedosáhne konce životnosti větší množství baterií z elektromobilů, což by mohlo nastat kolem roku 2035.



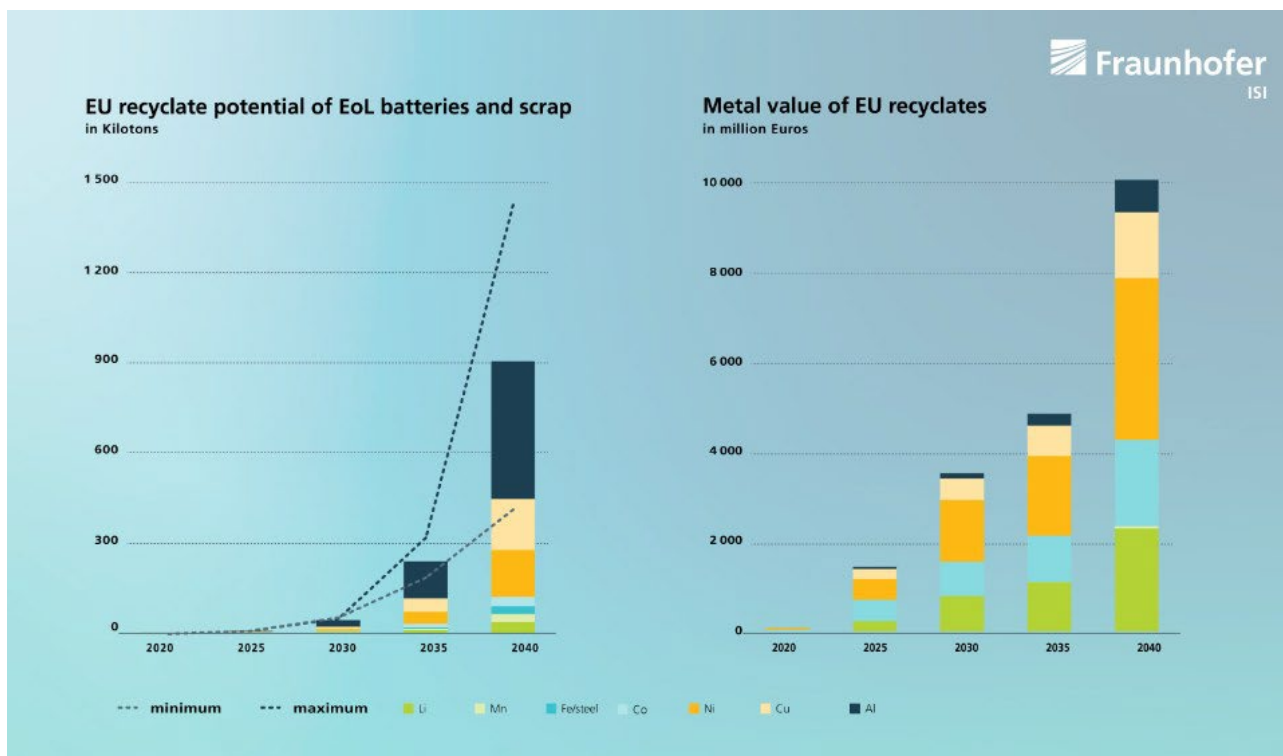
Obr. 1: vlevo: Množství recyklovaných LIB v Evropě (EU27, UK, Norsko, Švýcarsko) v letech 2020-2040, vpravo: jejich původ. Zdroj: Fraunhofer ISI [2].

Materiál získaný recyklací baterií má potenciál nahradit část vstupních surovin nutných pro výrobu nových baterií a tím snížit závislost na dovozu těchto surovin. S ohledem na stále rostoucí množství produkovaných baterií je ovšem zřejmé, že z druhotných zdrojů bude možné nahradit jen menší část potřebných materiálů. Analýza JRC zveřejněná v rámci Raw Materials Information System (RMIS) [3] odhaduje, že v roce 2025 by z druhotných zdrojů mohlo pocházet např. 24 % Co, 8 % Ni a 3% Li a do roku 2040 by tyto hodnoty mohly vzrůst na 51 % Co, 42 % Ni a 9 % Li. Tyto hodnoty spolu s předpokládanou spotřebou surovin pro výrobu jsou uvedeny v grafu na Obr. 2.



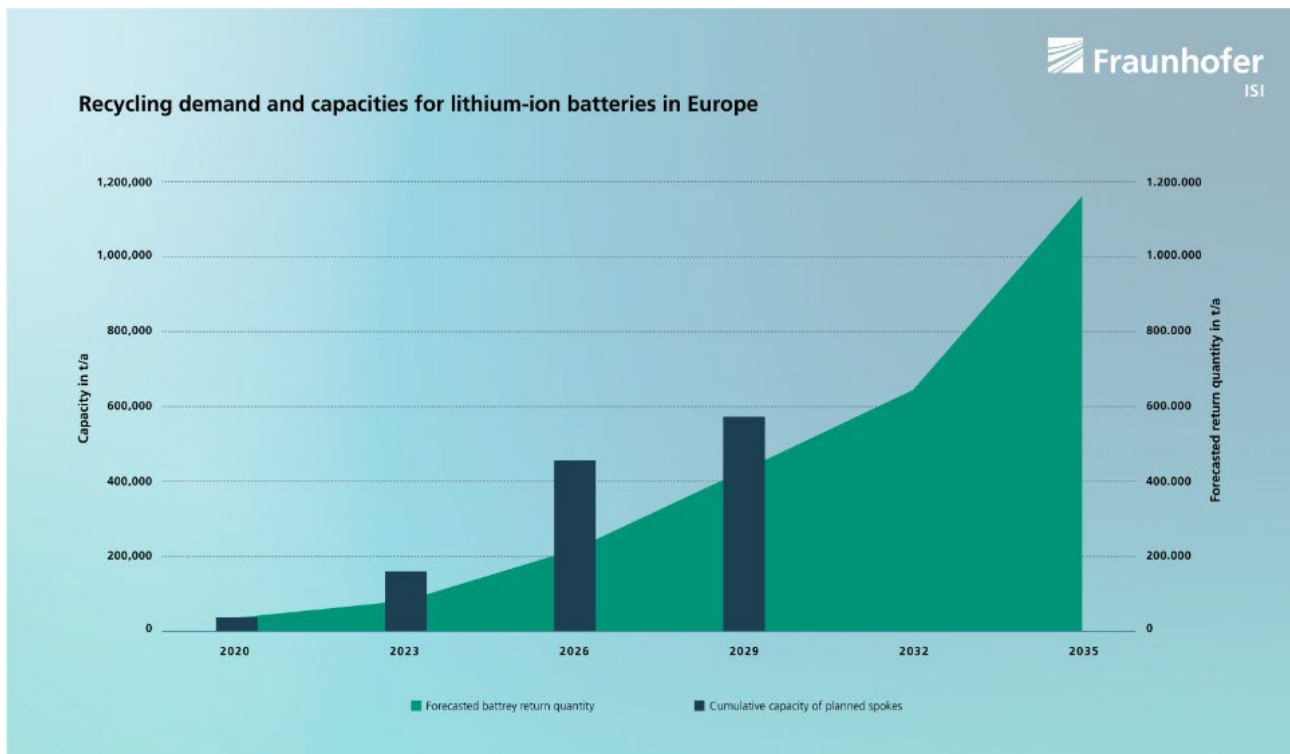
Obr. 2: Odhad spotřeby surovin pro výrobu baterií (t) a potenciál druhotných zdrojů (%) v EU v letech 2020-2040. Zdroj: RMIS – JRC EC [3].

Fraunhofer ISI uvádí rámcově podobné hodnoty: podle jejich modelu může z druhotných zdrojů v roce 2040 pocházet 40 % Co a více než 15 % Li, Ni a Cu potřebných k výrobě nových baterií [2]. Na Obr. 3 je uveden potenciál vybraných cenných složek baterií určených k recyklaci a jejich tržní hodnota.



Obr. 3: vlevo: Množství vybraných cenných složek ve vysloužilých LIB (kt), vpravo: jejich tržní hodnota založená na cenách v letech 2021/2022. Zdroj: Fraunhofer ISI [2].

Kapacita recyklačních zařízení pro zpracování LIB v Evropě činila v roce 2020 okolo 60 kt/rok, v roce 2023 se zvýšila na 160 kt/rok a v roce 2025 dosáhne podle předpokladů až 400 kt/rok [4]. Na Obr. 4 jsou tyto kapacity porovnány s předpokládaným množstvím dostupných baterií k recyklaci. Z porovnání vyplývá, že přinejmenším do roku 2030 jsou plánované kapacity vyšší než skutečné množství dostupného materiálu. Je tedy možné, že někteří zpracovatelé své plány na stavbu nových zařízení, případně rozšíření stávajících, přehodnotí s ohledem na aktuální vývoj situace.



Obr. 4: Kapacita recyklačních zařízení v Evropě a předpokládané množství baterií určených k recyklaci. Zdroj: Fraunhofer ISI [4].

3 Průmyslová zařízení pro recyklaci LIB v Evropě

V této kapitole je uveden přehled fungujících průmyslových zařízení pro recyklaci LIB v Evropě. Základní informace, jako je instalovaná kapacita a rok spuštění, pocházejí převážně ze studie Fraunhofer ISI [4] a z přehledného článku Baum et al. [5]. Další informace o technologii jsou doplněny, pokud jsou dostupné.

Umicore (Hoboken, Belgie)

- Kapacita: 7000 t/rok.
- Rok spuštění: 2020.
- Technologie: Materiál bez významnější předúpravy je nejprve zpracován pyrometalurgicky v pyrolyzní tavící peci za přídavku koksu, písku a vápence. V peci se nejprve při teplotě do 300 °C odpaří elektrolyt, následně při teplotě kolem 700 °C jsou pyrolyzovány plasty a grafit. Energie získaná z organických složek údajně stačí pro provoz celého procesu. V poslední zóně dochází k redukci a tavení materiálu za teploty 1200–1450 °C. Produktem je jednak slitina obsahující kobalt, nikl a měď, která se dále zpracovává hydrometalurgicky, dále struska obsahující lithium, hliník a mangan. Struska je využívána ve stavebnictví nebo může být také dále zpracována hydrometalurgicky pro získání lithia nebo kovů vzácných zemin. Plynné produkty pyrolýzy jsou čištěny tzv. „UHT technologií“, která zajišťuje úplný rozklad organických látek. Fluor je zachycen v popílku, který je skládkován. [6]

Accurec (Krefeld, Německo)

- Kapacita: 4000 t/rok.
- Rok spuštění: 2016.
- Technologie: Proces recyklace začíná podle potřeby tříděním, rozmontováním a vybitím baterií. Následuje termální předúprava v rotační peci, kde jsou pyrolyzovány organické složky baterií, a to při teplotě do 600 °C, aby nedocházelo ke ztrátám hliníku. Pyrolyzované baterie jsou dále zpracovány mechanicky – tříděním, drcením a separací na jednotlivé frakce – ocel, frakce Al/Cu a katodový materiál bohatý na Co a Ni. Tyto frakce jsou odesílány k dalšímu zpracování jiným společnostem – Fe, Al, Cu k hutnickému zpracování a koncentrát Co a Ni k pyrometalurgickému a následně hydrometalurgickému zpracování. [7,8]

Nickelhütte Aue (Aue, Německo)

- Kapacita: 4000 t/rok.
- Rok spuštění: 2020.

- Technologie: Kombinace pyrometalurgického a hydrometalurgického procesu. Termální krok je realizován vsádkově v bubnové peci nebo kontinuálně v rotační peci.

Hydrovolt (Frederikstad, Norsko)

- Kapacita: 12000 t/rok (plán navýšení na 75 tis. t/rok v r. 2025 a 300 tis. t/rok v r. 2030).
- Rok spuštění: 2022.
- Technologie: Není známo. Získaná black-mass má být dodávána ke zpracování do Northvolt Revolt Ett. [9]

Northvolt Revolt Ett (Skellefteå, Švédsko)

- Kapacita: 25000 t/rok (plánováno až 125 tis. t/rok).
- Rok spuštění: 2021 (?) – podle dostupných informací není jasné, zda bylo spuštěno, nebo je ve výstavbě. [10]

AkkuSer (Nivala, Finsko)

- Kapacita: 4000 t/rok.
- Rok spuštění: 2021.
- Technologie: Založená na mechanickém zpracování baterií (tzv. Dry-technology). Zpracování spočívá ve dvoustupňovém drcení v ochranné atmosféře dusíku, s následnou magnetickou a mechanickou separací. Získaný prášek s koncentrovanými kovy je předáván k pyrometalurgickému zpracování. Udávanou výhodou procesu je, že nespotřebává vodu, chemikálie ani teplo a nevyžaduje předúpravu baterií.

Stena Recycling (Halmstad, Švédsko)

- Kapacita: 10000 t/rok.
- Rok spuštění: 2023.
- Technologie: Není známo, black-mass má být dodávána ke zpracování do BASF (Schwarzheide) [12,13]. Ve švédském závodě má být zpracováván i materiál získaný předúpravou baterií v závodech Stena ve Švédsku, Dánsku, Polsku, Finsku, Norsku, Německu a Itálii [14].

BASF (Schwarzheide, Německo)

- Kapacita: 15000 t/rok.
- Rok spuštění: 2024.
- Technologie: Dvoustupňové drcení (suché) probíhající v inertní atmosféře, následuje vakuové sušení, při němž jsou nadrcené baterie mírně zahřívány, elektrolyt je odpařen

a materiál baterií je dále dezintegrovan a homogenizován. Nakonec je materiál rozšířován a je oddělena black-mass od plastových a kovových součástí. [15,16]

Fortum (Ikaalinen a Harjavalta, Finsko)

- Kapacita: 3000 /10000 t/rok.
- Rok spuštění: 2021/2023.
- Technologie: Baterie jsou mechanicky předupraveny v závodě v Ikaalinen, následně je black-mass hydrometalurgicky zpracována v Harjavalte [17,18]. Závod v Harjavalte zpracovává i black-mass z továrny Fortum v německém městě Kirchartd (o kapacitě 3000 t/rok) [19] a pravděpodobně i z norského závodu Hydrovolt [20].

Li-Cycle (Magdeburg, Německo)

- Kapacita: 30000 t/rok.
- Rok spuštění: 2023.
- Technologie: Zařízení slouží k předúpravě baterií, a to drcením mokrou cestou bez nutnosti předchozího rozebírání a vybíjení baterií. Black-mass má být následně zpracovávána v závodě v Itálii, jehož výstavba byla ovšem přerušena. Stejně tak jsou pozastaveny i projekty dalších zařízení pro předúpravu baterií, které byly plánovány v Norsku a Francii. [21,22,23]

SungEel Hitech (Bátonyterenye, Maďarsko)

- Kapacita: 25000 t/rok.
- Rok spuštění: 2021. [24]

SungEel Hitech (Bukowice, Polsko)

- Kapacita: 7000 t/rok.
- Rok spuštění: 2022. [25]

Závěrem je nutné konstatovat, že různě velkých linek zaměřených na mechanické zpracování Li baterií po Evropě je velké množství. Oproti tomu zpracovatelských kapacit zaměřených na získání cenných kovů je výrazně menší množství a lze očekávat určitou centralizaci. Řada těchto zařízení v současné době pracuje na pyrometalurgickém principu a zaměřuje se zejména na získávání Co, Ni, apod., nikoliv na získávání Li. Pro dosažení recyklačních cílů v evropské legislativě bude nutná stavba linek kombinující pyro- a hydro- metalurgii či čisté hydrometalurgických linek.

Stránka 12 z 17

4 Situace v ČR

V České republice se mluví o třech projektech na vývoj linek pro recyklaci LIB – firem Kovohutě Příbram, Dekonta ve Slaném a IBG v Kralupech nad Vltavou [26,27]. Podle dostupných informací existují v současnosti dvě pilotní jednotky, a to v Příbrami a ve Slaném. Obě tyto jednotky vznikají vlastním vývojem zmíněných společností a mají kapacitu okolo 200 t/rok. Další vývoj a případné zvětšování měřítka je kromě technologických obtíží doprovázejících zpracování LIB zatížen také celou řadou dalších nejistot, z toho důvodu pravděpodobně ke zvýšení kapacity v nejbližších letech nedojde [28].

Na základě komunikace s výše zmíněnými firmami je možné poukázat na tyto problémy, které představují bariéry pro další rozvoj recyklace LIB v ČR:

- **Legislativní překážky**
 - Produkty zpracování odpadních LIB jsou podle zákona o odpadech stále klasifikovány jako odpady, v případě black-mass navíc jako nebezpečné odpady. Tím pádem z hlediska legislativy toto zpracování není považováno za recyklaci, ale za zpracování odpadů. S tím souvisí velká složitost a zdlouhavost povolenacích procesů pro stavbu nových zařízení.
 - **Black-mass je klasifikována jako nebezpečný odpad**, je složité zajistit předání k dalšímu zpracování do zahraničí, a to i v rámci EU, tím spíše v případě asijských zpracovatelů. Bylo by žádoucí alespoň v rámci EU podmínky pro export black-mass zjednodušit.
 - V současné době probíhá také předběžného ověřování využití podmínek REACH pro produkty z recyklace, serióznímu posouzení nicméně brání vývojových charakter obou zpracovatelských linek a tím neustálené složení a kvalita výstupů.
- **Dotace**
 - Přestože v ČR existují dotační tituly, které je možno na vývoj nebo stavbu recyklačních linek použít, v praxi je čerpání dotací pro odpadářské firmy velmi složité vzhledem ke složité administrativě a velmi rozdílným podmínkám u různých poskytovatelů dotací. Firmy mají také obavy z případných chyb ve vykazování, které mohou vést k nutnosti vrácení dotace nebo i platby vysokých pokut. Firmy proto raději o dotace ani nežádají. Bylo by vhodné sjednotit pravidla čerpání dotací od různých poskytovatelů a zjednodušit vykazování.
 - Provozovatelé také volají po sjednocení podmínek dotací v rámci EU, aby nedocházelo k velmi rozdílným možnostem získání dotací mezi jednotlivými členskými státy.

- Dostupnost baterií k recyklaci
 - V podmínkách ČR jsou aktuálně k recyklaci dostupné především baterie ze spotřební elektroniky, případně z akumulátorového nářadí, elektrokol a koloběžek apod. **V roce 2023 to bylo podle odhadů cca 700 t.** Řádově větší množství baterií pocházejících z elektromobilů se možná na volný trh ke zpracování ani nedostane, protože si automobilky nebo producenti baterií budou „své“ baterie recyklovat sami, z důvodu zajištění strategických surovin. Recyklační zařízení budou vznikat zejména v návaznosti na bateriové továrny také proto, že při výrobě battery-packů je vysoká zmetkovitost, a to až 30 %, tento materiál je tedy určený k recyklaci hned po výrobě. **Pokud tedy v ČR nevznikne např. gigafactory na baterie, je diskutabilní, zda by pro recyklační zařízení průmyslového měřítka byl dostatek materiálu.**
- Ekonomická nejistota
 - Investiční náročnost pro dodávku kompletní již vyvinuté linky pro recyklaci Li baterií je cca 8-9 mil. EUR za mechanickou část.
 - **Návratnost investice do recyklační linky závisí na aktuální ceně výstupních produktů, tedy black-mass, respektive jednotlivých obsažených cenných kovů (Co, Ni, Al, Cu, Li). Tyto ceny vykazují na světových trzích extrémní fluktuace a vnášejí tak značnou nejistotu do ekonomických plánů na realizaci zařízení.**
 - Složení vyráběných baterií se navíc mění a producenti se snaží snížit obsah cenných složek, aby se baterie zlevnily. Tím se ovšem jejich recyklace stává méně rentabilní.
 - **V Evropě je nadbytek linek zabývajících se mechanickou částí zpracování (drcení Li baterií apod.), oproti zařízením zaměřením na získávání cenných složek (pyro/hydrometalurgické zpracování). Zařízení, které zpracovávají a vykupují black mass je celosvětově v současnosti do 20.**
 - Z těchto důvodů je **nadbytek black mass a většina zpracovatelů si vybírá black mass s vyšší kvalitou** (bez nadsítné frakce plastů a kovů), které většina jednoduchých linek mechanického zpracování nedosáhne. V závislosti na kvalitě je pak prodejní cena na úrovni 10-60 % ceny kovů obsažených v black mass.
 - Odběratele black mass je nutné hledat na světových trzích (Evropa, Asie, USA), cena, podmínky, požadavky apod. jsou velmi variabilní.
 - **Dle výpočtu některých provozovatelů není v současné době zpracování LIB ziskové, ale představuje ztrátu na úrovni 3-5 EUR/kg.**

5 Seznam literatury

1. Kameníková, P., Šyc, M. Analýza současného stavu v oblasti lithiových baterií. Výzkumná zpráva č. SS02030008-V13. Praha: ÚCHP AV ČR, 2022. 30 s.
2. <https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/recycling-lithium-ionen-batterien-europa-starke-zunahme-2030-2040.html>
3. <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/analysis-of-supply-chain-challenges-49b749>
4. <https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/recycling-lithium-ionen-batterien-europa-kapazitaeten-bedarf-akteure-markt-analyse.html>
5. Z. J. Baum, R. E. Bird, X. Yu, and J. Ma, Lithium-Ion Battery Recycling—Overview of Techniques and Trends. ACS Energy Letters 2022 7 (2), 712-719. DOI: 10.1021/acsenergylett.1c02602
6. <https://csm.unicore.com/en/battery-recycling/our-recycling-process>
7. R. Sojka, Q. Pan, and L. Billmann, Comparative study of Li-ion battery recycling processes, 2020. [Online]. Available: <https://accurec.de/wp-content/uploads/2021/04/Accurec-Comparative-study.pdf>.
8. <https://accurec.de/lithium?lang=en>
9. <https://northvolt.com/articles/hydrovolt/>
10. <https://northvolt.com/articles/revolt/>
11. <https://www.akkuser.fi/en/process-descriptions/high-grade-cobalt-li-ion-battery/>
12. <https://www.stenarecycling.com/research-development/stena-nordic-recycling-center/>
13. <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2024/01/p-24-100.html>

14. <https://www.electrive.com/2023/03/30/stena-opens-new-battery-recycling-plant-in-sweden/>
15. <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2023/06/p-23-251.html>
16. <https://www.recovery-worldwide.com/en/artikel/bhs-sonthofen-receives-order-for-basf-battery-recycling-plant-3995021.html>
17. <https://www.fortum.com/services/battery-recycling/lithium-ion-battery-recycling-technology>
18. <https://www.fortum.com/media/2023/04/fortum-battery-recycling-opens-europes-largest-closed-loop-hydrometallurgical-battery-recycling-facility-finland>
19. <https://www.fortum.com/media/2023/03/fortum-battery-recycling-receives-permit-start-battery-recycling-operations-germany>
20. <https://www.fortum.com/media/2024/02/fortum-battery-recycling-and-hydrovolt-join-forces-drive-nordic-battery-industry-forward>
21. <https://li-cycle.com/press-releases/li-cycle-celebrates-the-opening-of-germany-spoke/>
22. <https://li-cycle.com/technology/>
23. <https://li-cycle.com/operations/>
24. <https://hipa.hu/news/sungeel-hitech-hungary-is-opening-a-new-global-green-battery-recycling-plant-in-batonyterenye/>
25. <https://industryinsider.eu/industry-news/battery-recycling-for-the-automotive-industry/>
26. <https://www.pressreader.com/czech-republic/mf-dnes/20220829/281638194015451>

27. <https://www.ekonews.cz/kouzlo-cerneho-prasku-recyklace-lithiovych-baterii-se-do-par-let-stane-hitem/>
28. <https://www.caoh.cz/aktuality/kovohute-pribram-vybudovaly-pilotni-linku-na-recyklaci-lithiovych-baterii.html>