

Projekt číslo TQ28000005: Centrum pro kritické suroviny v oběhovém hospodářství

Příloha 4 – Popis strategické výzkumné agendy



Obsah

1	Úvod a motivace pro řešení.....	5
2	Struktura Strategické výzkumné agendy	11
3	WP1 Technologie pro získávání kritických surovin z primárních surovin.....	14
3.1	WP1.1 Získávání Al, Ti a kritických surovin z jílovitých vrstev	15
3.1.1	Popis současného stavu znalostí.....	16
3.1.2	Metody a postup řešení	22
3.1.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	26
3.1.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	29
3.1.5	Harmonogram řešení.....	29
3.2	WP1.2 Získávání Cu, Zn a kritických surovin ze polymetalické rudniny z ložiska Zlaté hory .	30
3.2.1	Popis současného stavu	31
3.2.2	Metody a postup řešení	37
3.2.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	40
3.2.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	42
3.2.5	Harmonogram řešení.....	43
4	WP2 Technologie pro získávání kritických surovin z deponií těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností.....	45
4.1	Popis současného stavu znalostí	45
4.2	Metody a postup řešení	52
4.3	Výsledky a jejich uplatnění	55
4.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě	56
4.5	Harmonogram řešení	57
5	WP3 Sekundární průmyslové produkty jako surovinový zdroj.....	58
5.1	WP3.1 Produkty z energetiky jako surovinový zdroj	59
5.1.1	Popis současného stavu	59
5.1.2	Metody a postup řešení	63
5.1.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	65
5.1.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	66
5.1.5	Harmonogram řešení.....	66
5.2	WP3.2 Produkty z metalurgie jako surovinový zdroj	67

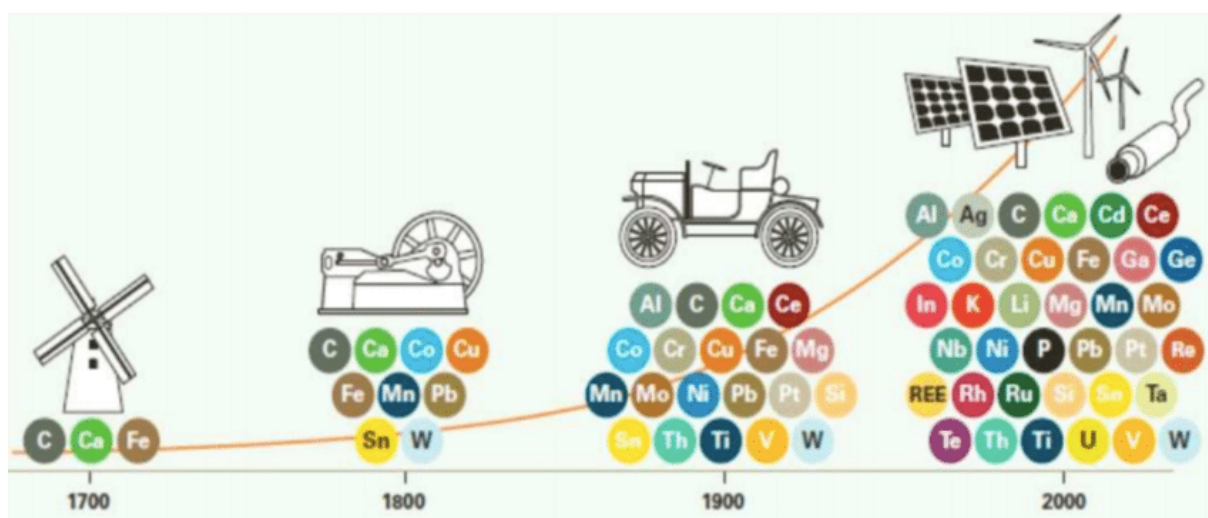
5.2.1	Popis současného stavu	68
5.2.2	Metody a postup řešení	73
5.2.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	74
5.2.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	76
5.2.5	Harmonogram řešení.....	76
5.3	WP3.3 Produkty z tvrdokovů jako surovinový zdroj	77
5.3.1	Popis současného stavu znalostí.....	78
5.3.2	Metody a postup řešení	82
5.3.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	83
5.3.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	85
5.3.5	Harmonogram řešení.....	85
6	WP4 Elektroodpady a odpadní Li-ion baterie.....	87
6.1	WP4.1 Elektroodpady	88
6.1.1	Popis současného stavu	89
6.1.2	Metody a postup řešení	106
6.1.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	111
6.1.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	114
6.1.5	Harmonogram řešení.....	115
6.2	WP4.2 Odpadní Li-ion baterie	116
6.2.1	Popis současného stavu	117
6.2.2	Metody a postup řešení	123
6.2.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	126
6.2.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	128
6.2.5	Harmonogram řešení.....	129
7	WP5 Surovinová bezpečnost, materiálové toky a cirkularita strategických a kritických surovin (SRM+CRM).....	131
7.1	WP5.1: Analýza přeshraničních materiálových toků strategických a kritických surovin (SRM+CRM).....	133
7.1.1	Popis současného stavu	133
7.1.2	Metody a postup řešení	134
7.1.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	136
7.1.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě.....	137

7.1.5	Harmonogram řešení.....	138
7.2	WP5.2: Analýza vnitrostátních materiálových toků strategických a kritických nerostných surovin (SRM+CRM).....	139
7.2.1	Popis současného stavu	140
7.2.2	Metody a postup řešení	143
7.2.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	145
7.2.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě.....	147
7.2.5	Harmonogram řešení.....	147
7.3	WP5.3: Scénáře a návrhy opatření pro zvýšení surovinové bezpečnosti ČR.....	148
7.3.1	Popis současného stavu	149
7.3.2	Metody a postup řešení	151
7.3.3	Výsledky a jejich uplatnění.....	155
7.3.4	Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě.....	156
7.3.5	Harmonogram řešení.....	157
8	Spolupráce se státní správou.....	160
8.1	Identifikace adresátů podkladů vzniklých z SVA.....	160
8.2	Popis očekávaných podkladů vzniklých z SVA	163
8.3	Spolupráce s veřejnou správou po ukončení řešení projektu	164

1 Úvod a motivace pro řešení

Co jsou CRM, proč se tím zabývat, návaznost na CRMA

Využívání přírodních zdrojů a soupeření o ně doprovází dějiny lidské civilizace od samého počátku. To, co se v průběhu staletí mění, je pouze spektrum komodit, které lidstvo v dané etapě svého vývoje nezbytně potřebuje, přitom s rozvojem technologií počet potřebných komodit neustále roste (obr. 1).



Obr.1. Zobrazení globálního růstu spotřeby nerostných komodit ve vazbě na rozvoj technologií v období 1700 až 2000 (Zdroj: Zepf., Reller A. et al, 2017).

Pro poslední dvě desetiletí je tak charakteristické, že se v nejvyspělejších průmyslových odvětvích stále více využívají komodity, které ještě předcházející generace technologů považovala spíše za nežádoucí příměsi, které budou komplikovat úpravu natěžené suroviny. Tyto změny si jako první uvědomily asijské země, zejména Japonsko, Jižní Korea, Taiwan a později i Čína, a právě to byl jeden ze silných impulzů, který dal tomuto kontinentu velkou výhodu v globální ekonomické soutěži. Technologicky vyspělé asijské země přikládají zabezpečení dostatku surovinových vstupů pro své ekonomiky, tedy surovinové bezpečnosti, dlouhodobě velkou pozornost, stejně jako promyšlené diverzifikaci dodávek surovin, sofistikované surovinové strategie či surovinové diplomacii. V tomto jsou země jako Japonsko či Jižní Korea pro Evropu velmi inspirativní.

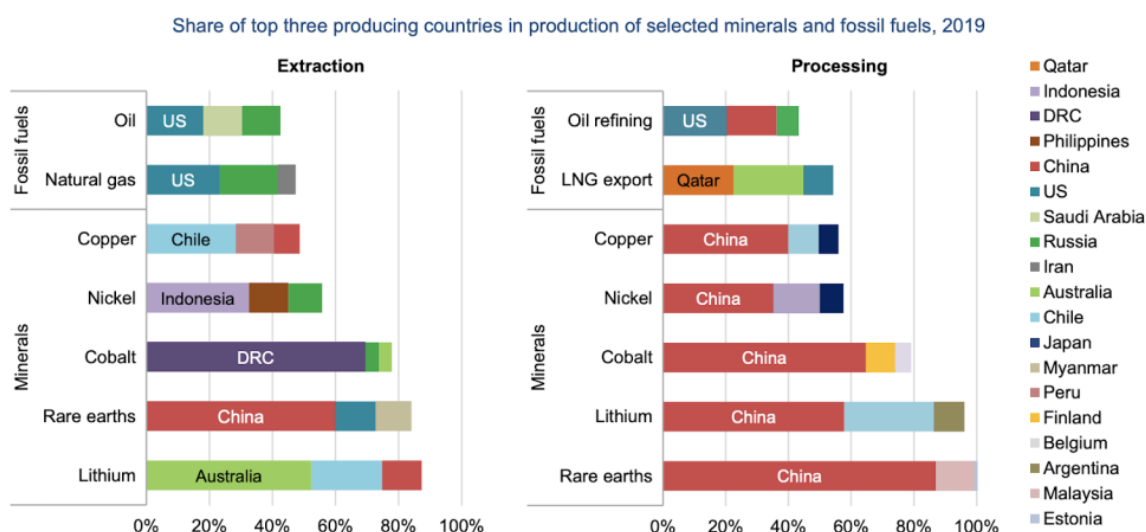
Evropský kontinent, a spolu s ním i Česká republika, se naproti tomu z hlediska své surovinové bezpečnosti nachází ve velmi nekonformní a nesnadné situaci.

V průběhu “surovinově bezstarostných” 70., 80., a 90. let 20. století docházelo v Evropě k postupné uzavírce mnoha těžených ložisek a tím i k poklesu objemu domácí evropské produkce řady nerostných surovin. V té době, kdy byl na světovém trhu dostatek snadno

dostupných a relativně levných nerostných komodit, se takový postup zdál jako správné řešení, které evropskému kontinentu přinese snížení znečištění životního prostředí. Díky této politice však současně postupně rostla závislost evropských zemí na dovozech mnoha druhů nerostných surovin.

Po změně principů fungování světového trhu nerostných surovin, ke kterému docházelo v první a druhé dekádě 21. století v souvislosti s rozsáhlou modernizací a průmyslovým rozvojem mnoha někdejších rozvojových zemí (Čína, Indie, Indonésie, Brazílie, Vietnam atd.), docházelo k přesunu produkce naprosté většiny nerostných komodit mimo evropský kontinent a Evropa se stala vysoce dovozně závislou na celém spektru často velmi specifických a mnohdy velmi strategických nerostných komodit.

V kombinaci se systematickým budováním čínské dominance v produkci širokého spektra nerostných komodit (dle posledního vydání prestižní mezinárodní statistické ročenky Welt Bergbau Daten 2025 je Čína monopolním, dominantním nebo alespoň největším světovým producentem 28 nerostných komodit) je evropský kontinent reálně ohrožen na své nezávislosti, má nebezpečně vysokou dovozní závislost na příliš širokém spektru surovin a je díky tomu vydíratelný. Ukazuje se, že se zajištění odpovídající surovinové bezpečnosti státu stává čím dál tím více součástí národní bezpečnosti evropských zemí, tedy i ČR. Tato pro Evropu nevýhodná situace je dále umocněna faktem, že i u komodit, kde Čína není dominantním producentem primární suroviny (extraction), ovládá tato země zpravidla dominantně rafinaci či vlastní výrobu dané komodity (processing), viz obr. 2.



Obr. 2. Podíl tří největších světových producentů sedmi vybraných nerostných komodit při srovnání těžby primární suroviny a zpracování / rafinace (zdroj: IEA).

Pro Evropu a tím i pro Českou republiku z vyplývá z této situace řada nových výzev, mimo jiné také nutnost situaci na světovém trhu nerostných surovin velice pečlivě sledovat, situaci dobře rozumět a správně analyzovat nově vznikající trendy, které z logiky věci v naprosté

většině vznikají mimo evropský kontinent. To je způsobeno faktem, že ačkoliv je Evropa jako kontinent stále poměrně významným spotřebitelem nerostných surovin, je v naprosté většině případů jejich nevýznamným producentem. Tato dysbalance pak vede k tomu, že nové trendy v surovinovém průmyslu logicky vznikají především v zemích někdejšího třetího světa, často např. v Asii.

Evropská komise si je tohoto ohrožení vědoma a v posledních letech sílí snahy posílit surovinovou bezpečnost EU. Velmi inspirativní byly pro evropská opatření právě aktivity a strategie některých mimoevropských, zejména asijských zemí, které zajištění přiměřené surovinové bezpečnosti považují dlouhodobě za svoji bezpečnostní prioritu (např. Japonsko se této problematice systémově věnuje více než 65 let, Jižní Korea více než 35 let).

Inspirována těmito postupy a výše popsány ohroženími, přijala Evropská komise již v roce 2008 strategický materiál **Raw Materials Initiative (RMI)**, který pravdivě popsal situaci, ve které se EU v oblasti zabezpečení dostatku surovinových vstupů nachází a identifikoval tři pilíře, na nichž je třeba evropskou surovinovou strategii stavět:

- a) více využívat vlastní domácí evropský surovinový potenciál a prozkoumat jeho potenciál novým pohledem a za využití nových moderních technologií;
- b) budovat vzájemně výhodná surovinová spojení se zeměmi, které disponují dostatkem nerostných surovin a nejsou dosud zabrány jinými globálními hráči;
- c) podporovat materiálově úsporné technologie s cílem efektivně šetřit nerostné zdroje.

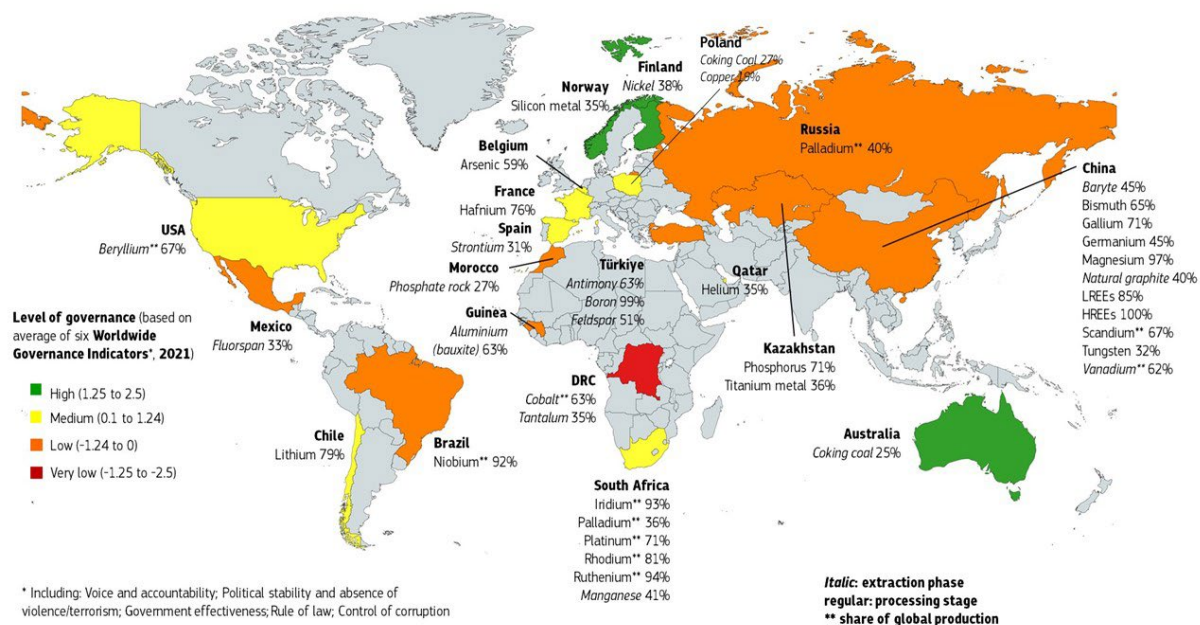
V českém kontextu je třeba poznamenat, že ČR byla mezi šesti evropskými zeměmi, které stály u zrodu Raw Materials Initiative. Výše uvedené principy RMI byly také v letech 2015 až 2016 implementovány do české státní surovinové politiky, kterou pod názvem **Surovinová politika ČR v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů** přijala v červnu 2017 vláda České republiky.

Po přijetí RMI byly při Evropské komisi založeny expertní skupiny, jejichž cílem bylo vyspecifikovat užší skupinu nerostných komodit, kterým je třeba věnovat pozornost v první řadě. Tyto nerostné suroviny byly označeny jako kritické nerostné suroviny (**critical raw materials, CRM**). První seznam evropských CRM vznikl v roce 2011 a obsahoval pouze 14 CRM komodit. Současně bylo správně rozhodnuto, že seznam bude každé tři roky aktualizován, znovu pročitán, aby reagoval na změny situace jak na světovém trhu nerostných surovin, tak na technologický pokrok. Druhý seznam z roku 2014 čítal již 20 CRM, třetí z roku 2017 již 27 CRM, čtvrtý z roku 2020 celkem 30 CRM a zatím poslední, vydaný Evropskou komisí v roce 2023 dokonce již 34 CRM, které byly vybrány po důkladné analýze celkem 70 posuzovaných nerostných komodit.

Jedná se o tyto nerostné komodity (CRM): **antimon, arzen, baryt, bauxit / alumina / hliník, baryt, beryllium, bismut, bór / boráty, fluorit, fosfáty, fosfor, galium, germanium, grafit přírodní, hafnium, hélium, hořčík, kobalt, koksovatelné černé uhlí, křemík kovový, lithium, mangan, měď, nikl (bateriová kvalita), niob, PGM (kovy platinové skupiny), REE (prvky vzácných zemin; LREE i HREE), skandium, stroncium, tantal, titan (kovový), vanad, wolfram, živce.**

Z této skupiny byla v roce 2023 ještě vyčleněna speciální podskupina, která byla označena jako **strategické nerostné suroviny (strategic raw materials, SRM)**.

Jedná se o 17 komodit: **bauxit / alumina / hliník, bismut, bór (metalurgická kvalita), galium, germanium, grafit (bateriová kvalita), hořčík (kov), kobalt, křemík (kov), lithium (bateriová kvalita), mangan (bateriová kvalita), měď, nikl (bateriová kvalita), PGM (kovy platinové skupiny), REE (prvky vzácných zemin pro permanentní magnety: Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm a Ce), titan (kov), wolfram**. V naprosté většině CRM i SRM je EU silně závislá na importu těchto komodit, které jsou dominantně produkovány zeměmi mimo Evropu. Skuteční dodavatelé CRM+SRM do EU za rok 2023 jsou znázorněni na obr. 3.



Obr. 3. Dodavatelé CRM+SRM do EU v roce 2023, odhadované podíly jejich dodávek a hodnocení WGI (Worldwide Governance Indicators), zdroj: EK.

Není náhoda, že počty evropských CRM / SRM při každém novém propočtu rostou. Je to způsobeno třemi faktory:

- 1) rychlý rozvoj technologií a neustále přibývajících možností nových high tech využití těchto speciálních komodit, které mají velmi často mimořádné chemické a fyzikální vlastnosti;
- 2) rostoucí míra pochopení, že zabezpečení bezpečných dodávek SRM a CRM pro potřeby evropského kontinentu má přímou vazbu na ztrátu nebo uchování pozice průmyslově vyspělého regionu;

- 3) rostoucí počet globálních hráčů, kteří si chtějí zajistit bezpečný přístup k dodávkám CRM / SRM a tím i sílí soupeření globálních hráčů o jejich zdroje.

Tento vývoj vedl k tomu, že **Evropská komise** se nespokojila s existencí celoevropské surovinové strategie RMI, ale **přistoupila k přípravě vůbec prvního legislativního (a tedy vymahatelného) dokumentu – Critical Raw Materials Act (CRMA)**, který byl vyhlášen na jaře 2024 a ze kterého jasně vyplývá priorita pro opatření, která zvýší surovinovou bezpečnost EU, sníží vysokou dovozní závislost evropského kontinentu na dodávkách strategických surovin a sníží riziko zneužití dominance některých zemí na světovém trhu s nerostnými komoditami.

CRMA přímo ukládá členským státům EU do roku 2030 jednotlivé povinnosti pro posílení surovinové bezpečnosti EU. Členské státy EU jsou povinny:

- 1) zajistit, aby se do roku 2030 výrazně zvýšily kapacity EU pro každou strategickou surovinu tak, aby se celková kapacita EU přiblížila těmto referenčním hodnotám nebo jich dosáhla:
 - a) těžební kapacita EU je schopna těžít domácí (evropské) zdroje rud, nerostů nebo koncentráty potřebné k produkci alespoň 10 % roční spotřeby strategických surovin v EU;
 - b) zpracovatelská kapacita EU, včetně všech mezistupňů zpracování, je schopna produkovat alespoň 40 % roční spotřeby strategických surovin v EU;
 - c) recyklační kapacita EU, včetně všech mezistupňů recyklace, je schopna produkovat alespoň 25 % roční spotřeby strategických surovin v EU a je schopna recyklovat výrazně rostoucí množství každé strategické suroviny v odpadu.
- 2) diverzifikovat dovoz strategických surovin do EU s cílem zajistit, aby se do roku 2030 mohla roční spotřeba každé strategické suroviny v EU v kterémkoli příslušném stupni zpracování spoléhat na dovoz z více třetích zemí a aby žádná třetí země nepředstavovala více než 65 % roční spotřeby takové strategické suroviny v EU.

Je evidentní, že splnění takovýchto požadavků bude pro evropské země, včetně České republiky nesnadné, avšak je možné.

Vlády České republiky se dlouhodobě, a lze říci, že v zásadě i systematicky, věnují problematice energetické bezpečnosti, a to jak v oblasti technické, kterou koncepčně pokrývá sekce energetiky českého MPO, tak v oblasti mezinárodně politické, kde je tato agenda dokonce centrálně řízena z pozice zvláštního zmocněnce MZV pro otázky energetické bezpečnosti. V oblasti energetické bezpečnosti tak byla v minulosti přijata celá řada strategicky správných opatření, která českou energetickou bezpečnost bezpochyby posílila.

Naproti tomu oblasti české surovinové bezpečnosti, která je bezesporu neméně důležitá, není zatím pozornost věnována v takové míře, a to přesto, že čeští experti stáli aktivně u samého zrodu první evropské surovinové strategie RMI, která se otázkami surovinové bezpečnosti v evropském kontextu poprvé zabývala již v roce 2008. V českém kontextu je

pak oblast surovinové bezpečnosti zčásti řešena v již zmíněné platné státní surovinové politice, do níž byly implementovány principy RMI. Intenzivní zájem o surovinovou bezpečnost (jehož jsme svědky dnes) začal v českém prostředí právě až po přijetí evropského Critical Raw Materials Act (CRMA).

Předkládaný projekt sdružuje výzkumné, odborné a expertní kapacity v oblasti geologických a technologických znalostí o strategických a kritických surovinách, úpravářských technologiích, datového modelování, strategického plánování a tvorby koncepčních materiálů, situace na světovém trhu SRM+CRM, současných i očekávaných trendech, přístupu EU i ostatních globálních hráčů k problematice SRM+CRM, a svou navrženou strategickou výzkumnou agendou přispívá ke splnění úkolů, které jsou před českou vládou, reprezentovanou věcně příslušnými resortními ministerstvy, a k naplnění požadavků Critical Raw Materials Act a tedy i k posílení surovinové bezpečnosti České republiky.

2 Struktura Strategické výzkumné agendy

Strategická výzkumná agenda (SVA) je členěna do pěti logicky poskládaných pracovních balíků WP1 až WP5 (Tab. 1). Následuje WP6 Management projektu. WP1 až WP4 jsou navrženy tak, aby pokryly hlavní spektrum dostupných či potenciálně dostupných SRM a CRM (dále také stručněji kritické suroviny) na území ČR (obr. 4).

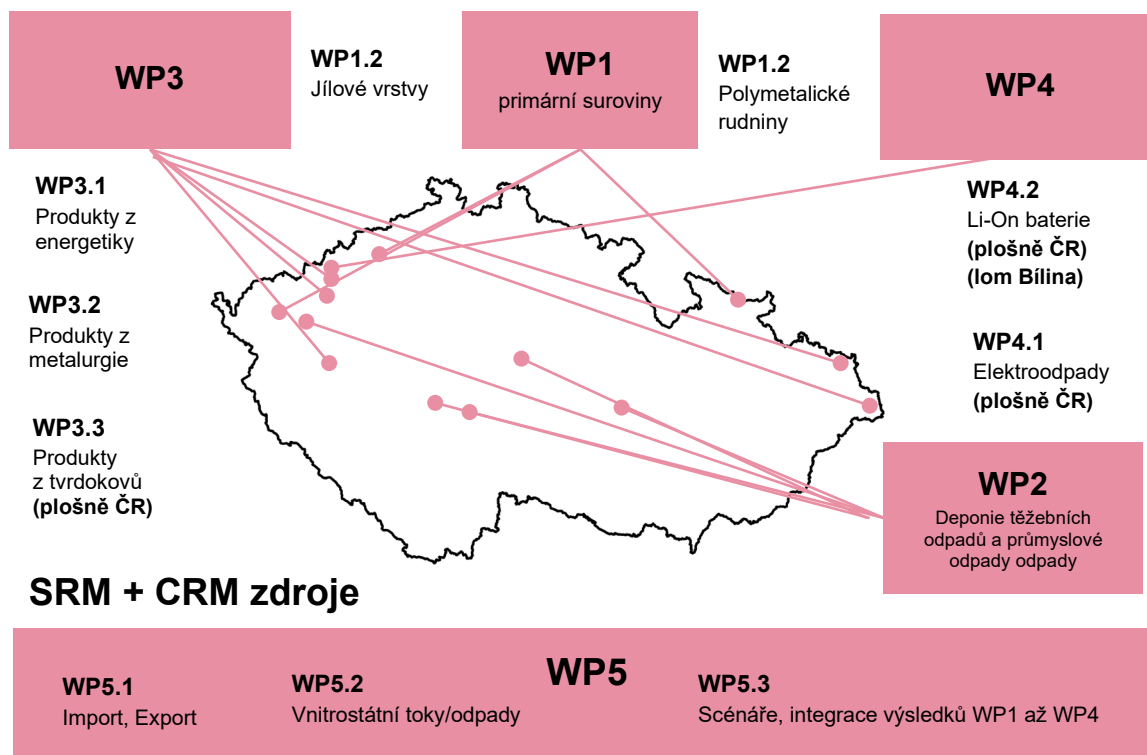
Názvy pracovních balíků jsou následující:

- WP1 Technologie pro získávání kritických surovin z primárních surovin.
- WP2 Technologie pro získávání kritických surovin z deponií těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností.
- WP3 Sekundární průmyslové produkty jako surovinový zdroj.
- WP4 Elektroodpady a odpadní Li-ion baterie.

WP1, WP3 a WP4 jsou dále členěny do dílčích pracovních balíků, kdy se každý z nich zaměřuje na určitou skupinu zdrojů (lokalit) kritických surovin. Zacílení je zřejmé z následující tabulky. WP5 je integrující pracovní balík, který si klade za cíl zmapovat podrobně materiálové toky jednotlivých strategických a kritických surovin a následně identifikovat možné scénáře surovinové bezpečnosti, které budou reflektovat také výsledky řešení předchozích WP. V takové šíři rozsahu a detailu dosud mapování a hodnocení v ČR nebylo provedeno.

Tab. 1. Přehled dílčích pracovních balíčků.

Pracovní balík	Dílčí pracovní balík	Název dílčího pracovního balíku – typy zdrojů	SRM a CRM	Lokality/ Hlavní lokality
WP1	WP1.1	Získávání Al, Ti a kritických surovin z jílovitých vrstev	Al, Ti	Lom Břilina, Sedlec – Čankovská
	WP1.2	Získávání Cu, Zn a kritických surovin z polymetalické rudniny z ložiska Zlaté hory	Cu, Zn a další	Zlaté hory
WP2	N/A	N/A, resp. stejný jako celý WP Technologie pro získávání kritických surovin z deponií těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností	Pb, Zn, Cu, Ag, Bi, Fe, S, As, Cd, Ga a další stopové prvky	Odkaliště Nejdek, odkaliště Kutná hora, Odval Alexandr, Odkaliště K I na Dolní Rožínce, Odval Milešov, Odkaliště Božičany
WP3	WP3.1	Produkty z energetiky jako surovinový zdroj	zejména Ti a REE	Silvestr (Tisová) Smolnická výsypka (Vřesová) Božkov Bartovice Další lokality energetických zdrojů
	WP3.2	Produkty z metalurgie jako surovinový zdroj	např. V, Ti, Mn, REE, Zn, Al, Cr, Ni	Třinecké železářny, slévárny a další metalurgické závody v ČR
	WP3.3	Produkty z tvrdokovů jako surovinový zdroj	W, Co a dále např. Ta, Nb, Ti	Plošně celá ČR
WP4	WP4.1	Elektroodpady	Široké spektrum prvků	Plošně celá ČR
	WP4.2	Li-ion baterie	Li, Co, Ni	Plošně celá ČR
WP5	WP5.1	Analýza přeshraničních materiálových toků	26 vybraných z celkového počtu 34	Balance ČR
	WP5.2	Analýza vnitrostátních materiálových toků	Cu, Ti, W v první fázi řešení projektu	Balance ČR
	WP5.3	Scénáře a návrhy opatření pro zvýšení surovinové bezpečnosti	Dle výsledků řešení jednotlivých WP	Balance ČR



Obr. 4. Grafické znázornění zaměření strategické výzkumné agendy projektu

3 WP1 Technologie pro získávání kritických surovin z primárních surovin

Vedoucí WP: Michal Šyc, ÚCHP AVČR.

Další řešitelé včetně organizace: Karel Dvořák, Pavel Skryja, VUT v Brně; Karel Mach, Severočeské Doly; Pavel Dalecký, TVAR COM; Hong Vu, Vladimír Kočí, VŠCHT Praha; Jan Nečas, Jana Kodymová, VŠB TU; Vojtěch Zítka, Sedlecký Kaolín; David Längauer, DIAMO

Cíle řešení

Evropský Akt o kritických surovinách (CRMA, Nařízení (EU) 2024/1252) stanovuje rámec pro bezpečné a udržitelné zajištění dodávek strategických a kritických surovin, přičemž jedním z cílů EU do roku 2030 je zajistit alespoň 10 % spotřeby strategických surovin z domácí těžby. Tento rámec je zároveň v souladu s cíli Surovinové politiky ČR, která klade důraz na využití domácích primárních zdrojů jako alternativy k dovozu z rizikových teritorií. Hlavní cíle WP1 reagují na tyto strategické dokumenty a zaměřují se na dva významné primární zdroje kritických a strategických surovin v ČR. Hlavním cílem WP1 je tedy vývoj, optimalizace a ověření technologických postupů pro získávání kritických surovin z těchto dvou ložisek, a to konkrétně z:

- jílovitých vrstev s vysokým obsahem Al, Ti, Ga, Si a V, zejména z lokality Bílina a lokalit vlastněných Sedleckým kaolínem (WP1.1), a
- sulfidických polymetalických rud z ložiska Zlaté Hory s obsahem Cu, Zn, Ge, Ga a dalších prvků (WP1.2).

Dílní cíle WP1 jsou pak následující:

- Vývoj a ověření separačně-úpravnických metod pro získání CRM koncentrátů a odstranění nežádoucích příměsí (uhlík, Fe, Si atd.) z obou typů surovin.
- Optimalizace kalcinačních postupů pro transformaci jílovitých vrstev na reaktivní formy pro následnou hydrometalurgii (např. přeměna kaolinitu na metakaolinit).
- Vývoj a ověření kyselých a alternativních loužicích metod, včetně podmínek pro účinnou extrakci Al, Ti, Cu, Zn, Ga, Ge, V a dalších CRM.
- Rafinace výluhů a separace kovů v čisté formě, včetně návrhu elektrolytických metod pro získání katodové mědi a zinku, nebo selektivních metod pro Ga a Ge.
- Materiálové využití pevných zbytků a vedlejších produktů, např. jako pucolánově aktivní složky pro stavebnictví nebo jako součást základkových směsí pro rekultivace.
- Návrh a ověření regenerace klíčových reagentů, zejména kyselých činidel pro snížení environmentální zátěže a provozních nákladů.
- Zajištění energetických a hmotových bilancí pro oba procesní řetězce, včetně variantních scénářů pro environmentální a ekonomické hodnocení (LCA, TEA).
- Získání základních podkladů pro klasifikaci ložisek jako strategických, včetně definování kritérií využitelnosti, bilancí zásob a přínosu pro národní a evropské soběstačnosti.

3.1 WP1.1 Získávání Al, Ti a kritických surovin z jílovitých vrstev

Vedoucí WP: Michal Šyc, ÚCHP AV ČR.

Další řešitelé včetně organizace: Karel Mach, Severočeské doly; Ing. Pavel Dalecký, TVAR COM; Karel Dvořák, Pavel Skryja, VUT v Brně; Hong Vu, Vladimír Kočí, VŠCHT Praha; Jan Nečas, VŠB Ostrava; Vojtěch Zítka, Sedlecký kaolín

Cíle řešení

Cílem řešení je návrh a ověření postupu získávání Al a Ti, případně Ga, Si a dalších kritických a strategických surovin, z jílovitých materiálů. Součástí návrhu postupu je i ověření jednotlivých kroků a vypracování celkového schématu řešení pro zpracování studie proveditelnosti jako podkladu pro další rozhodnutí investora.

Cílem je tedy zejména:

- Ověření použití úpravnických metod pro získání koncentráту získatelných kritických prvků.
- Ověření použití úpravnických metod pro odstraňování zbytků uhelných částí, sideritu, případně dalších škodlivin jak z hlediska zisku CRM, tak z pohledu uplatnění by-productů.
- Návrh, optimalizace a ověření kyselých loužicích postupů pro získávání cenných složek.
- Návrh alternativních elektrochemických metod srážení užitečných složek ze získaných roztoků.
- Návrh a ověření termického postupu zpracování fylosilikátů na produkt pro následnou chemickou extrakci CR.
- Ověření použití pevných zbytků a odpadů a dalších by-productů ze zpracování.
- Návrh postupu regenerace reagentů, zejména kyselého loužicího činidla.
- Návrh blokového schématu celého procesu s příslušnými hmotovými a energetickými toky.
- Zajištění základních dat pro stanovení podmínek využitelnosti zkoumaných ložisek.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI1.1/1 Účinnost loužení Al alespoň 90 %.
- KPI1.1/2 Účinnost loužení Ti alespoň 60 %.
- KPI1.1/3 Účinnost kalcinace kaolinu na metakolinit alespoň 95 %.
- KPI1.1/4 Účinnost Si louženec jako potenciální pucolánově aktivní složky ve výrobě stavebních pojiv s pucolánovou aktivitou dle Chapelle alespoň 600 mg $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$ pucolánu.

3.1.1 *Popis současného stavu znalostí*

State-of-the art z literatury

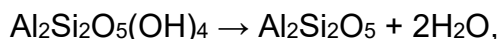
Hliník (Al), titan (Ti), galium (Ga) a křemík (Si) patří mezi suroviny s vysokým strategickým významem a jsou zařazeny na seznam kritických surovin. Hliník je nezastupitelný pro lehké konstrukční materiály, energetiku a obalový průmysl; titan je klíčový v leteckém a chemickém průmyslu díky kombinaci nízké hustoty a vysoké korozní odolnosti; galium pak má zásadní roli v polovodičových technologiích. Tradičními zdroji těchto prvků jsou bauxit pro výrobu Al, ilmenit a rutil pro Ti, a jako vedlejší produkt získávání bauxitu nebo zinkových rud Ga. Křemík je klíčovým prvkem pro výrobu polovodičů a dalších technologických prvků. Výroba hliníku je historicky a v současnosti dominantně závislá na Bayerově procesu, který zpracovává vysoce kvalitní bauxitové rudy, jejichž zásoby jsou ve světě v zásadě vyčerpány, nebo nejsou pro evropský průmysl dostupné.

Rostoucí spotřeba a geopolitické limity však vedou k intenzivnímu výzkumu a hledání alternativních surovin, mezi které patří zejména kaolinitické jíly, hlušiny z uhelných slojí či polymetalické jílovité sedimenty. Tyto materiály obsahují významné množství Al_2O_3 (20–35 %), TiO_2 (až 10 %), SiO_2 (50 %) a stopově Ga (20–80 ppm) nebo V (100–200 ppm). Tento zdroj je vysoce perspektivní i pro Českou republiku, která má nejen významné zásoby této suroviny, ale těžba kaolinu má v českých zemích i hlubokou tradici. V současnosti jsou proto předmětem rozsáhlého výzkumu, jak tyto prvky efektivně získat s ohledem na energetickou a environmentální náročnost procesů. Současné poznání se soustředí na vývoj a optimalizaci procesů zejména pro extrakci oxidu hlinitého (Al_2O_3) z kaolinitové struktury, který by následně mohl vstoupit do konvenčního Hall-Héroultova procesu elektrolýzy. Hlavním technologickým úkolem je rozrušení stabilní alumino-silikátové matrice a selektivní oddělení hliníku od křemíku a dalších složek.

Kaolinitické jíly a hlušiny s vysokým obsahem Al, Ti apod. totiž rovněž často obsahují řadu příměsí, které snižují vhodnost pro zpracování či ho komplikují. Typické jsou zejména uhličitánové minerály (např. siderit – FeCO_3), zbytky uhlí, pyrit či oxidy železa nebo křemičité inkluze apod. Tyto fáze zvyšují spotřebu kyselin při kyselém loužení, komplikují separaci Al a Ga a snižují kvalitu titaničitého zbytku či komplikují termickou aktivaci materiálu.

Celý proces zpracování tedy začíná těžbou jílovitých vrstev a základní úpravou a purifikací získané suroviny pro kalcinaci. Pro proces úpravy mohou být využité suché i mokré technologie. Volba správné technologie umožní získat nejen vysoce koncentrované suroviny pro kalcinaci, ale i poměrně kvalitního kameniva o různých frakcích pro využití například ve stavebním průmyslu. Uvažovat lze i o dílčích separacích konkrétních zájmových minerálů z kameniva pro další zpracování. Klíčová bude rovněž separace zbytků uhlí v případě, že se bude jednat o zdroje jílových hornin z lokalit, kde probíhá nebo probíhala jeho těžba. Pro tyto účely lze tedy využít různé postupy gravitační separace dle hustoty, kdy lze částečně oddělit těžké minerály jako siderit či pyrit. Rovněž lze využít magnetickou separaci pro odstraňování sideritu a oxidů železa. Pro separaci zbytků uhlí a organického uhlíku pak lze použít flotaci apod.

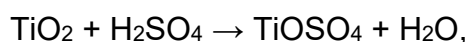
Pro další metalurgické využití jílovitých vrstev je zásadní jejich tepelná aktivace – kalcinace, při které se krystalická struktura mění na reaktivní metakaolinit podle reakce



což výrazně zvyšuje rozpustnost hliníku a zlepšuje možnost jeho loužení. Tento krok je zásadní, protože původní krystalická struktura kaolinitu je velmi stabilní a odolná vůči kyselým i alkalickým činidlům. Kalcinace probíhá zpravidla při teplotách 600–800 °C. Při teplotách nižších než 500 °C zůstává část krystalické struktury zachována a reaktivita je omezená, zatímco při teplotách nad 800–900 °C dochází k tvorbě mullitu, který je již prakticky nerozpustný. Optimální se proto jeví teplotní interval kolem 600–750 °C, kdy se dosahuje nejvyšší rozpustnosti hliníku při následném loužení. Kalcinace také částečně mění morfologii částic a zvyšuje jejich pórovitost, čímž zlepšuje kinetiku hydrometalurgických reakcí. I po kroku kalcinace lze uvažovat o využití suchých třídících a úpravnických metod s cílem připravit maximálně čistý kaolinový koncentrát metodami s minimální energetickou náročností pro další zpracování.

Dalším krokem celého postupu zpracování je loužení. Po kalcinaci lze hliník účinně extrahovat dvěma hlavními cestami. První cestou je kyselé loužení nejčastěji pomocí HCl nebo H₂SO₄ při kterém lze dosáhnout výtěžností výrazně přes 90 %. Loužení kyselinou sírovou vede k tvorbě Al₂(SO₄)₃, kdy se následně Al z roztoku získává srážením ve formě Al(OH)₃. V případě použití HCl pak lze z roztoku získat AlCl₃·6H₂O krystalizací, který lze pak použít pro produkci Al₂O₃. Typické podmínky loužení jsou koncentrace kyselin 1–6 mol·l⁻¹, teplota loužení 30–120 °C a doba loužení 1–3 hodiny. Nevýhodou kyselého loužení jsou korozní vlastnosti kyselin, jejich vysoká spotřeba a tvorba obtížně filtrovatelného koloidního křemičitanu. Alternativou ke kyselému loužení je alkalické loužení pomocí NaOH či Na₂CO₃, kdy se hliník uvolňuje v podobě rozpustného Na-aluminátu. Výhodou procesu je jeho podobnost s Bayerovým procesem. Zásadní nevýhodou pak vysoká energetická náročnost a částečné rozpouštění křemíku, které značně komplikuje zpracování roztoku.

Titan se v kaolinitických jílech vyskytuje převážně ve formě anatasu (mostecká pánev), rutilu či ilmenitu a kalcinace sama o sobě jeho rozpustnost významně nezvyšuje. Naopak, při běžných podmínkách kyselého loužení zůstává titan nerozpustný v louženci, kde se i částečně zkoncentruje a jeho obsah může být až 30-50 %. Ti se z loužence dá získat klasickou sulfatační metodou, tj. loužením s koncentrovanou kyselinou sírovou za zvýšené teploty, čímž se titan převádí do formy TiOSO₄ dle reakce



Vzniklý síran titanylu je dobře rozpustný ve vodě a tvoří základní meziprodukt tzv. sulfátového procesu výroby pigmentového TiO₂. Po rozpuštění Ti se roztok zahřeje na teploty okolo 90–110 °C, kdy dochází k rozpadu TiOSO₄ za vzniku hydratovaného oxidu titaničitého, který je následně nutné kalcinovat při 800–1000 °C na TiO₂. Při zpracování jílových vrstev je nutné počítat s tím, že v materiálu bývá přítomno i značné množství Fe a dalších příměsí, kdy zejména železo je problematické, neboť tvoří rozpustné sírany a komplikuje následnou separaci. Výhodou sulfatačního procesu je jeho flexibilita, nevýhodou

je vysoká spotřeba koncentrované kyseliny sírové spojená s nutností její recyklace a vznik řady odpadů, což jsou dosud hlavní bariéry pro zavedení celého procesu do praxe ve větším měřítku.

Galium je v jílovitých vrstvách přítomné ve stopovém měřítku na úrovni 20-80 ppm. Po kalcinaci se pak při kyselém i alkalickém loužení uvolňuje do roztoku v prvním kroku procesu spolu s Al. Koncentrace Ga jsou v roztoku velmi nízké na úrovni mg/l dle loužicího poměru L/S a obsahu ve vstupní surovině, proto je nutné jejich separace pomocí selektivních separačních technik. Jednou z možností je použití kapalinové extrakce pomocí organo-fosforových činidel, použití iontoměničů či selektivní srážecí metody. Navzdory nízkému obsahu Ga, je nicméně vhodné v rámci celé technologie ověřit i jeho separovatelnost, a to vzhledem k velkým objemům zpracované suroviny, kdy získávání Ga může být významný příspěvek k ekonomice celého procesu.

Vanad se v přírodních ložiskách často nachází rozptýlený v jílovitých horninách, zejména v kaolinitu, illitu nebo montmorillonitu. V těchto minerálech bývá vanad přítomen ve formách V(III), V(IV) nebo V(V), částečně substituovaný ve struktuře minerálů nebo vázaný na povrch oxidů železa a hliníku. Pro získávání se nejčastěji používá kyselé loužení, zejména pomocí kyseliny sírové. Pro dosažení dobré účinnosti loužení je nutné jílovitý materiál kalcinovat při teplotách 500–800 °C, kdy kalcinace podporuje oxidaci na rozpustnější formy V(IV) a V(V). Další zvýšení účinnosti lze docílit kalcinací s loužením v oxidačním prostředí, tj. s přídavkem H_2O_2 či $NaClO_3$. Vanad pak lze z roztoku principiálně získat pomocí kapalinové extrakce, iontoměničů či chemickým srážením. V některých případech stačí jen přímá kalcinace roztoku za vzniku V_2O_5 , což produkt pro další využití. Sumárně lze konstatovat, že získávání vanadu z jílovitých vrstev je možné. Nicméně je nutná kalcinace s následným kyselým loužením v oxidačním prostředí s následnou vhodnou metodou získávání z roztoku.

Z pohledu ekonomiky procesu je pak klíčové rovněž využití odpadů a minerálního loužence z procesu. S ohledem na další zpracování lze na louženec nahlížet jako na produkci SiO_2 ve formě pevného zbytku nebo gelu po kyselém loužení metakaolinu. Amorfni SiO_2 má velmi významný potenciál jako pucolánově aktivní látka pro použití v technologii výroby cementu eventuálně při vývoji a výrobě cementových kompozitů. Dále může amorfni SiO_2 sloužit jako krystalizační zárodky pro růst hydratačních produktů, zejména C-S-H gelu, urychlit hydrataci cementu, a omezit tvorbu velkých krystalů portlanditu a tím celkově zahustit strukturu. Postup zpracování křemíkatého loužence musí být nedílnou součástí technologie. Velmi čistý separát SiO_2 může sloužit i k výrobě kovového křemíku.

Vlastní zkušenosti v konsorciu a motivace – Těžba a zpracování kritických a strategických nerostů na lomu Bílina

Výše uvedené znalosti byly využity pro prvotní ověření zpracovatelnosti jílovitých vrstev z dolu Bílina patřící pod Severočeské doly, který obsahuje jílovité materiály vyskytující se v podloží a spodní části uhelné sloje, které jsou charakteristické zvýšeným obsahem Al_2O_3 a TiO_2 a mají potenciál být zdrojem i dalších doprovodných minerálních surovin například Ga, V či SiO_2 .

Potenciál výskytu těchto surovin byl zjištěn během výzkumu uhelné sloje na obsahy ekologicky škodlivých prvků a prvků ovlivňujících technologii spalování uhlí v minulosti. Obsah Al_2O_3 v kalcinované surovině dosahuje i přes 30 % a obsah TiO_2 3-6 %. Podstatnou složkou anorganické části hornin jsou také oxidy SiO_2 - až přes 50 % (v chemicky vázané podobě v jílových minerálech a v podobě křemenného prachu) a oxidy železa v podílu 5-7 % původně většinou jako sideritu FeCO_3 nebo pyrit FeS_2 . Legislativním rámcem pro uvažování o zařazení potenciálního ložiska mezi ložiska kritických a strategických nerostů poskytuje NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2024/1252.

Základními produkty výroby by dle záměru měly být hydroxidy Al, TiO_2 , prachový křemen (SiO_2), SiO_2 – bílé saze, sraženina oxidů Fe +- Mn. Hliníkové sloučeniny jsou obchodovatelným produktem k výrobě Al nebo žáruvzdorných materiálů, TiO_2 má více použití od pigmentů až jako zdroj Ti. Různé formy SiO_2 mohou sloužit v závislosti na čistotě, zrnitosti a fázovém stavu a reaktivitě od stavebních surovin, plnivových materiálů do plastů, materiálů pro výrobu stavebních spojiv až po surovinu pro výrobu křemíku. Železité produkty mohou sloužit jako pigmenty, případně jako železná ruda. Vzhledem k tomu, že tímto způsobem je možno zpracovat prakticky celý objem těžené suroviny jedná se téměř o bezodpadovou technologii. Záměr zatím nepočítá s konečnou výrobou Al a Ti, případně V nebo Ga což jsou nejlépe obchodovatelné produkty, protože ceny energií potřebných k výrobě takových produktů nejsou aktuálně v našem prostoru příznivé efektivní výrobě. Zpracovatelé, zabývající se v Evropě podobnými výrobami jsou soustředěni v zemích s dostatkem, resp. přebytkem elektrické energie jako je Island nebo pevninské skandinávské země. Nelze ale vyloučit, že v případě zvýšení zdrojů elektrické energie zejména z FVE nově instalovaných na výsypkách a plochách uzavíraných dolů SD a.s. může dojít k situaci, že naopak vysoce energeticky náročná výroba Ti a Al se může stát vhodným způsobem ukládání přebytkové sezónní energie.

Objemy surovin na lomu Bílina zatím nebyly přesně vyčísleny a lze je jen odhadovat na základě relativně řídké sítě vrtů. Nicméně je zřejmé, že při úvaze o minimální mocnosti 5 m jde o první desítky milionů tun vstupního materiálu do procesu výroby produktů jen v předpolí lomu Bílina. Pro detailní odhad je potřeba dále zkoumat lom metodami vrtného a geofyzikálního průzkumu, který probíhá od roku 2024. Na základě prováděného geologického průzkumu bude vytvořen geologický model ložiska, který dovolí výpočet zásob všech ekonomicky využitelných nerostných složek. Následně bude výpočet předložen MPO s žádostí o zařazení ložiska do kategorie strategických ložisek ČR. Pak bude transformován do podoby odpovídající pravidlům JORC/UNFC, aby výsledky mohly být předloženy Evropské komisi rovněž s žádostí o zařazení mezi projekty kritických a strategických nerostů.

Prvotní ověření zpracovatelnosti suroviny bylo provedeno v roce 2024 na vzorcích z dolu Bílina. Z celkem 100 kg materiálů byl připraven reprezentativní vzorek 5 kg, který byl v laboratorním měřítku následně zpracován. Vstupní surovina obsahovala 25 % Al_2O_3 a 3,5 % TiO_2 . Přítomné bylo rovněž velké množství balastních látek, a to zejména obsah C cca 20 % a vysoký podíl sloučenin železa (obsah Fe 1,6 %). Tato surovina byla kalcinována při teplotě 600 °C v etážové peci pro konverzi kaolínu na metakaolin. Vzniklý produkt byl kysele

loužen jak pomocí HCl tak pomocí H₂SO₄. Kinetika loužení je srovnatelná, výhodou loužení pomocí H₂SO₄ byla nižší konverze znečišťujících složek jako je např. Fe či Ti do roztoku. Jako preferovaná cesta bylo zvoleno loužení pomocí H₂SO₄, byla použita 20 %, teplota loužení 80 °C, doba 1 hodina. Účinnost loužení Al byla cca 90 %, částečně se nicméně vyloužil i Ti (cca 10 %) spolu s dalšími nečistotami. Optimalizace kroku loužení spolu s předčištěním vstupní suroviny je klíčovým krokem procesu, jak s ohledem na její spotřebu, tak s ohledem na spotřebu alkalizačního činidla pro vysrážení Al(OH)₃ z roztoku. Volba alkalizačního činidla, stejně jako cílové pH je pak dáno celkovým složením roztoku, a tedy podmínkami loužení. V případě čistého roztoku stačí přímá alkalizace s následnou filtrací. Jednou z variant ověřených v laboratorních podmínkách je alkalizace roztoku na pH = 11 kdy vznikají rozpustné hlinitany, a naopak se vysráží kontaminující sloučeniny železa či hořčíku. Po jejich odfiltrování je pak čistý roztok hlinitanu základem k separaci hydroxidu hlinitého. Volbou kyseliny pro zpětné okyselení je pak možné získat různé druhy hlinitých solí. V laboratoři byla ověřena možnost kombinace amoniaku, kyseliny chlorovodíkové, dusičné a také plynného oxidu uhličitého. Alternativou pro získání hliníkového loužence je pak membránová elektrolyza. Jejím účelem je převést z výluhu v katodové komoře síranové ionty do anodové komory a získat tak regenerovanou kyselinu sírovou. Tento postup jsme experimentálně ověřili, kdy získaný anolyt byl cca 5% kyselina sírová. Regeneraci však šlo provádět pouze do pH katolytu 3,5, neboť při vyšší pH vznikala gelovitá struktura hydratovaného iontu hliníku.

Následným krokem zpracování loužence jílovité vrstvy bylo získání Ti. To bylo provedeno dalším loužením v kyselině sírové o koncentraci cca 90 % při teplotě cca 130 °C. Účinnost loužení Ti byla více jak 80 %, spolu s Ti se loužil i zbylý Al a Fe. Kvalita vstupní suroviny spolu s účinností prvního loužení tedy významně ovlivňuje složení loužence po získání Ti a tím i složení získaného roztoku. Roztok pak byl alkalizován na pH cca 2 a zahřátím byl z roztoku vyloučen TiO₂. Zbylý filtrát pak byl silně zasolený s vysokým obsahem Fe, Al ale i dalších prvků.

Touto cestu byla v laboratorním měřítku ověřena základní zpracovatelnost jílovité suroviny z lomu Bílina pro získávání Al a Ti a bylo připraveno řádově stovky gramů obou produktů. Laboratorní experimenty rovněž ukázaly řadu klíčových bodů pro řešení s ohledem na čistotu vstupní suroviny, účinnost loužení a zpracování roztoků v obou stupních pro dosažení ekonomiky celého procesu. Tyto body jsou předmětem řešení tohoto projektu.

Ložisko kaolínu Sedlec – Čankovská (povrch a hlubina) se nachází asi 2 km západně od Karlových Varů, severně od obce Sedlec. Bylo vymezeno jako chráněné ložiskové území (CHLÚ Sedlec u Karlových Var a Sedlec u Karlových Var I), avšak vzhledem k poloze v ochranném pásmu IIa lázeňského místa Karlovy Vary mu dosud nebyla věnována dostatečná pozornost. Ložisko je vázáno na granity karlovarského masivu a nachází se v čankovsko-otovické části Sokolovské pánve. Tvoří jej reziduální kaolín s variabilní mocností (8–26 m), jehož kvalita a mocnost jsou výrazně ovlivněny tektonickými poruchami. Nadloží představují terciérní a kvartérní sedimenty, významně zastoupené jsou vulkanogenní jíly a tufy.

Zásoby činí přibližně 4,8 Mt geologických zásob v povrchové části a 14,3 Mt v hlubinné části ložiska. Kvalita kaolínů se vyznačuje značnou variabilitou – obsahy Fe_2O_3 se pohybují mezi 0,67–1,56 %, TiO_2 mezi 0,09–0,77 % a absolutní bělost mezi 64–82 %. Přítomny jsou jak keramické a papírenské jakostní třídy, tak i méně kvalitní kaolíny. Železo je vázáno zejména ve slídách a oxidických pigmentech, titan v anatasu, rutilu a slídových minerálech.

Dosavadní geologický průzkum, prováděný v 80. a 90. letech, byl zaměřen zejména na kaolíny pro porcelán a papírenský průmysl s nízkým obsahem barvicích oxidů a vysokou bělostí. Naopak hlubší partie ložiska s nižším výplavem (<15 %) a kaolíny s vyšším obsahem barvicích oxidů nebyly detailně zkoumány. Tyto partie však představují perspektivu z hlediska kritických surovin. Vedle výroby tradičních plavených kaolínů světových značek se proto pozornost nově zaměřuje i na využití kaolínů nižší kvality jako potenciálního zdroje hliníku (Al_2O_3), titanu (TiO_2) a rovněž prvků vzácných zemin (REE). Významný potenciál pro koncentraci titanu a REE byl indikován také v nadložních tufech a vulkanogenních jílech.

Ložisko Sedlec – Čankovská tak kromě svého významu pro keramický a papírenský průmysl představuje i perspektivní zdroj netradičních a kritických surovin, jejichž využití může posílit cirkulární ekonomiku a surovinovou soběstačnost regionu i celé ČR.

Seznam použité literatury:

- Belay, W. T., Melesse, M. K., & Gizmu, A. B. (2024). Extraction of aluminum oxide from local kaolin clay deposits in Ethiopia. *Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering*, 9(3), 80–93. doi:10.11648/j.jeece.20240903.12.
- Botero, Y. L., López-Rendón, J. E., Ramírez, D., Zapata, D. M., & Jaramillo, F. (2020). From clay minerals to Al_2O_3 nanoparticles: Synthesis and colloidal stabilization for optoelectronic applications. *Minerals*, 10(2), 118. doi:10.3390/min10020118.
- Bremner, P. R., Nicks, L. J., & Sauer, D. J. (1984). A basic chloride method for extracting aluminum from clay. Bureau of Mines Report.
- Chen, X., Yang, J., Mao, Y., Liao, X., Liu, H., & Xiong, W. (2010). An innovative process for comprehensive utilisation of clay-vanadium ores. In XXV International Mineral Processing Congress Proceedings.
- Cheng, S. (2025). Advances in the integrated recovery of valuable components, including titanium, from clay and related materials. *Minerals Engineering*, 212, 108242. doi:10.1016/j.mineng.2024.108242.
- Havránek, J. (2021). Souhrnná výzkumná zpráva řešení s pasporty vymezených objektů, závěry a doporučeními (Příloha č. 3). Projekt TITSMPO816. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR.
- Johnston, C. J. (2022). Improvement of aluminium extraction from low-grade kaolinite: Effects of iron impurities on dissolution kinetics. *Hydrometallurgy*, 209, 105576. doi:10.1016/j.hydromet.2021.105576.

- Lamidi, Y. D., Kashim, I. B., Adelabu, O. S., & Oluwasina, O. O. (2024). Extraction of pure alumina from kaolin: A review. *European Journal of Materials Science and Engineering*, 9(3), 191–200. doi:10.36868/ejmse.2024.09.03.191.
- Rudnik, E. (2024). Gallium in coal and coal waste materials: A review. *Molecules*, 29(24), 5919. doi:10.3390/molecules29245919.
- Ye, G. (2018). Solvent extraction of vanadium from a direct acid leaching solution generated by the direct leaching of clay vanadium ore. *Hydrometallurgy*. doi:10.1016/j.hydromet.2018.02.007.
- Zhang, Y., Ye, G., Mao, S., Xiang, X., Rong, Y., & Song, C. (2025). High-efficiency direct acid leaching of vanadium from clay vanadium ore with microwave enhancement. *SSRN*. doi:10.2139/ssrn.5384592.
- Zhou, Z. (2022). Process mineralogical characterization and vanadium extraction: Key to destroy lattice of mica and oxidize V(III). *International Journal of Mineral Processing*. doi:10.1016/j.minpro.2022.106072.

3.1.2 Metody a postup řešení

T1.1: Získávání Al, Ti, Ga, V z jílovitých vrstev

Níže uvedené postupy řešení jsou vzájemně provázané. Podrobnější charakterizace vstupu s ohledem na mineralogickou analýzu jílovitých vrstev je základ pro návrh postupů úpravnictví spolu s mechanickým zpracováním. Úspěšná separace balastních složek před loužením významně usnadní spotřebu loužicích činidel spolu s nutnou purifikací výluhu. Postup a podmínky loužení pak determinují použitelnost loužence. Jednotlivé etapy jsou tedy vzájemně provázané s cílem dosáhnout ekonomicky nejvhodnějšího postupu získávání uvedených kritických surovin.

VA1.1./1 Analýza vstupů a popis ložiska (SD, ÚCHP, VŠCHT, SK, VŠB) 01/2026-06/2027

Cíl: Charakterizace primárních surovin z jílovitých vrstev a hlušín:

- Mineralogická, petrografická a chemická analýza vzorků (XRF, XRD, ICP-OES/MS, SEM-EDS) jílovitých vrstev z ložiska SD i SK.
- Identifikace obsahu Al_2O_3 , TiO_2 a doprovodných prvků (Ga, V, Fe, Si) včetně distribuční a mineralogický analýzy částic apod.
- Stanovení přítomnosti balastních složek – zejména sideritu, pyritu, zbytků uhelné hmoty křemene apod. včetně distribuční analýzy.
- Určení variability složení mezi jednotlivými lokalitami a návrh homogenizačních postupů pro další zpracování.
- Stanovení mechanicko-fyzikálních vlastností vzorků a jejich vliv na tokové chování materiálů a následné procesy zpracování

VA1.1./2 Sušení a úpravnictví (ÚCHP, VUT, TVAR COM, SD, SK, VŠB) 01/2026-06/2027

Cíl: Příprava prekalcinátu. Návrh a ověření metod předúpravy suroviny, separace balastních složek a příprava jílového koncentrátu s vysokým obsahem Al a Ti.

- Návrh postupů mechanického zpracování suroviny, před-třídění, postupů drcení, mletí a sušení, určení dopravně-transportních a reologických vlastností pro před-upravenou surovinu.
- Ověření postupu separace uhlíkových složek z jílovitých vrstev pomocí flotace, volba vhodných činidel, nalezení limitů flotace a posouzení ekonomické schůdnosti.
- Ověření možnosti odstranění Fe-fází (siderit, oxidy železa) pomocí magnetické separace či separace dle hustoty včetně nutnosti předřazeného mletí a drcení, určení účinnosti separace včetně kvantifikace ztrát, realizace pilotních testů v laboratorním měřítku (zpracování řádově desítek kg suroviny), posouzení ekonomičnosti procesu.
- Návrh a ověření separace prachovité křemenné složky pomocí úpravářenských postupů s využitím sedimentace, rozdílné granulometrie, či flotace, posouzení ekonomičnosti procesu.
- Návrh a ověření separace hrubozrnné křemenné složky pomocí úpravářenských postupů s využitím rozdílné granulometrie, gravitačních metod a posouzení ekonomičnosti procesu.
- Návrh alternativních metod separace jemně mleté suroviny gravitačním tříděním suchou cestou, analýza zahliněnosti inertního zbytku.
- Návrh a testování separace částic TiO_2 pomocí flotace.
- Celková provozní optimalizace technologických parametrů.
- Vypracování schématu úpravnického procesu pro přípravu koncentrátu vhodného k hydrometalurgii.

VA1.1./3 Kalcinace (VUT, TVAR COM, ÚCHP, SK, SD) 03/2026-06/2027.

Cíl: Efektivní příprava metakaolinu z koncentrátu.

- Návrh a volba a laboratorní ověření vhodné technologie kalcinace včetně alternativních řešení procesu, např. rotační pece, disperzní kalcinátory, tunelové pece v souvislosti s vlastnostmi meziprojektu z VA 1.1/2 a z pohledu energetické efektivity procesu.
- Optimalizace procesu kalcinace a zvolené technologie z s cílem minimalizovat energetickou náročnost výroby a emise CO_2 .
- Stanovení optimální granulometrie, teploty a doby kalcinace (600–750 °C) pro maximální přeměnu na reaktivní metakaolinit.
- Studium vlivu kalcinace na morfologii částic, pórovitost a rozpustnost Al, Ti a Ga, V, produkci odprašků.
- Mineralogická, petrologická a chemická analýza kalcinátu (XRF, XRD, ICP-OES/MS, SEM-EDS).
- Návrh a ověření postupů mechanického zpracování a přetřídění kalcinátu, separace škodlivin a určení dopravně-transportních a reologických vlastností kalcinátu.

- Vypracování schématu kalcinačního procesu pro přípravu kalcinátu vhodného k hydrometalurgii.
- Zpracování energetické bilance procesu kalcinace.

VA1.1./4 Chemické zpracování suroviny (ÚCHP, VŠCHT, TVAR COM, SD, SK, VUT) 04/2026-09/2028.

Cíl: Ověření účinnosti kyselého loužení pro získávání zejména Al, Ti, V a Ga v laboratorním měřítku (zpracování řádově jednotky kg na test).

- Optimalizace podmínek loužení Al (koncentrace kyselin H_2SO_4 , teplota, doba i poměr L/S pro maximalizaci výtěžnosti Al a minimalizaci loužení nežádoucích složek).
- Ověření možnost čištění výluhu před separací Al (ověřit možnost čištění roztoku alkalizací na vysoká pH s následným selektivním srážením Al solí pomocí vybraných činidel).
- Návrh a ověření postupů získání hliníku z výluhu pomocí různých srážecích činidel (přímé vysrážení $\text{Al}(\text{OH})_3$, krystalizace solí ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), použití membránové elektrolýzy).
- Loužení a separace titanu pomocí koncentrované H_2SO_4 , optimalizace podmínek loužení, návrh postupů pro selektivní precipitaci ve formě TiO_2 .
- Separace galia z výluhu (ověření a návrh postupů pro kapalinovou extrakci či iontoměniče a získávání Ga z prvního kroku extrakce).
- Celková optimalizace dvojstupňového procesu s ohledem na ekonomické optimum, ověření možnosti použití protiproudé extrakce.
- Návrh a ověření separace z výluhu alternativních složek, které mohou být využitelné jako jsou Sr, P, K.

VA1.1./5 Regenerace reagentů 09/2026-09/2028 (ÚCHP, VŠCHT, SD, SK, TVAR COM, VUT, SK).

Cíl: Minimalizace spotřeby chemikálií a environmentální zátěže.

- Regenerace kyselin z matečných roztoků.
- Ověření použití membránové separace pro regeneraci kyseliny z loužení.
- Ověření postupu protiproudého loužení pro minimalizaci spotřeby loužícího činidla.
- Ověření a návrh postupů alternativní cesty zpracování kyseliny sírové o nízké koncentraci po procesu loužení. Návrh a ověření koprodukce sádrovce různé čistoty. Ověření využitelnosti jako regulátoru tuhnutí ve výrobě cementu a pro výrobu síranových pojiv.

VA1.1./6 Využití Si loužence (VUT, TVAR COM, SD, SK, VŠCHT, ÚCHP) (09/2026-09/2028).

Cíl: Materiálové využití křemičitého zbytku po loužení.

- Mineralogická, petrografická a chemická charakterizace vzniklého křemičitého zbytku po loužení, a to zejména podíl amorfni a krystalické fáze (XRF, XRD, ICP-OES/MS, SEM-EDS).
- Návrh a ověření postupů mechanického zpracování a přetřídění křemičitého zbytku.
- Možnost chemického přepracování na čistý SiO₂ nebo geopolymerní materiály.
- Analýza amorfniho SiO₂ lyogelu (stupeň čistoty, morfologie).
- Návrh a ověření postupů sušení příprava xerogelu, úprava granulometrie, reaktivita.
- Testování možností zpracování v oblasti výroby anorganických pojiv (cementy, hydratulká pojiva, geopolymery), využití v keramice, využití v technologii betonu, omítkových směsích, nátěrových hmotách a polymerkompozitech. Testování využití jako sorbent. Využití pro mineralizaci organických materiálů. Zpracování v technologii vysoce efektivních silikátových vakuových izolacích.
- Ověření zbytků pro loužení jako složky základkových směsí pro rekultivace po těžbě.
- Blokový návrh technologie zpracování a určení dopravně-transportních a reologických vlastností postproduktu.
- Ověření environmentální stability a bezpečnosti vedlejšího produktu.
- Zpracování energetické bilance procesů manipulace a efektivity využití ve stavebním průmyslu.

VA1.1./7. LCA studie vyvinuté technologie získávání Al, Ti a kritických surovin z jílovitých vrstev (VŠCHT, VŠB, SD, ÚCHP, VUT, SK, TVAR COM) 01/2028-12/2028.

Cíl: Zhodnocení environmentální dopady navrhované technologie získávání Al, Ti a kritických surovin z jílovitých vrstev

- Tvorba základního LCA modelu ve specializovaném LCA software
- Sběr provozních materiálových a energetických dat vyvíjené technologie. Určení proxy dat.
- Inventarizační analýza životního cyklu technologie, hodnocení environmentálních dopadů. Volba vhodných charakterizačních metodik.
- Provedení kontribuční analýzy a analýzy citlivosti výsledků vůči významným předpokladům.
- Hodnocení alternativních scénářů a porovnání s teoretickými daty těžby primárních surovin.

VA1.1./8. Technicko-ekonomická analýza (TVAR COM, SD, SK, VŠCHT, ÚCHP, VUT) (01/2027–12/2028).

Cíl: Posouzení proveditelnosti a ekonomiky navržených procesů.

- Hmotnostní a energetické bilance jednotlivých procesních kroků.
- Odhad investičních a provozních nákladů pro pilotní a průmyslové měřítko.
- Porovnání s tradiční těžbou bauxitu a zpracováním ilmenitu.
- Identifikace environmentálních přínosů (redukce odpadů, využití hlušin).
- SWOT analýza technologické varianty.

Nástin činnosti pro roky 2029–2032

V letech 2029–2032 bude výzkumná činnost zaměřena na zlepšení účinnosti extrakci dalších prvků s vysokou přidanou hodnotou a zejména vývoj účinných metod pro jejich získávání z roztoku pro extrakci. Jedou z priorit bude vývoj a optimalizace technologických postupů pro získávání Ga z výluhů s cílem dosáhnout vysoké výtěžnosti a selektivity v přítomnosti dalších majoritních kovů. Paralelně bude probíhat výzkum metod pro efektivní separaci vanadu (V) včetně jeho následného přečištění do formy vhodné pro chemický a metalurgický průmysl. Součástí činností bude rovněž cílený vývoj procesů pro získávání sloučenin hliníku a titanu s vyšší čistotou, a tedy i přidanou hodnotou, zejména oxidu hlinitého (Al_2O_3) a oxidu titaničitého (TiO_2). Zvažováno bude výzkum postupů pro získání čistých kovů (např. Al, Ti, případně Ga) pro využití v metalurgických procesech. Výzkum bude orientován nejen na laboratorní ověření jednotlivých kroků, ale i na jejich integraci do komplexního procesního řetězce, který bude zohledňovat ekonomiku, environmentální dopady a možnosti reálné průmyslové aplikace.

3.1.3 Výsledky a jejich uplatnění

V rámci WP1.1 bude vyvinuta a laboratorně i poloprovozně ověřena komplexní, v ideálním případě, bezodpadová technologie pro zpracování jílovitých hornin z domácích ložisek (zejména lom Bílina a Sedlec–Čankovská) se zaměřením na získávání hliníku, titanu, případně galia a vanadu. Technologie bude zahrnovat fázi úpravnické separace, kalcinace, vícestupňové loužení a srážení produktů, regenerace reagentů, a materiálového využití pevných zbytků.

Cílem je navrhnout technologii, která umožní zpracování desítek milionů tun dosud nevyužívaných materiálů s obsahem CRM, které vznikají jako vedlejší produkty těžby hnědého uhlí nebo kaolínu. Výsledky mají potenciál rozšířit domácí surovinovou základnu v souladu s požadavky EU (CRMA) a Surovinové politiky ČR, snížit závislost na dovozu zájmových komodit do ČR a EU a podpořit vznik nových technologických kapacit v oblasti zpracování strategických surovin v ČR.

Velký důraz je kladen i na vedlejší produkty – zejména silikátové zbytky po loužení, které budou využity jako pucolánově aktivní složky pro výrobu suchých malt, betonu, základkových směsí, keramických nebo kompozitních materiálů. Využití těchto materiálů má ekonomický i environmentální přínos a významně snižuje množství odpadu. Technologie bude navržena jako škálovatelná, s možností technicko-ekonomické realizace v průmyslovém měřítku.

Výsledky mají velký aplikační potenciál jak z pohledu průmyslového využití, tak z hlediska strategického plánování a rozhodování a budou dominantně využity pro vlastní podnikatelskou činnost a rozvoj obou ložisek. Vzhledem k aktuálnosti témat je nicméně uplatnitelnost i na mezinárodním poli, kdy know-how a vyvinutou technologii půjde dále využít i na další ložiska podobného typu. Uplatnění výsledků je tedy především v těžebním

průmyslu pro zpracování této suroviny. Potenciál je nicméně i v chemickém průmyslu, který se může zapojit do dodavatelsko-odběratelských řetězců.

Funkční vzorky budou sloužit jako kontrola kvality dílčích výstupů z jednotlivých uzlů celé technologie, tj. jako meziprodukty s definovanými vlastnostmi technologického řetězce. Ověřená technologie sumarizuje celý proces a poskytne základ pro následný upscaling do poloprovozního a průmyslového měřítko.

Studie proveditelnosti, LCA a popis podmínek využitelnosti budou sloužit jako klíčové podklady pro investora a orgány státní správy (MPO, MŽP) při rozhodování o zařazení ložiska mezi strategická ložiska ČR a EU dle pravidel JORC/UNFC a CRMA. Současně podpoří posouzení souladu s požadavky na udržitelnost a environmentální přínosy vyvinuté technologie.

Hlavní výsledky v rámci WP1.1 tedy budou tyto:

WP1.1/1 – Silikátový by-produkt po loužení CRM (06/2028), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek slabě nebo silně reaktivního by-produktu z procesu chemické úpravy kalcinátu. Jde o zbytek po separaci Al_2O_3 , TiO_2 a dalších CRM. Funkční vzorek bude velmi jemnozrnné frakce křemičitého charakteru v rozsahu 0–1 mm. Předpokládá se pucolánová aktivita alespoň 700 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{g}$. Produkt bude určený pro využití v hydraulicky spojených stavebních materiálech typu suchých maltových směsí, betonu nebo polymercementových a polymerových kompozitech.

WP1.1/2 – Ověřená technologie – Proces zpracování jílových hornin pro extrakci CRM (12/2028), typ výsledku: Ověřená technologie (Z).

Bezodpadová technologie zpracování jílových hornin pro separaci kritických surovin (CRM). Jílové horniny budou získávány těžbou primárních nerostných surovin z vytípaných ložisek. Technologie bude zahrnovat separaci škodlivin, purifikaci suroviny, kalcinaci a zpracování kalcinátu. Technologie bude realizována ve spolupráci s průmyslovými partnery konsorcia a ověřena v nezávislé instituci (např. fBERG TUKE). Zahrnovat bude i zpracování škodlivin.

WP1.1/3 – O – Podmínky využitelnosti ložiska pro MŽP (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Jedná se o získání souboru hraničních chemicko-technologických vlastností suroviny (minimální individuální nebo kombinovaný obsah získatelných užitkových složek, maximální podíl škodlivin nebo balastu – potenciálního těžebního odpadu, případný vznik by-produktů při provádění metalurgických a úpravářenských procesů), které budou určovat ekonomickou využitelnost částí ložiska a budou tak mít vliv na určení základních požadavků na určení výskytu suroviny ve zkoumaném ložisku a na rozlišení aktuálně bilančních a nebilančních zásob v ložisku v podmínkách dolu Bílina.

WP1.1/4 – O – Studie proveditelnosti (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek
Studie proveditelnosti úpravy a metalurgického zpracování jílovitých Ti-Al-Si-Ga-V rud je základním technologicko-ekonomickým materiálem, který bude sloužit investorovi

(Severočeské doly a.s.) při rozhodování o další aplikaci zjištěných výrobních procesů v reálných podmínkách. Studie kromě návrhu efektivní výrobní linky musí zahrnovat základní ekonomické vyhodnocení CAPEX a OPEX pro případ realizace provozu na minimálně 20 let činnosti při zpracovávání cca 1 milionu tun rudy ročně. Kromě samotného výrobního procesu musí zahrnovat všechny souběžně vyvolané procesy a náklady jako je likvidace odpadů, eliminace vlivu škodlivin na životní prostředí, nákup reagentů a energie, logistických a dalších ekonomicky významných procesů.

Další výsledky, které vzniknou v rámci WP1.1 budou:

WP1.1/5 – Separovaná silikátová složka z procesu přípravy prekalcinátu (06/2027), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek inertního nebo slabě reaktivního by-produktu z procesu separace škodlivin z jílové suroviny před kalcinací. Funkční vzorek bude jemnozrnné frakce křemičitého charakteru v rozsahu 0–1, 0–2, 0–4 mm. Předpokládá se slabě pucolánová aktivita do 400–500 mg $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$. Produkt bude určený pro využití v hydraulicky spojených stavebních materiálech typu suchých maltových směsí, betonu nebo polymercementových a polymerových kompozitech.

WP1.1/6 – Prekalcinát definovaných parametrů (06/2027), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek vstupní suroviny pro kalcinaci o deklarovaném minimálním obsahu rozložitelných alumosilikátů, granulometrie a vlhkosti. Očekávaná vlhkost produktu do 1 %. Očekávaný obsah kaolinitu v jílové surovině alespoň 70 %.

WP1.1/7 – Kalcinát definovaných parametrů (06/2027), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek produktu po kalcinaci o deklarovaném minimálním obsahu metakaolinu, granulometrie a rozpustnosti. Čistota produktu bude alespoň 70 % metakaolinitu. Předpokládaná reaktivita vyjádřená dle Chapelle nad 1000 mg $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$. Rozpustnost v kyselině vyjádřená nerozpustným zbytkem.

WP1.1/8 – O – LCA studie vyvinuté technologie získávání Al, Ti a kritických surovin z jílovitých vrstev (12/2028), typ výsledku: O – výzkumná zpráva
Výsledek představuje posouzení životního cyklu (LCA) navržené technologie pro získávání Al, Ti a minoritních kritických prvků, jako jsou galium nebo vanad, z jílovitých vrstev a hlušin. Studie bude zpracována v souladu s normami ISO 14040/44 a bude založena na sestavení detailního LCA modelu ve specializovaném softwaru. Do modelu budou zapracována provozní data z laboratorních a poloprovozních ověření doplněná o vhodně zvolená proxy data. Na tomto základě bude provedena inventarizační analýza a vyhodnocení environmentálních dopadů, zejména v kategoriích globálního oteplování, acidifikace, eutrofizace, spotřeby vody a mineral resource scarcity. Součástí bude také kontribuční a citlivostní analýza a srovnání s konvenčními technologiemi výroby oxidu hlinitého, oxidu titaničitého a dalších produktů z tradičních zdrojů, jako je bauxit nebo ilmenit.

WP1.1/9 – Jimp (12/2028), typ výsledku: Publikace v impaktovaném časopise (Jimp)
Výzkumná publikace shrnující výsledky vývoje nové technologie zpracování jílovitých surovin a získávání kritických prvků. Výstupem bude odborný článek publikovaný v recenzovaném časopise s impakt faktorem.

3.1.4 *Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě*

Objemy surovin na lomu Bílina Severočeských dolů a Sedleckého kaolínu zatím nebyly přesně vyčísleny, ale jedná se o desítky milionů tun. Jejich využití by vedlo k zajištění surovinové soběstačnosti ČR v případě hned několika kritických surovin. Výsledky projektu spolu s pokračujícím geologickým průzkumem lomu povedou k výpočtu zásob, který bude následně předložen MPO s žádostí o zařazení ložiska do kategorie strategických ložisek ČR. Pak bude transformován do podoby odpovídající pravidlům JORC/UNFC, aby výsledky mohly být předloženy Evropské komisi rovněž s žádostí o zařazení mezi projekty kritických a strategických nerostů. Legislativním rámcem pro uvažování o zařazení potenciálního ložiska mezi ložiska kritických a strategických nerostů poskytuje NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2024/1252 ze dne 11. dubna 2024, kterým se stanoví rámec pro zajištění bezpečných a udržitelných dodávek kritických surovin a mění nařízení (EU) č. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 a (EU) - vstoupilo v platnost 31.5.2024 a je přímo aplikovatelné do právního řádu ČR. A na české straně je to zejména aktuální znění Horního zákona 44/1988 Sb. a také Usnesení vlády české republiky ze dne 11. října 2017 č. 713 ke Zprávě o nutnosti zajištění ekonomických zájmů státu v oblasti využití kritických superstrategických surovin. Výsledky projektu mají být použity v průběžném prvním kroku jako podklad pro zpracování podmínek využitelnosti potenciálních ložisek a následně pro uvedenou žádost a zařazení mezi ložiska kritických a strategických nerostů evropského významu.

Projekt má tedy velmi vysoký aplikační potenciál, protože řeší využití domácích zdrojů jako alternativy k dovozu kritických surovin z rizikových zahraničních lokalit apod. Výsledkem bude vyvinutí technologie pro:

- Výrobu hliníku z tuzemských surovin, čímž se sníží závislost na importu bauxitu.
- Získávání titanu z reziduí po loužení hliníku, což umožní výrobu pigmentového TiO_2 (titanové běloby) nebo suroviny pro titanovou metalurgii.
- Separaci galia jako kritického prvku pro polovodičový průmysl, jehož výroba je dnes koncentrována pouze v několika zemích.
- Materiálové využití křemičitého loužence ve výrobě anorganických pojiv, keramice, betonu, omítkových směsí, nátěrových hmotách a polymerkompozitech.

3.1.5 *Harmonogram řešení*

Níže je uveden Ganttův diagram řešení WP1.1 a klíčové milníky.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP1.1													
T1.1.	VA1.1/1												
	VA1.1/2												
	VA1.1/3												
	VA1.1/4												
	VA1.1/5												
	VA1.1/6												
	VA1.1/7												
	VA1.1/8												
Výstupy													

Milníky

- M1.1/1 – 07/2026 – detailní popis složení vstupní suroviny včetně mineralogie je dokončen
- M1.1/2 – 12/2026 – základní ověření úpravnických cest je dokončeno
- M1.1/3 – 12/2026 – zajištěn hrubý podklad pro zpracování podmínek využitelnosti ložiska Bílina
- M1.1/4 – 12/2026 – zafixován postup technologie separace a přípravy prekalcinátu
- M1.1/5 – 06/2027 – postup kalcinace ověřen a zafixován včetně bilance
- M1.1/6 – 06/2027 – zafixováno složení a požadované parametry kalcinátu
- M1.1/7 – 06/2027 – zajištěny základní podklady pro zpracování předběžné studie proveditelnosti úpravy a metalurgického zpracování suroviny
- M1.1/8 – 06/2027 – dosažen postup loužení a srážení produktů pro optimalizaci
- M1.1/9 – 12/2027 – ověřeno použití loužence ve stavebnictví
- M1.1/10 – 12/2028 – technicko-ekonomická studie pro definitivní studii proveditelnosti zpracována

3.2 WP1.2 Získávání Cu, Zn a kritických surovin ze polymetalické rudniny z ložiska Zlaté hory

Vedoucí WP: Hong Vu, VŠCHT Praha.

Další řešitelé včetně organizace: David Längauer, DIAMO; Michal Šyc, ÚCHP AV ČR; Karel Dvořák, VUT v Brně; Pavel Dálecký, TVAR COM; Vladimír Kočí, VŠCHT Praha.

Cíle řešení

Cílem řešení je návrh a ověření postupu získávání Cu a Zn, případně Ga, Ge a dalších kritických a strategických surovin, ze sulfidických rud z ložiska Zlaté hory. Součástí návrhu postupu je i ověření jednotlivých kroků a vypracování celkového schématu řešení pro zpracování studie proveditelnosti jako podkladu pro další rozhodnutí investora.

Cílem je tedy zejména:

- Ověření použití úpravnických metod pro získávání kolektivního nebo selektivního flotačního koncentrátu
- Návrh, optimalizace a ověření kyselých loužicích postupů pro rozpouštění Cu a Zn z koncentrátu
- Návrh a ověření postupů pro rafinaci výluhů a následné získávání Cu a Zn v kovové formě
- Návrh a ověření postupů pro získávání Ga a Ge, případně dalších kritických a strategických kovů ze zpracovaných výluhů a pevných zbytků (louženců) z loužícího kroku
- Ověření použití pevných zbytků a odpadů a dalších vedlejších produktů ze zpracování
- Návrh blokového schématu celého procesu s příslušnými hmotovými a energetickými toky
- Zajištění základních dat pro stanovení podmínek využitelnosti zkoumaného ložiska Zlaté hory

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI1.2/1 Výťažnost zájmových prvků (Zn, Cu) do flotačního pěnového produktu nejméně 90 %.
- KPI1.2/2 Účinnost loužení zájmových prvků (Zn, Cu) přes 90 %.
- KPI1.2/3 Proudová účinnost pro elektrolýzu Cu přes 90 %.
- KPI1.2/4 Čistota katodové Cu přes 99 %.
- KPI1.2/5 Proudová účinnost pro elektrolýzu Zn přes 90 %.
- KPI1.2/6 Čistota katodového Zn přes 99 %.

3.2.1 Popis současného stavu

State-of-the art z literatury

Zinek (Zn) je světově čtvrtým co do objemu vyráběným kovem. Více než polovina produkce Zn je využita na Zn povlaky sloužící k ochraně oceli proti korozi. Ze zbylé části produkce se většina spotřebovává na slitiny (nejvýznamnější je mosaz), a pouze malá část ve formě sloučenin na výrobu gumy, chemikálií, barev aj. Zinek je ze tří čtvrtin vyráběn hydrometalurgicky. Prvním krokem výroby je nicméně energeticky náročné pražení sfaleritu

(ZnS, nejrozšířenější Zn ruda) probíhající za teplot okolo 1000 °C. Produkt pražení (ZnO) se louží v kyselině sírové a vzniklé výluhy musí být rafinovány. Konkrétně jde o odstranění železa srážením a mědi, kobaltu a niklu cementací. Z rafinovaných výluhů je získáván Zn vysoké čistoty elektrolyticky. Čtvrtina výroby Zn je realizována pyrometalurgicky, přičemž první krok (pražení ZnS) je stejný, následuje redukce v šachtové peci (> 1000 °C) a rafinace sestávající z opakované destilace Zn (> 1000 °C). Kvůli vysokým energetickým nákladům se podíl pyrometalurgického způsobu výroby snižuje.

Měď (Cu) je strategickým materiálem, protože je díky vysoké elektrické vodivosti základem elektrotechniky a elektroniky. Vzhledem k vynikající tepelné vodivosti je Cu nenahraditelná při výrobě různých chladičů a obecně součástí, kde je nutný rychlý odvod tepla. Výroba Cu se realizuje převážně pyrometalurgicky ze sulfidických minerálů. Prvním krokem procesu je koncentrační tavení (na kamínky) probíhající za teplot dosahujících až 1300 °C. Následuje konvertorování kamínku při teplotách ~ 1200 °C, oxidační rafinace vyrobené Cu (> 1100 °C) a finální elektrolytická rafinace. Z výčtu kroků je zřejmé, že výroba mědi pyrometalurgicky vyžaduje kvůli vysokým teplotám procesů značná množství energie. Menší podíl Cu je pak vyráběn hydrometalurgicky loužením chudých oxidických nebo sulfidických rud v kyselině sírové, čištěním a zkoncentrováním vzniklých výluhů kapalinovou extrakcí a získáním kovové Cu elektrolyticky. Tento postup je energeticky mnohem méně náročný než způsob pyrometalurgický.

Galium (Ga) patří ke kritickým materiálům z důvodu jeho nezastupitelnosti v elektronice, ať už ve formě čistého Ga, tak ve formě sloučenin – především arsenid galia (GaAs). Ten se využívá k výrobě tranzistorů, integrovaných obvodů aj. Nezastupitelný je v optoelektronice – vyskytuje se ve světlo emitujících diodách, laserech, fotodetektorech, solárních článcích. Prakticky výhradním producentem Ga je Čína. Průmyslovým zdrojem galia jsou roztoky ve výrobě oxidu hlinitého Bayerovým procesem. Z roztoků je Ga získáváno frakční precipitací, nebo použitím chelatačních činidel. Oba postupy zahrnují množství kroků a vedou pouze k surovému Ga čistoty 99 – 99,9 %. Pro polovodičové aplikace je však nutné dosáhnout čistoty až 8N (99,999999 %), což vyžaduje další čistící operace.

Germanium (Ge) je dalším kritickým prvkem, který je využíván v polovodičové technice. Vyrábějí se z něj některé typy diod, integrovaných obvodů. Velké využití má ve světlovodné optice, radarové technice, přístrojích pro noční vidění a laserové technice. Hlavním producentem Ge je rovněž Čína. Germanium se získává z louženců vznikajících při hydrometalurgické výrobě Zn a z popílků po spalování některých druhů hlavně hnědého uhlí. Pro výrobu Ge se nejprve připraví koncentráty, které se následně chlorují, vzniklý chlorid germaničitý se čistí a jeho hydrolýzou připravený oxid germaničitý se redukuje vodíkem. Stejně jako galium musí být vyrobené Ge podrobeno dalším rafinačním operacím, aby bylo dosaženo polovodičové čistoty.

Kobalt (Co) je nezbytný pro produkci některých typů Li baterií a slinutých karbidů. Rovněž se využívá jako legura do oceli. Většina nalezišť Co rud je lokalizována do Demokratické republiky Kongo, která bývá v této souvislosti uváděna jako odstrašující příklad kvůli modernímu otroctví, dětské práci a dalším kriminálním jevům provázejícím těžbu

v některých zemích třetího světa. Výroba Co ze sulfidických rud zahrnuje sulfatační pražení, loužení a velkou řadu rafinačních kroků končících elektrolytickým vylučováním Co. Ten pak musí být ještě přetaven ve vakuu, aby byl získán Co požadované čistoty.

Bismut (Bi) má využití jako legura v různých slitinách, z nichž mnohé mají nízkou teplotu tání. Využívá se jako náhrada olova v různých průmyslových aplikacích (pájky, střelivo, glazury, barviva pro keramické materiály). Dále je součástí některých katalyzátorů, optických vláken s vysokým indexem lomu, Peltierových článků, permanentních magnetů, scintilačních detektorů aj. Bismut se získává jako vedlejší produkt při výrobě olova. Přídavkem slitiny Ca-Mg k Pb dojde ke vzniku slitiny Ca-Mg-Bi. V ni je nejprve Bi zkoncentrován oxidačním tavením, následně je odstraněn Ca a Mg reakcí s chloridem olovnatým (PbCl_2). Vzniklá slitina Pb-Bi se chloruje za vzniku PbCl_2 a surového Bi. Ten je pyrometalurgicky rafinován za vzniku Bi o čistotě 99,999 %.

Vlastní zkušenosti v konsorciu a motivace – Těžba a zpracování kritických a strategických nerostů v ložisku Zlaté hory

Zlaté Hory se nachází asi 8 km jižně od hranic s Polskem (obr. 5). Projekt se nachází na hranici Olomouckého kraje a Moravskoslezského kraje. Historický důlní revír Zlaté Hory se nachází v geomorfologické jednotce Zlatohorská vrchovina v Jesenické horské oblasti. Nejvyšším vrcholem je Příčná Hora s nadmořskou výškou 975 m n. m., nejnižší bod leží na hranici mezi Českou republikou a Polskem, v korytě Skřivánkovského potoka (385 m n. m.). Projekt se nachází na katastru města Zlaté Hory, které se nachází asi 5,5 km severně od dolu.



Obr. 5. Polohopisné umístění Zlatých Hor.

Těžba se v roce 1990 přesunula z ložiska Zlaté Hory Východ (ZH-V) na ložisko Zlaté Hory Západ (ZH-Z). Po vyhlášení útlumového programu v rudném hornictví vládou ČR z roku

1990 se hornická činnost začala omezovat. Útlum a likvidace trvaly do konce roku 1993. Poslední vůz zlatohorské rudy byl slavnostně vytěžen 17.12.1993. V současné době znovu probíhá na ložisku ZH-Z geologický průzkum. Výstupem tohoto průzkumu bude výpočet zásob, na jehož základě se rozhodne o zařazení ložiska a možné budoucí těžbě. Pokud výpočet zásob potvrdí dostatečné zásoby zájmových prvků a prokáže se ekonomická rentabilita ložiska, tak dalším krokem je proces přípravy všech nutných dokumentů pro podání žádosti o dobývací prostor. Na základě dosavadních výsledků průzkumných geologických prací se zásoby polymetalických rud na ložisku ZH-Z odhadují na 1,5 mil. tun s průměrným obsahem sulfidických složek kolem 7–8 %.

Metamorfované vulkanosedimentární horniny s polymetalickým zrudněním byly ve zlatohorském revíru zkoumány prakticky celou druhou polovinu 20. stol. Detailní klasifikace rudních zón (a těles) v oblasti Zlaté Hory – západ je velmi subjektivní a závisí především na zvoleném způsobu klasifikace, což může být např. litostratigrafická pozice rudních minerálů, jejich vzájemný vztah nebo tektonické poměry apod.

Ekonomicky nejvýznamnější jsou tělesa 4. a 5. typu, jejichž společným rysem je přítomnost chalkopyritu a sfaleritu a čočkovitá, páskovaná až impregnační textura. Čtvrtý typ reprezentují převážně sfalerit-chalkopyritové rudy se zvýšenými obsahy Ag a Au, přičemž koncentrace užitečných složek je značně variabilní; obsahují komplexní asociaci prvků, různé polymetalické varianty až téměř monometalické rudy Zn či Cu. Tělesa pátého typu mají často charakter jakýchsi odloučených zón typu 4 a nejvýznamnější surovinou je v nich Au. Nejbohatší oblast ložiska, tzv. zlatý sloup, je vázána na křížení 2 polymetalických zón, tj. těles 4. a 5. typu. Zásoby a prognózní zdroje, vymezené v tomto výpočtu zásob, se nacházejí v hloubkovém pokračování v minulosti těžených těles čili se opět jedná o tělesa typu 4 a 5.

Polymetalické zrudnění obsahuje zvýšená množství některých stopových prvků. V průběhu 80. let byl proveden mineralogicko-geochemický výzkum ZH-Z jehož hlavním cílem byla charakterizace chemismu hlavních sulfidů (pyrit, pyrhotin, sfalerit, galenit, chalkopyrit), studium distribuce doprovodných prvků (Ag, Au, Bi, Ga, Cd, Mn, Co, Ni, Se, Sb, As, a jiné) a geochemie sulfidů jako indikátor podmínek vzniku zrudnění. Z výsledků vyplývá, že asociace některých prvků je spojena s určitými minerálními fázemi. V pyritu se vyskytovalo Ag, As, Au, Bi, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V a Zn. Ve sfaleritu byly zjištěny prvky Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Ga, In, Mn, Ni, Sb, Sn a Se. V galenitu byly zjištěny prvky Ag, As, Au, Bi, Cd, Cu, Mn, Sb, Se, Sn, Te a Ti. V chalkopyritu byly zjištěny prvky (Ag, As, Au, Bi, Cd, Ni, Sb, Se a Sn). V pyrhotinu byly zjištěny prvky Ag, As, Au, Bi, Co, Mn, Ni a Se.

Postup úpravy polymetalické rudniny a charakteristika flotačních koncentrátů

V současné době probíhá intenzivně výzkum úpravy získané rudniny ze Zlatých Hor. Vzorky rudniny jsou zdobňovány pomocí přípravných procesů (drcení, mletí) na frakci D80 = 80 µm. Následně jsou vzorky flotovány se zahuštěním 30 % pevné fáze a za použití vhodných flotačních činidel, tak aby bylo dosaženo co nejvyšších výnosů zájmových prvků do pěnového produktu. Vzniklý pěnový produkt je pro laboratorní účely považován za finální výstup flotace. Na základě laboratorních testů jsou dále prováděny čtvrtprovozní a

poloprovozní testy, které umožňují ověření výsledků laboratorních zkoušek na větších objemech rudniny při kontinuálním procesu. Cílem těchto velkoobjemových zkoušek je lepší simulace reálných procesních podmínek, zapojení kontrolních a přečištěných flotací a získání většího množství koncentráту pro následné fáze úpravy, které mají za úkol z flotačního koncentráту získat selektivně vybrané CRM, Cu a Zn. Bylo získáno několik tun flotačního koncentráту. Na obrázcích jsou znázorněna schémata pro čtvrtprovozní (obr. 6.) a poloprovozního zapojení linky (obr. 7).

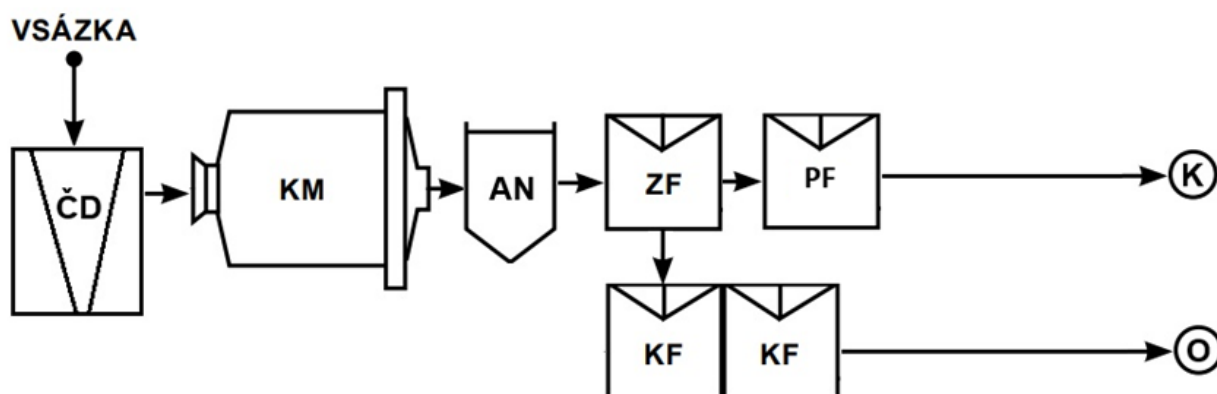


Schéma zapojení zařízení zařízení během procesu zpracování vsázky

ČD - čelistový drtič, KM - kulový mlýn, AN - agitační nádrž, ZF - základní flotace, KF - kontrolní flotace, PF - přečištěná flotace, K - koncentrát, O - odpad

Obr. 6. Čtvrtprovozní schéma flotační úpravy rudniny.

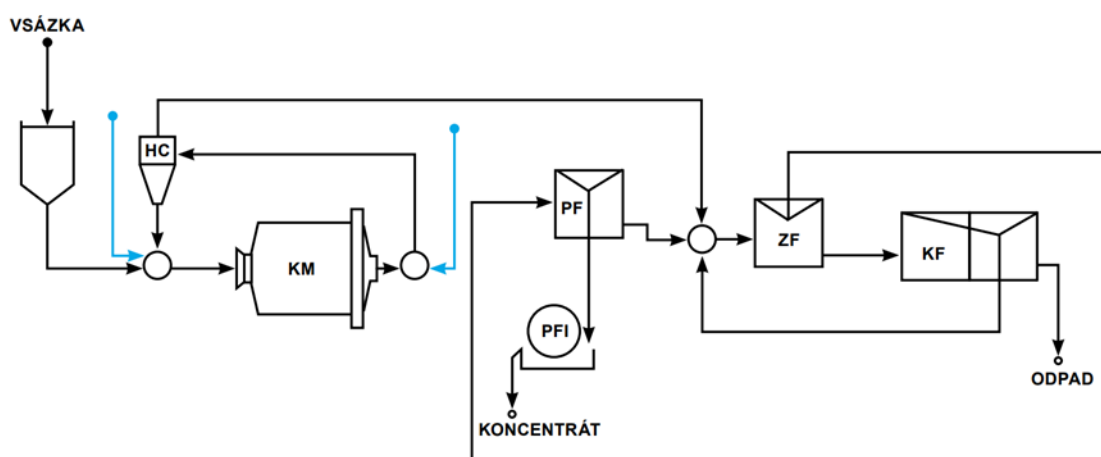


Schéma zapojení zařízení během procesu zpracování vsázky

HC - hydrocyklon, KM - kulový mlýn, PF - přečištěná flotace, ZF - základní flotace, KF - kontrolní flotace, PFI - podtlakový filtr

Obr. 7. Poloprovozní schéma flotační úpravy rudniny.

Flotační koncentráty jsou analyzovány pomocí XRF, XRD a ICP-MS na obsahy zájmových prvků a minerálních fází. Z minerálních fází se ve flotačních koncentrátech nachází převážně sulfidy (chalkopyrit, sfalerit, pyrit, galenit). Obsah Zn a Cu v flotačních koncentrátech se liší podle lokalit v ložisku. V průměru flotační koncentráty obsahují v rozmezí 4 - 10 % Cu a 12- 50 % Zn. Hlavní nečistoty představují Fe (~23 %), Al (~ 5 %) a Mg (~ 1,4 %)

V minulosti byly v lokalitě Zlaté Hory ve vzorcích indikované zvýšené obsahy vybraných prvků (Ag, As, Au, Bi, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V, Ga, Ge a Zn). Obsah Bi, Ga a Ge je odhalován v rozmezí 40–70 ppm. Vzhledem k výskytu těchto strategických surovin v ložisku a jejich obsahům ve flotačním koncentrátech by bylo vhodné se pokusit z těchto flotačních koncentrátů extrahovat vybrané prvky jako vedlejší produkty procesu získávání Cu a Zn.

Ambice předloženého projektu je vyvinout nově hydrometalurgický postup pro společné získávání mědi (Cu) a zinku (Zn), který představuje energeticky i environmentálně šetrnější alternativu ke konvenčním pyrometalurgickým metodám, které tyto kovy zpravidla zpracovávají odděleně. Pyrometalurgické procesy jsou spojeny s vysokými investičními náklady, značnou energetickou náročností a emisemi škodlivých látek (např. SO₂/SO₃), což představuje významnou zátěž pro životní prostředí. Naproti tomu nově navržený hydrometalurgický přístup umožní zpracovávat flotační koncentráty v kapalně fázi, a díky vhodné kombinaci loužení, extrakce a selektivních separačních kroků umožňuje nejen účinné získání Cu a Zn současně, ale také separaci a využití minoritních kovů, jako jsou germanium (Ge), galium (Ga), indium (In) nebo kobalt (Co). Tento přístup tak přispívá k vyšší materiálové efektivitě, snížení environmentálních dopadů a rozšíření spektra využitelných kritických surovin.

Seznam použité literatury:

- Schwab, B., Ruh, A., Manthey, J. and Drosik, M. (2015). Zinc. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.). https://doi.org/10.1002/14356007.a28_509.pub2
- U.S. Geological Survey (USGS), Zinc statistic and Information (2025). <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-zinc.pdf>
- Lossin, A. (2001). Copper. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.). https://doi.org/10.1002/14356007.a07_471
- U.S. Geological Survey (USGS), Copper statistic and Information (2025). <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-copper.pdf>
- Greber, J.F. (2000). Gallium and Gallium Compounds. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.). https://doi.org/10.1002/14356007.a12_163
- U.S. Geological Survey (USGS), Gallium statistic and Information (2025). <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-gallium.pdf>
- Scoyer, J., Guislain, H. and Wolf, H.U. (2000). Germanium and Germanium Compounds. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.).

https://doi.org/10.1002/14356007.a12_351

U.S. Geological Survey (USGS), Germanium statistic and Information (2025).
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-germanium.pdf>

Donaldson, J.D. and Beyersmann, D. (2005). Cobalt and Cobalt Compounds. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.).
https://doi.org/10.1002/14356007.a07_281.pub2

U.S. Geological Survey (USGS), Cobalt statistic and Information (2025).
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-cobalt.pdf>

Krüger, J., Winkler, P., Lüderitz, E., Lück, M. and Wolf, H.U. (2003). Bismuth, Bismuth Alloys, and Bismuth Compounds. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.). https://doi.org/10.1002/14356007.a04_171

U.S. Geological Survey (USGS), Bismuth statistic and Information (2025).
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-bismuth.pdf>

3.2.2 Metody a postup řešení

T1.2: Získávání Cu, Zn a dalších kritických surovin z polymetalické rudniny.

Níže uvedené postupy řešení jsou vzájemně provázané. Navržené metalurgické zpracování kombinuje průmyslově ověřené technologické postupy využívané pro efektivní získávání neželezných kovů, zejména zinku (Zn) a mědi (Cu), které jsou známé svou provozní robustností a spolehlivostí. Tyto osvědčené metody jsou doplněny o nově vyvíjené a cíleně přizpůsobené postupy pro separaci a získávání minoritních a technologicky významných prvků, jako je galium (Ga) a germanium (Ge), jež se běžně při zpracování zinkových rud nezískávají. Cílem tohoto přístupu je zvýšit výtěžnost a komplexní zhodnocení surovin, zejména ve vztahu ke kritickým surovinám a podpoře cirkulární ekonomiky.

Optimalizovaná fyzikální a flotační úprava má za cíl zlepšit výtěžnost a selektivitu separačního procesu a zároveň snížit podíl balastních složek v flotačních-koncentrátech. Vhodný loužící postup umožní maximální rozpouštění zájmových kovů a minimalizuje přechod nečistot do výluhů. Vhodné separační postupy vedou k selektivnímu získávání dominantních kovů (Cu, Zn) a usnadní získávání minoritních kovů (Ge, Ga, případně Bi). Výsledky z laboratorních zkoušek budou následně ověřeny a optimalizovány v poloprovozním měřítku.

VA1.2./1 Úprava vstupní suroviny a příprava koncentrátů (ÚCHP, VUT, VŠCHT, TVAR COM, VŠB) 01/2026-06/2027.

Cíl: Návrh a ověření metod předúpravy suroviny, separace balastních složek a příprava koncentráту s vysokým obsahem CRM.

- Návrh a úprava existujících postupů mechanického zpracování těžené suroviny, před-třídění, postupů drcení, mletí, určení dopravně-transportních vlastností pro před-upravenou surovinu.

- Návrh a ověření identifikace a separace hrubozrnných složek hlušiny a jejich vydělení pomocí úpravárenských postupů a posouzení ekonomičnosti procesu.
- Testování možností zpracování jemnozrnných a hrubozrnných frakcí hlušiny, zejména z překopů, nebo selektivně vybraných částí rudy s nízkým potenciálem zisku CRM, v oblasti výroby anorganických pojiv (cementy, hydraulická pojiva, geopolymery), využití v keramice, nátěrových hmotách, betonu a omítkových směsích.
- Ověření postupu separace hlušiny od sulfidické rudy pomocí gravitačních postupů a XRT, určení účinnosti separace včetně kvantifikace ztrát, realizace pilotních testů v laboratorním měřítku (zpracování řádově desítek kg suroviny), posouzení ekonomičnosti procesu.
- Mineralogická, petrologická a chemická analýza flotačního rmutu (XRF, XRD, ICP-OES/MS, SEM-EDS).
- Vypracování schématu úpravnického procesu pro přípravu suroviny pro flotaci a hydrometalurgii.

VA1.2./2 Optimalizace flotační úpravy (DIAMO, TVAR COM) 01/2026-01/2027.

Cíl: Zlepšení výtěžnosti a selektivity separačního procesu.

- Optimalizace parametrů flotačního úpravy v čtvrt-provozním a poloprovozním měřítku
- Příprava reprezentativních vzorků flotačního koncentrátu pro následné chemické zpracování

VA1.2./3 Chemické zpracování flotačního koncentrátu (VŠCHT, DIAMO, ÚCHP) 06/2026-12/2028.

Cíl: Návrh a ověření hydrometalurgických postupů pro získávání Cu, Zn, Ge, Ga a dalších kritických kovů z flotačních koncentrátů v laboratorním měřítku.

- Návrh a ověření loužicích postupů pro rozpouštění Cu a Zn (koncentrace H_2SO_4 , teplota, doba, poměr L/S, rychlost probublávání O_2 pro maximalizaci výtěžnosti Cu a Zn, a minimalizaci loužení nežádoucích složek – Fe).
- Návrh a ověření rafinačních postupů pro čištění výluhu před separací Cu a Zn (ověřit možnost odstranění nečistot, zejména Fe pomocí precipitační a cementační metody, kapalinové extrakce, případně iontové výměny).
- Návrh a ověření postupů získání Cu a Zn v kovové formě elektrolytickou metodou (teplota, proudová hustota, pH elektrolytů, výběr elektrod, koncentrace, doba).
- Separace Ge, Ga, případně jiných kovů (zjištění přítomnosti kritických kovů v jednotlivých procesních proudech, návrh o ověření postupů pro selektivní loužení Ga a Ge z pevných zbytků po kyselém loužení Cu a Zn, separace Ga a Ge ze vyčerpaných elektrolytů kapalinovou extrakcí nebo iontovou výměnou).

VA1.2./4 Poloprovozní ověření a optimalizace vyvinutého postupu pro chemické zpracování flotačního koncentrátu (DIAMO, VŠCHT, ÚCHP) 06/2027-06/2028.

Cíl: Ověření a optimalizace hydrometalurgického postupu pro získávání Cu, Zn, Ge, Ga a případně dalších kritických kovů z Zn flotačních koncentrátů v poloprovozním měřítku.

- Ověření a optimalizace jednotlivých technologických kroků pro rozpouštění Zn koncentráту, rafinaci výluhů a získávání Cu, Zn, Ge a Ga z rafinovaného výluhu v poloprovozním měřítku.

VA1.2./5 *Využití zbytků po separaci zájmových kovonosných složek Cu, Zn, Ga, Ge (VUT, TVAR COM, VŠCHT, ÚCHP) 09/2026-09/2028.*

Cíl: Materiálové využití pevného zbytku po získání CRM.

- Mineralogická, petrologická a chemická charakterizace vzniklého zbytku po flotaci a loužení, a to zejména podíl amorfni a krystalické fáze (XRF, XRD, ICP-OES/MS, SEM-EDS).
- Návrh a ověření postupů mechanického zpracování a vytřídění použitelných frakcí s velikostí nad 63 um včetně kalolisování a sušení. Možnost chemického přepracování na čistý SiO₂ nebo geopolymerní materiály. Analýza vlivu přetřídění na parametry jednotlivých frakcí.
- Testování možností zpracování flotačních kalů v oblasti výroby stavebních hmot a jako složky základkových směsí spolu s hrubozrnnými zbytky z úpravy hlušiny pro rekultivace po těžbě. Návrh a ověření statických, zpevněných a nestatických základek. Hydratační proces, trvanlivost. In situ testování.
- Ověření zbytků po flotaci a loužení jako složky základkových směsí pro rekultivace po těžbě. Návrh a ověření statických, zpevněných a nestatických základek. Hydratační proces, trvanlivost. In situ testování.
- Blokový návrh technologie zpracování a určení dopravně-transportních a reologických vlastností zbytku po flotační operaci. Návrh technologie zakládání.
- Ověření environmentální stability a bezpečnosti vedlejšího produktu a zpracování energetické bilance procesů manipulace a efektivity využití ve stavebním průmyslu.

VA1.2./6. *LCA studie vyvinuté technologie získávání Cu, Zn a kritických surovin ze polymetalické rudniny z ložiska Zlaté hory (VŠCHT, VŠB, DIAMO) 01/2028-12/2028.*

Cíl: Zhodnocení environmentální dopady navrhované technologie získávání Cu, Zn a kritických surovin ze polymetalické rudniny z ložiska Zlaté hory.

- Tvorba základního LCA modelu ve specializovaném LCA software.
- Sběr provozních materiálových a energetických dat vyvíjené technologie. Určení proxy dat.
- Inventarizační analýza životního cyklu technologie, hodnocení environmentálních dopadů. Volba vhodných charakterizačních metodik.
- Provedení kontribuční analýzy a analýzy citlivosti výsledků vůči významným předpokladům.
- Hodnocení alternativních scénářů a porovnání s teoretickými daty těžby primárních surovin.

VA1.2./7. Technicko-ekonomická analýza a aktualizovaná studie proveditelnosti (DIAMO, TVAR COM, VŠCHT, ÚCHP, VUT) 06/2027-12/2028.

Cíl: Posouzení proveditelnosti a ekonomiky navržených procesů.

- Hmotnostní a energetické bilance jednotlivých procesních kroků.
- Odhad investičních a provozních nákladů pro pilotní a průmyslové měřítko.
- Identifikace environmentálních přínosů (redukce odpadů, využití hlušin).
- SWOT analýza technologické varianty.
- Aktualizovaná studie proveditelnosti.

Nástin činnosti pro roky 2029–2032

Výzkumné činnosti v letech 2029–2032 se zaměří na další optimalizaci postupů pro separaci Ga, Ge a dalších kritických surovin (CRM) z louženců a elektrolytů získaných během kyselého loužení a elektrolytického vylučování Cu a Zn, prováděných za optimalizovaných podmínek v první fázi projektu (2026–2028). Cílem bude zvýšení efektivity navržených postupů, možnost získávání CRM v kovové formě nebo jako oxidy a snížení nákladů na celý technologický proces. Výstupy z této optimalizace budou použity pro aktualizaci studie proveditelnosti o možnosti získávání dalších kritických surovin. Tyto postupy budou dále testovány na různých geologických vzorcích z domácích i zahraničních lokalit. Paralelně bude probíhat analýza trhu s ohledem na uplatnění výsledků v průmyslové praxi.

3.2.3 Výsledky a jejich uplatnění

V rámci WP1.2 bude navržena, laboratorně ověřena a v poloprovozních podmínkách testována technologie pro zpracování polymetalických sulfidických rud z ložiska Zlaté Hory, se zaměřením na získávání mědi (Cu), zinku (Zn) a případně i kritických a strategických kovů, jako jsou germanium (Ge), galium (Ga) nebo bismut (Bi). Procesní řetězec zahrnuje úpravnickou separaci (flotaci), hydrometalurgii (kyselé loužení, separace, rafinace), elektrolýzu a následné využití pevných zbytků.

Cílem je ověřit technologickou proveditelnost komplexního procesu, který umožní efektivní využití polymetalických rud v rámci ČR a přispěje k naplnění cílů evropské strategie surovinové bezpečnosti (CRMA). Technologii lze aplikovat nejen na primární ložiska, ale i na nižší kvality rudy a dříve nezpracovatelné zásoby, čímž dochází k rozšíření domácí surovinové základny a zvýšení soběstačnosti v oblasti CRM.

Součástí řešení je rovněž zpracování zbytkových materiálů. Vedlejší produkty z flotace a chemického zpracování budou využity pro výrobu zpevněné zakládkové směsi, určené pro stabilizaci vytěžených prostor přímo v rámci ložiska Zlaté Hory. Tím dochází nejen k materiálovému zhodnocení odpadů, ale i k významnému environmentálnímu přínosu včetně snížení potřeby externího zakládkového materiálu.

Výsledky WP1.2 mají vysoký aplikační potenciál:

- jednak z hlediska přímého technologického využití při zpracování polymetalických rud a CRM.
- jednak jako podklad pro strategické rozhodování investorů i státní správy, zejména v souvislosti s aktualizací studie proveditelnosti podle pravidel JORC, rozhodování o dobývacím prostoru a hodnocení technicko-ekonomické realizovatelnosti projektu.

Funkční vzorky flotačních koncentrátů, katodových kovů (Cu, Zn) a základkových směsí poslouží jako ověřené meziprodukty reprezentující jednotlivé uzly navržené technologie. Poloprovozní testování bude důležitým krokem směrem k průmyslovému nasazení procesu a poskytne potřebné výstupy pro investory a technologické partnery.

Součástí výstupů bude rovněž LCA studie, která poskytne přehled o environmentálních dopadech vyvinuté technologie a poslouží jako důkaz souladu s požadavky evropské legislativy – např. EU Taxonomie, CSRD či Nařízení (EU) 2024/1252. Výsledky tak přispějí nejen k surovinové bezpečnosti, ale i k udržitelnému rozvoji zpracovatelského a chemického průmyslu v ČR i v rámci EU.

Hlavní výsledky v rámci WP1.2 budou tyto:

WP1.2/1 – Poloprovoz – Ověření technologie v poloprovozním měřítku (12/2028), typ výsledku: Poloprovoz.

Jednotlivé technologické kroky budou ověřeny v poloprovozním měřítku s cílem prověřit jejich funkčnost, stabilitu a reprodukovatelnost v podmínkách blízkých průmyslovému provozu. Cílem ověření je optimalizovat jednotlivé kroky procesu (flotace, loužení, separace, rafinace, elektrolyza), vyhodnotit materiálové a energetické bilance, získat reprezentativní vzorky výstupních produktů (flotační koncentrát, katodová měď, katodový zinek), a získat podklady pro průmyslové škálování technologie.

WP1.2/2 – O – Aktualizovaná studie proveditelnosti (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Současná studie proveditelnosti pro ložisko Zlaté Hory byla vypracována jen pro získávání Au. Výstupy ze všech fází WP1.2 budou použity pro rozšíření této studie. Hlavním přínosem pro projekt Zlaté Hory by bylo získávání kovového Cu a Zn a možné využití CRM jako vedlejších produktů. Takové rozšíření potenciálně zvýší ekonomickou hodnotu ložiska, což může pozitivně ovlivnit finální rozhodnutí schvalovacího procesu o udělení žádosti o dobývací prostor.

WP1.2/3 – Funkční vzorek – Elektrolytický katodový Zn (06/2028), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek produktu z elektrolytického vylučování Zn z rafinovaného výluhu získaného po loužení flotačního koncentráту. Jde o plochou desku z katodového Zn s minimální čistotou 99 %, tloušťkou 5–10 mm, šířkou 200–500 mm a délkou 200–500 mm.

WP1.2/4 – Funkční vzorek – Elektrolytická katodová Cu (06/2028), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek produktu z elektrolytického vylučování Cu z rafinovaného výluhu získaného po loužení flotačního koncentrátu. Jde o plochou desku z katodové Cu s minimální čistotou 99 %, tloušťkou 5–10 mm, šířkou 200–500 mm a délkou 200–500 mm.

Další výsledky, které vzniknou v rámci WP1.2, budou:

WP1.2/5 – Funkční vzorek – Kolektivní a selektivní flotační koncentrát (09/2027), typ výsledku: Funkční vzorek.

Jedná se o funkční vzorek produktu z flotační operace o deklarovaném složení, zejména obsahu Zn a Cu. Funkční vzorek bude jemnozrnný materiál ($D_{80} = 80 \mu\text{m}$), obsahující sulfidy Zn a Cu, přičemž minimální obsah Zn je 12 % a Cu 4 %. Vlhkost flotačního koncentrátu nepřesahuje 10 %.

WP1.2/6 – Funkční vzorek – Zpevněná základková směs (12/2027), typ výsledku: Funkční vzorek.

Jedná se o funkční vzorek zpevněné základkové směsi s využitím zbytků po flotaci a chemické separaci CRM pro stabilizaci vytěžených prostor. Směs bude jemnozrnná s nízkým vývinem hydratačního tepla a pevností min. 1 MPa po 28 dnech. Pro zpevnění bude využito pojivo na bázi kalciumsilikátů, kalciumaluminátů či síranu vápenatého.

WP1.2/7 – Jimp (12/2028), typ výsledku: Publikace v impaktovaném časopise (Jimp).

Výzkumná publikace shrnující výsledky vývoje technologie zpracování polymetalických rud a získávání CRM. Článek bude publikován v recenzovaném časopise s impakt faktorem.

WP1.2/8 – O – LCA studie vyvinuté technologie získávání Cu, Zn a kritických surovin (12/2028), typ výsledku: O – výzkumná zpráva.

Výsledek představuje posouzení životního cyklu (LCA) navržené hydrometalurgické technologie pro získávání Cu, Zn a minoritních kritických kovů z polymetalické rudniny ložiska Zlaté Hory. Studie bude zpracována dle ISO 14040/44 a bude obsahovat inventarizační analýzu, hodnocení environmentálních dopadů a srovnání s konvenčními technologiemi.

3.2.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě

V současné době na základě dat ze stále probíhajícího průzkumu a provedených úpravnických pokusů je zpracovávána studie proveditelnosti, která bude odpovídat pravidlům JORC. Na základě této studie bude rozhodnuto o podání žádosti o dobývací prostor. Výsledky projektu budou použity pro rozšíření studie proveditelnosti o možnosti získávání CRM z flotačních koncentrátů (Cu, Zn a dalších kritických kovů jako Ge a Ga). Původně byl projekt zaměřen jen na získávání Au. Takové rozšíření potencionálně zvýší ekonomickou hodnotu ložiska, což může pozitivně ovlivnit finální rozhodnutí schvalovacího procesu o udělení žádosti o dobývací prostor. Normálně se sulfidické flotační koncentráty prodávají dál do hutí, které z nich dále vyrábějí finální produkty. Přidanou hodnotou tohoto výzkumu je možnost získávání finálních produktů Cu, Zn v kovové formě a taky získání CRM

obsažených v těchto koncentrátech, které by v opačném přísadě zůstaly v louženci nebo výluhu nevyužité. Hlavním přínosem je co nejefektivnější využití potenciálu ložiska a výroba konečných produktů, které jsou produkovány přímo na území ČR.

Projekt má tedy velmi vysoký aplikační potenciál, protože řeší využití domácích zdrojů jako alternativy k dovozu kritických surovin z rizikových zahraničních lokalit apod. Výsledkem bude vyvinutí technologie pro:

- Výrobu Cu a Zn z tuzemských surovin, čímž se zčásti sníží závislost na importu těchto kovů do ČR.
- Separaci Ga a Ge jako kritických prvků pro polovodičový průmysl, jehož výroba je dnes koncentrována pouze v několika zemích.

3.2.5 Harmonogram řešení

Ganttův diagram řešení WP1.2 je uveden níže, stejně jako klíčové milníky.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP1.2													
T1.2	VA1.2/1												
	VA1.2/2												
	VA1.2/3												
	VA1.2/4												
	VA1.2/5												
	VA1.2/6												
	VA1.2/7												
Výstupy													

Milníky

- M1.2/1 – 09/2026 – dosažen postup přípravy základního rmutu pro flotaci.
- M1.2/2 – 12/2026 – optimalizace flotační úpravy je dokončena.
- M1.2/3 – 06/2027 – dosažen postup pro rafinaci výluhů odstraněním nečistot v laboratorním měřítku.
- M1.2/4 – 12/2027 – dosažen postup pro loužení flotačního koncentrátu a rafinace výluhů v laboratorním měřítku.
- M1.2/5 – 03/2028 – dosažen postup pro elektrolytické vylučování Zn a Cu v laboratorním měřítku.

- M1.2/6 – 06/2028 – poloprovozní ověření a optimalizace postupu chemického zpracování je ukončeno.
- M1.2/7 – 06/2028 – zajištěny základní podklady pro aktualizaci studie proveditelnosti úpravy a metalurgického zpracování suroviny.
- M1.2/8 – 06/2028 – dokončen návrh zakládkové směsi s využitím flotačních kalů
- M1.2/9 – 12/2028 – LCA vyvinuté technologie.
- M1.2/10 – 12/2028 – aktualizovaná studie proveditelnosti.

4 WP2 Technologie pro získávání kritických surovin z deponií těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností

Vedoucí WP: Hong Vu, VŠCHT Praha.

Další řešitelé včetně organizace: Michal Šyc, ÚCHP AV ČR; Karel Dvořák, VUT v Brně; Ing. Pavel Dalecký, TVAR COM; Vladimír Kočí, VŠCHT Praha; Jan Nečas a Jana Kodymová, VŠB TU; Petr Rambousek, ČGS; Vojtěch Zítka, Sedlecký Kaolín; Lenka Navrátilová, DIAMO.

4.1 Popis současného stavu znalostí

State-of-the art

V České republice představují významný, dosud nedostatečně využívaný potenciál deponie těžebních a průmyslových odpadů pro zajištění domácí potřeby po kritických a strategických surovinách. Využití těchto sekundárních zdrojů může snížit závislost na dovozu, podpořit cirkulární ekonomiku a přinést významné environmentální i socioekonomické přínosy. Proto je nezbytné vyvinout a ověřit efektivní a udržitelné technologie pro jejich získávání a následné využití.

Produkce odpadů provází obecně celou lidskou civilizaci při produkci či úpravě produktů každodenních potřeb. Specifickou činností je těžba nerostných surovin, základních stavebních kamenů lidské civilizace, která za sebou dočasně zanechává vydobyté prostory a různě velké objemy momentálně nezpracovatelných materiálů v podobě výsypek, hald a odkališť. Tento odložený materiál dosáhl s na rostající intenzitou těžby mnohde obrovských objemů, který je již i vážným rizikem pro životní prostředí. Proto po několika vážných haváriích odkališť a sesuvů hald přijala Evropská unie, po několika předchozích pokusech o regulaci Směrnicí Evropského parlamentu a Rady č. 2006/21/ES o nakládání s odpady z těžebního průmyslu a o změně směrnice 2004/35/ES. Tato směrnice definuje místo pro ukládání odpadu jako *úložné místo* a vymezuje povinnosti provozovatelů úložných míst, kompetence a dozor správních orgánů. Mimo jiné i stanovila sestavení národních registrů úložných míst se stanovením jejich rizikovosti. Tato Směrnice byla implementována do českého práva v r. 2009 v podobě zákona č. 157/ 2009 Sb. o nakládání s těžebním odpadem a o změně některých zákonů. Tato právní norma vymezila a upřesnila v navazujících vyhláškách povinnosti provozovatelů, dozor České báňské správy a dalších orgánů. V § 17 je stanoveno, že MŽP zjišťuje uzavřená a opuštěná úložná místa těžebních odpadů, představujících závažné riziko pro životní prostředí a lidské zdraví, vede jejich registr a zajišťuje jeho pravidelnou aktualizaci. Není-li již dohledatelný provozovatel, ani jeho nástupce, jedná se o opuštěné úložné místo. Vedením registru může pověřit jinou právnickou osobu. K tomu došlo v roce 2012, kdy byla tato činnost delegována na ČGS a stala se součástí její zřizovací listiny.

V rámci Operačního programu Životní prostředí (OPŽP) vypracovala v roce 2009 ČGS projekt *Zjištění uzavřených a opuštěných úložných míst těžebního odpadu představujících závažné riziko pro životní prostředí nebo lidské zdraví*, který byl řešen v letech 2010–2012, jehož výsledkem byla Metodika hodnocení úložných míst a databáze Inventarizace úložných míst těžebních odpadů ČR, která se stala součástí Informačního systému ČGS. Součástí projektu byl výběr 300 potenciálně nebezpečných lokalit z hlediska deponování haldoviny s možnými zvýšenými obsahy škodlivin. Na těchto objektech byly provedeny opakované odběry vzorků, které byly zanalyzovány a vyhodnoceny. Terénní práce zahrnovaly ovzorkování těchto lokalit, které byly vyhodnoceny podle sestavené metodiky. Součástí metodiky byl i výběr umístění vzorků tak, aby ke každému hodnocenému tělesu byly k dispozici údaje z okolí úložného místa, přímo z tělesa odvalu a z místa „pod“ odvalem, kde je možno očekávat ovlivnění hodnot přítomností těžebního odpadu. V terénu pak probíhalo vzorkování z vody, výluhů a z mělkých vrtaných sond. Z odebraných vzorků byly na základě analytických údajů určeny hlavní škodliviny a porovnány s hodnotami přirozeného pozadí. Všechny tyto informace jsou dostupné přes mapovou aplikaci na portálu ČGS (https://mapy.geology.cz/inventarizace_uloznych_mist/). Nástroje aplikace umožňují prostorové výběry, exporty do textového formátu .csv (umožňuje načtení výstupu do Excelu), výřezy mapy je možno exportovat přes formáty .jpg či .pdf do tisku.

Je nutno zdůraznit, že údaje databáze a vyhodnocování míst jsou především z pohledu environmentálních rizik, byl vyčleněn odvozený Registr rizikových úložných míst, který je upřesňován a pravidelně aktualizován (v současnosti je vyčleněno 25 rizikových objektů). Databáze úložných míst obsahuje v současnosti 7 135 objektů.

V rámci základních údajů jsou sledovány údaje topografické, popisné a relační, přičemž jsou využívány číselníky (kódovníky), volná řeč i číselné údaje. Patří sem např. určení typu, druhu, objemu a stáří úložného místa, převažující surovina, zrnitost (frakce), provedení rekultivace, vliv na různé aspekty životního prostředí a vazba na signatury zdrojových zpráv z archivu ČGS – Geofondů. V rámci rozšířených údajů jsou informace o odběrných vzorcích, škodlivinách a vyhodnocení objektu.

Doprovodné suroviny, včetně kritických surovin, jsou uváděny jen sporadicky, řada mineralogických a geochemických údajů nebyla uváděna a musí být odvozována z informací o těžbě primárního zdroje. Vzhledem k technologickému pokroku a měnícímu se pohledu na nerostnou surovinou se otvírá otázka využití těchto akumulací.

Proces recyklace těchto materiálů má však svá legislativní pravidla, a proto se může hovořit o této kategorii využitelných akumulací těžebního odpadu jako o sekundárních antropogenních ložiscích. Této problematice byly věnovány v minulosti dílčí projekty ČGS jak z hlediska metodiky odběrů vzorků z odkališť a postupu jejich vyhodnocení, tak i z hlediska legislativního.

Česká republika má mezi zeměmi Evropské unie relativně dobré a unikátní zkušenosti s průzkumem odkališť a jejich převedením na plnohodnotné výhradní ložisko s chráněným ložiskovým územím a dobývacím prostorem. Příkladem jsou odkaliště se zdroji Li v Horním

Slavkově a na Cínovci, přetěžba odkaliště po úpravě fluoritu Přítkov a příprava k těžbě jediného zdroje manganu v zemích EU ve Chvaleticích.

V Evropě i ve světě existují tisíce starých i současných deponií těžebních odpadů, které představují významný sekundární zdroj nerostných surovin, včetně kritických surovin, jako jsou Li, Co, REE, Ga, Ge, Sb nebo W. Tyto deponie, vzniklé zejména v průběhu 19. a 20. století, často obsahují značné množství kovů, jejichž tehdejší technologie nedokázaly efektivně využít nebo které tehdy neměly ekonomickou hodnotu. V rámci EU je problematika deponií řešena zejména iniciativami jako jsou:

- The Raw Materials Initiative (EC) a CRM Action Plan, které zdůrazňují potřebu recyklace a využití sekundárních zdrojů.
- Projekty jako ProMine, SmartGround, RE-SOURCING, RAWMINA, NEMO, ProSUM, SREEN či Terramin se zabývají identifikací, mapováním a technologickým zhodnocením starých odvalů a odkališť (tailings) v zemích jako Švédsko, Finsko, Portugalsko, Řecko, Španělsko, Slovensko nebo Polsko.
- Např. projekt NEMO (Horizon 2020) demonstroval technologické řešení pro těžbu kovů z tailings s důrazem na minimalizaci environmentálních dopadů (zero-waste).
- Podle některých odhadů (JRC, 2022) se v EU nachází přes 10 000 lokalit s potenciálem ekonomického zpracování.

Deponie těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností představují velmi heterogenní materiálový zdroj. Liší se nejen typem a původem uloženého odpadu (např. z rud obsahujících železo, měď, zinek, vzácné zeminy nebo lithium), ale také způsobem původního zpracování suroviny, technologií ukládání, geologickými a klimatickými podmínkami, stářím a mírou zvětrání. Mnohé starší deponie nebyly v minulosti monitorovány ani dokumentovány, což dále zvyšuje jejich komplexitu. Z tohoto důvodu vyžaduje každá deponie individuální přístup z hlediska charakterizace, výběru vhodných technologií zpracování, posouzení ekonomické návratnosti i environmentálních dopadů. Tato variabilita zároveň otevírá prostor pro vývoj flexibilních, modulárních a adaptabilních technologických řešení. Nejčastějšími technologiemi jsou hydrometalurgické a pyrometalurgické procesy, případně jejich kombinace. Nové metody zahrnují bioloužení, nanosfiltrace, iontovou výměnu, kapalinovou extrakci, využití selektivních sorbentů nebo přesné mineralogické charakterizace (např. QEMSCAN). Důraz je kladen na minimalizaci environmentálních dopadů, bezodpadové využití a zhodnocení celého materiálového toku.

Vlastní zkušenosti v konsorciu a motivace

V rámci projektu Technologické agentury ČR, projektu Beta č. TB020CBU001 „Výzkum technologických možností získávání vzácných kovů v ČR s ohledem na minimalizaci dopadů na životní prostředí a jejich legislativní zajištění“ – Vzácné kovy byla v konsorciu ČGS, DIAMO – o.z. GEAM a TU-VŠB Ostrava řešena v letech 2015-2016 problematika získávání vzácných kovů (W, Li, Nb, Ta, Rb, Mn, Ag, Au) na odkalištích Zlaté Hory a Dolní Rožínka. Vzorky byly odebrány vrtnými soupravami, jednotně mineralogicky vyhodnoceny a dle specifik analyzovány v laboratořích ČGS, DIAMO a TU VŠB včetně pokusů s úpravou

suroviny. Součástí projektu bylo i vyhodnocení environmentálních dopadů přetěžby odkaliště ve Zlatých Horách, jeho ekonomická rentabilita a komplexní využití zbylých produktů po přetěžbě. Řešeno bylo i zjednodušení administrativního přístupu k přetěžbě akumulací s odpady z těžby realizovanou úpravou Vyhl. ČBÚ č. 429/2009 Sb.

V rámci evropského projektu č. 641999 v programu Horizon 2020 PROSUM (Prospecting Secondary raw materials in the Urban mine and Mining wastes) v 16členném konsorciu vedeném mezinárodním společenstvím WEEE Forum, ČGS byla členem konsorcia v části zaměřené na odpady z těžby. Hlavními cíli projektu bylo vybudování společné datové platformy pro komunální odpady především s obsahem kritických surovin – CRM (včetně elektroodpadu – WEEE, odpadu z autovraků – ELVs, použitých baterií) a odpadů po těžbě a zpracování nerostných surovin. Přínosem pro odpady z těžby bylo doplnění komunikační platformy v rámci směrnice pro prostorová data INSPIRE, byla sjednocena mezinárodní terminologie a společná data byla umístěna pod správu jednotné surovinové informační báze MKDP a UMP pro komunální odpady. Pro odpady z těžby a úpravy nerostných surovin bylo závěrem konstatována výrazná odlišnost nakládáním oproti klasickým komunálním a průmyslovým odpadům. Statistiky existují pouze v rámci aktivních těžeb a zpracování, evidence vyplývá ze Směrnice o odpadech z těžby a její transformace do národních legislativ, které se mohou lišit ve formách naplňování. Všeobecně byla konstatována malá znalost o materiálním složení odpadů z těžby, především ve vztahu k hledaným zdrojům CRM.

Motivací pro realizaci pracovního balíku WP2 je proto vyvinout technologie, které umožní efektivní a udržitelné získávání kritických surovin z deponií těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností a jejich navrácení do hodnotového řetězce, čímž se současně zvýší i konkurenceschopnost a inovační kapacita regionu i celé ČR.

Na základě veřejně dostupných databází, provozních dat a údajů poskytnutých partnery konsorcia byly předběžně vytipovány lokality představující potenciální místa pro další zkoumání z hlediska obsahu kritických surovin. Zároveň se předpokládá možnost výběru dalších lokalit na základě výstupů získaných v průběhu řešení projektu. Jejich stručné popisy jsou uvedeny níže:

ODKALIŠTĚ NEJDEK

Odkaliště sloužilo pro potřeby chemické úpravny Nejdek (1952–1964), ve které se zpracovávaly uranové rudy ze všech těžebních oblastí té doby s významným podílem trutnovského uranonosného uhlí. Podle údajů z 20 letky vzniklo při úpravě rudniny na úpravně Nejdek 1 533 538,1 t kalů odpadů s obsahem 0,031 % U, tj. 471,8 t U kovu. Tyto kaly jsou uloženy v odkališti a představují cca 852 tis. m³. Vzhledem k tomu, že na úpravně byla upravována ruda ze všech těžebních oblastí, dá se předpokládat, že v materiálu odkaliště mohou být zvýšené koncentrace prvků jako Pb, Zn, Cu, Ag, Bi a další stopové prvky dle typu upravované rudy.

ODKALIŠTĚ KUTNÁ HORA

Celková plocha odkaliště činí cca 23 ha a je v něm uloženo 3 000 kt úpravářenských odpadů z úpravy rud nejen z místního ložiska, ale také Starého Ranska, Křižanovic, Dlouhé Vsi a starých příbramských odvalů. Těžená ruda kutnohorského revíru se vyznačovala převažujícím obsahem tmavého sfaleritu, izomorfním zastoupením india a kadmia a dále obsahovala galenit a vysoký obsah pyritu, pyrrhotinu a arzenopyritu. V letech 1958–1991 byly v kutnohorské úpravně vyráběny selektivní Zn, Pb a Cu koncentráty. Při jejich výrobě byla použita flotační technologie. V průběhu provozu bylo na úpravně zpracováno celkem 3,7 milionu tun rudnin, z toho bylo cca 62 % kutnohorské rudniny, zbytek byla rudnina dovezená z dalších ložisek. Vzhledem ke zpracovávanému materiálu lze v odkališti očekávat zvýšené obsahy Zn, Pb, Ag, Cu, Fe, S, As, Cd.

ODVAL ALEXANDR

Na odval jámy Alexandr byla ukládána hlušina z ložiska Vrančice od konce čtyřicátých let minulého století, s přestávkami do roku 1991, kdy byla na ložisku ukončena těžba. Polymetalické ložisko Vrančice se nachází v horninách středočeského plutonu, poblíž jeho kontaktu s příbramským proterozoikem. Nejvíce je na ložisku rozšířen amfibolicko-biotitický granodiorit blatenského typu, který s přibývajícím hloubkou ubývá a převažuje jemně až středně zrnitý křemitý diorit. Z genetického hlediska se ložisko řadí k hydrotermálně žilnému typu se značnou šíří teplotního intervalu, kdy se v průběhu čtyř vývojových stádií vysrážela škála minerálů od výseteplotního arzenopyritu až po závěrečnou karbonát-smolincovou mineralizaci. Hlavní složku polymetalické mineralizace tvoří sulfidy zinku a olova (sfalerit a galenit), na něž jsou vázány obsahy stříbra (Ag) a vzácně se vyskytují i ušlechtilé rudy Ag. Z minerálů mědi jsou zastoupeny bornit, chalkozin a chalkopyrit. Další složku mineralizace představují sulfoantimonitany obsahující Cu, Pb a Ag jako např. bournonit, tetraedit. Vyskytuje se také křemičitan zinku willemitt a v neposlední řadě též uranová mineralizace zastoupená především smolincem.

Za dobu těžby bylo na odval jámy Alexandr uloženo cca 70 000 m³ horniny. V současném stavu (měření v roce 2020) představuje odval Alexandr objem 38 019 m³ (cca 63 000 t) horniny na ploše 13 991 m². Průměrná výška odvalu je 2,7 m. V rámci projektu DYNOSORT (2022–2023), který byl zaměřen na vývoj technologického přístupu, který umožní výběr optimálních senzorů pro třídění nerostných surovin, byl z odvalu Alexandr odebrán technologický vzorek frakce 0/8 o hmotnosti 50 kg a dále 100 kg vzorek vytríděných polymetalických rud ve frakcích 16/32 a 32/63. Z analýz těchto vzorků můžeme říct, že frakce 0/8 obsahuje 0,2 % Zn, 0,08 % Pb, 0,01 % Cu, 3,73 % Fe a 0,0018 % Ag. Tzv. před-koncentrát, tedy 100 kg vzorek vytríděných polymetalických rud ve frakcích 16/32 a 32/63, obsahuje 17,82 % Si, 7,38 % Zn, 1,45 % Pb, 0,49 % Cu, 7,84 % Fe a 0,032 % Ag.

ODKALIŠTĚ K I na DOLNÍ ROŽÍNCE

V odkališti K I je uložen materiál po těžbě uranové rudy z ložisek Rožná a Olší. Těžba zde probíhala v letech 1957–2017. Odkaliště zaujímá plochu 65 ha a je zde uloženo 14,6 mil. tun rudy, která zaujímá objem 10,9 mil. m³. Základem těžené rudy byla abfiboliticko-biotitická rula. Dále pak živec, křemen, biotit, jílové materiály, grafit, karbonáty, uranové minerály, uranové černě a silikáty uranu. Podle výsledků získaných analýzou uloženého

materiálu můžeme říci, že odkaliště K I obsahuje kolem 0,0022 % Y; do 0,0019 % Ga; 0,0071 % Cu; 0,0075 % Pb; 0,038 % Zn a 0,1 % Mn.

ODVAL MILEŠOV

Milešovský rudní revír, intenzivněji těžený od 2. poloviny 19. století, je situován v severním okolí obce Milešov v okrese Příbram ve Středočeském kraji. Pro testování byl vybrán odval jámy Emanuel o objemu cca 16 500 m³, ploše 3 000 m² a maximální výšce odvalu 20 m. Odval nebyl rekultivován, je mimo obytnou zástavbu a není v konfliktu s prvky ochrany přírody. Je tvořen směsí granitických hornin s křemen-karbonátovou žilovinou s antimonitem a sulfidy. Odhadované obsahy jsou 6 g/t Au, 1 % Sb a 1 % As. Vzhledem k acidifikaci povrchu a migraci As byl odval klasifikován jako rizikové úložiště a jeho přetěžba, spojená se sanací by měla i významný přínos pro zlepšení životního prostředí. Zrudnění tvořil hlavně antimonit, vázaný na křemen-karbonátovou žilovinu. V menší míře jsou zde zastoupeny i sulfidy železa (Fe) a arzenu (As), ryzí antimon a dále se vyskytuje i zlato v podobě volné nebo vázané na výše uvedené sulfidy. Odval byl orientačně zkoumán na užité složky v letech 1957–1958, v 80. letech 20. století a naposledy v letech 2011–2012 z hlediska rizikovosti úložného místa.

ODKALIŠTĚ BOŽIČANY

Na daném odkališti se ukládá magnetický podíl s vysokým obsahem Ti a Fe, který vzniká z kalinové suspenze pomocí vysokogradientní magnetické separace. Ze separátoru je materiál vyplachován vodou do lamelových usazovacích nádrží, kde dojde k jeho zahuštění. Zahuštěný odpadní kal je poté čerpán na odkaliště blízko úpravny v Božičanech. Tento postup magnetické separace byl na úpravně kaolinu zaveden v roce 1993. V současnosti tedy materiál představuje environmentální i prostorovou zátěž. Odhaduje se, že v úložišti se nachází řádově desítky tisíc tun magnetického podílu. Vzhledem k pořízení dalších magnetických separátorů nyní ročně společnosti Sedlecký kaolin přibývá přibližně 12 000 t/ročně, což činí z odkaliště významný dlouhodobý zdroj potenciálně využitelných surovin. Dosavadní výsledky ukazují na vysoký obsah Fe₂O₃ a TiO₂. V zásadě se však stále jedná o alumino-silikátovou směs. Mineralogicky je materiál tvořen především hematitem, goethitem, ilmenitem a anatasem, pyritem, sideritem s menším podílem křemičitých fází. Podle předběžných analýz se v této surovině vyskytují také řada prvků CRM jako Nb, Ta a Sc.

Seznam použité literatury:

- Carrara, S. et al. (2023). Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study. Publications Office of the European Union [Preprint]. https://single-market-economy.ec.europa.eu/document/download/a5a7b598-6542-42c3-9b32-ba98b6a959f8_en?filename=Raw%20Materials%20Foresight%20Study%202023.pdf
- Critical Raw Materials Act (2023). https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/critical-raw-materials-act_en
- European Commission – CRM List 2023.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0160>

European Commission: Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (2021). 3rd Raw Materials Scoreboard – European innovation partnership on raw materials, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/567799>

European Commission – Raw Materials Initiative. https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en

Hiusman, J. et al. (2017). Prospecting Secondary Raw Materials in the Urban Mine and mining wastes (ProSUM) - Final Report, ISBN: 978-92-808-9060-0 (print), 978-92-808-9061-7 (electronic), December 21, Brussels, Belgium. https://research.chalmers.se/publication/500446/file/500446_Fulltext.pdf

Joint Research Centre (JRC), 2022 – Raw Materials Information System (RMIS). <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>

Kolektiv autorů (2009). Příručka pro nakládání s těžebním odpadem. Těžební unie. Brno. 65 str.

NEMO Project – Horizon 2020. <https://h2020-nemo.eu/>

ProMine Project – Database of mining waste deposits in Europe.

https://www.researchgate.net/publication/281031085_ProMine_Mineral_Databases_New_Tools_to_Assess_Primary_and_Secondary_Mineral_Resources_in_Europe/link/55d1c11108ae3dc86a4f2dd1/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbilsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVsbH19

Rambousek, P.; Mališ, J.; Toman, F.; Poňavič, M.; Starý, J.; Godány, J.; Bohdál, P.; Dvořáček, J.; Botula, J.; Slivka, V.; Pelikán, A.; Bohmová, L. (2016). Výzkum technologických možností získávání vzácných kovů v ČR s ohledem na minimalizaci dopadů na životní prostředí a jejich legislativní zajištění – Vzácné kovy. Arch. ČGS. Praha

Re-Source Platform – Responsible Sourcing. <https://re-sourcing.eu/>

Řepka, V.; Rambousek, P.; Řepková, M. and Botula, J. (2008) The Sludge Beds of the Plant RD Horní Benesov 15 Years after the Finishing of Modern Ore Mining. In: *XXI International Serbian Symposium on Mineral Processing*. p. 158-163.

Řepka, V.; Rambousek, P. (2009). Odkaliště závodu RD Horní Benesov, 17 let po ukončení novodobé těžby rud. In: *Hornická činnost a její následky v hornobenešovském a hornoměstském revíru*. Bruntál 29.-30. 9. 2009

Serra, M.; Lucarini, M.; Andrisani, M. A. (2020). Management of mining waste – phase 1. Report adopted at IMPEL. Roma. Italy. www.impel.eu/contents/libraryfile/2019_12-FR-Mgt-Mining-Waste-phase-1.pdf

SMART GROUND Project – Horizon 2020. <https://english.mik.ptte.hu/smart-ground--h2020-project>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2006/21/ES ze dne 15. března 2006 o nakládání s odpady z těžebního průmyslu a o změně směrnice 2004/35/ES. <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoeu/dokument?celex=32006L0021>

Štrupl, V.; Peka, K.; Šanc, I. (2013). Zajištění uzavřených a opuštěných úložných míst těžebního odpadu představujících závažné riziko pro životní prostředí nebo lidské zdraví. Závěrečná zpráva projektu OPŽP č. 1515508. Prioritní osa 6 - Zlepšení stavu přírody a krajiny (ERDF), výzva č. 14. Archiv ČGS. Praha

Terramin EU Project (Raw Materials). <https://terramine.eu/index.php/en/>

Vyhláška č. 428/2009 Sb., o provedení některých ustanovení zákona o nakládání s těžebním odpadem. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-428>

Vyhláška č. 429/2009 Sb., o stanovení náležitostí plánu pro nakládání s těžebním odpadem včetně hodnocení jeho vlastností a některých dalších podrobností k provedení zákona o nakládání s těžebním odpadem. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-429>

Zákon č. 157/2009 Sb., o nakládání s těžebním odpadem a o změně některých zákonů. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-157?text=157%2F2009>

4.2 Metody a postup řešení

Deponie těžebních odpadů představují heterogenní materiálový zdroj s proměnlivým složením, původem a stupněm zvětrání, a proto jejich efektivní využití vyžaduje individuální přístup – od charakterizace přes návrh zpracovatelských technologií až po posouzení ekonomických a environmentálních dopadů.

Řešení projektu zahrnuje tyto provázané kroky:

1. Mapování kritických surovin v historických deponiích a výběr lokalit s ekonomickým potenciálem.
2. Odběr a charakterizace vzorků z vybraných lokalit se zaměřením na obsah CRM a technologické vlastnosti.
3. Vývoj a ověření technologií zpracování odpadů, včetně návrhu technologických linek s materiálovými bilancemi, využití zbytkových materiálů ve stavebnictví a posouzení environmentálních dopadů metodou LCA.
4. Hodnocení environmentálních a socioekonomických aspektů se zaměřením na přínosy pro krajinu, regionální ekonomiku a zaměstnanost.

Hlavním výzkumným záměrem první fáze projektu (2026–2029) je identifikace vhodných lokalit s obsahem kritických surovin a stanovení základního technologického schématu pro jejich zpracování. To bude založeno na podrobném studiu fyzikálně-chemických vlastností odebraných vzorků a specifik vybraných deponií.

T2.1 Mapování kritických surovin ve starých deponiích a výběr potenciálních lokalit (ČGS, DIAMO, SEDLECKÝ KAOLIN, VŠCHT, UCHP) 01/2026-03/2028.

Vytvořit přehled o kritických surovinách ve starých deponiích těžebních a průmyslových odpadů odpadech z průmyslových činností v ČR. Vybrat lokality s potenciálem pro ekonomické získávání kritických surovin.

- Revize existujících databází starých deponií s ohledem na kritické suroviny.
- Tvorba nových účelových databází zaměřených na přítomnost kritických surovin s novými provozními daty vzhledem k obsahu užitečných složek.
- Vyhodnocení dat a výběr dalších potenciálních lokalit pro odběr vzorků.

T2.2: Odběru vzorků z vybraných lokalit a jejich následná charakterizace se zaměřením na obsah kritických surovin (ČGS, DIAMO, SEDLECKÝ KAOLIN, VŠCHT, UCHP) 03/2026-03/2027.

Identifikovat lokality s potenciálem pro ekonomicky efektivní získávání kritických surovin.

- Odběr vzorků z vytipovaných lokalit – terénní průzkum, odběr reprezentativních vzorků včetně dokumentace, vývoj metodiky optimálního vzorkování pro odhad druhotných akumulací kritických surovin
- Provádění chemických, mineralogických a petrografických analýz se zaměřením na výskyt a koncentraci kritických surovin za pomoci inovačních metod (TIMA, TORNADO atd.)
- Laboratorní aplikace pre-procesingových metod pro modelové stanovení strategie úpravy (liberalizační analýza, speciální chemické fyzikální charakteristiky)
- Vyhodnocení dat a interpretace výsledků (Syntéza analytických dat, posouzení ekonomické perspektivy jednotlivých lokalit na základě obsahu cílových kritických surovin a ekonomicky využitelných doprovodných surovin).

T2.3: Technologie zpracování těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností (ČGS, DIAMO, SEDLECKÝ KAOLIN, VŠCHT, UCHP, TVAR COM, VUT) 01/2027-12/2028.

Vyvinout a ověřit technologie pro efektivní a ekonomické získávání kritických surovin se zohledněním geochemických specifik lokalit, včetně návrhu technologických linek s materiálovými bilancemi a návrhem využití zbytkových materiálů pro stavební účely, a provést pro tyto technologie posouzení životního cyklu LCA.

1. Mechanicko-fyzikální a mechano-chemické procesy (TVARCOM, UCHP)
 - Úprava vzorků (sušení, rozdružení).
 - Pokročilé metody separace (magnetická separace, separace vířivými proudy, elektrostatická separace, flotace).
 - Mechanochemická aktivace pro zvýšení výtěžnosti (doba mletí, rychlost otáčení, poměr mletých těles/suroviny, typy mlýnů).
2. Pyro-, hydro- a elektrometalurgické procesy.
 - Termické procesy předúpravy a rafinace kovových složek (tepelný rozklad, pražení s vybranými činidly).

- Loužení vybraných složek (kyselé a zásadité loužící činidla, teplota a doba loužení, K/P poměr, koncentrace).
 - Rafinace loužících roztoků (precipitační metoda, kapalinová extrakce, iontová výměna).
 - Optimalizace reagentů a postupů s důrazem na environmentální šetrnost.
 - Elektrochemické postupy pro získání čistých kovů (složení elektrolytů, teplota, proudová hustota, doba elektrolýzy, výběr elektrod).
 - Ověření kombinace pyrometalurgických a hydrometalurgických procesů za účelem zvýšení efektivity procesu.
3. Testování zbytkových materiálů pro stavební využití
- Odběr a charakterizace reprezentativních vzorků zbytkových materiálů vzniklých po úpravnickém a metalurgickém zpracování.
 - Vyhodnocení vzorků z hlediska vhodnosti pro stavební aplikace a posouzení možných environmentálních rizik.
 - Testování zbytků jako alternativních surovin pro výrobu stavebních materiálů.
 - Vyhodnocení technické proveditelnosti a ekonomického potenciálu využití a technická součinnost pro návrh optimální technologie separace z pohledu maximálního možného zachování potřebných vlastností by-produktů.
4. Návrh pilotní linky
- Návrh průmyslové varianty technologie zpracování (komplexní technologické schéma včetně návrhu strojního vybavení, materiálových a energetických bilancí).
5. LCA vyvinuté technologie
- Tvorba základního LCA modelu ve specializovaném LCA software.
 - Sběr provozních materiálových a energetických dat vyvíjené technologie. Určení proxy dat.
 - Inventarizační analýza životního cyklu technologie, hodnocení environmentálních dopadů. Volba vhodných charakterizačních metodik.
 - Provedení kontribuční analýzy a analýzy citlivosti výsledků vůči významným předpokladům.
 - Hodnocení alternativních scénářů a porovnání s teoretickými daty těžby primárních surovin.

T2.4: Environmentální a socioekonomické dopady (ČGS, DIAMO, SEDLECKÝ KAOLIN, VŠCHT, TVAR COM, VUT, VŠB) 06/2027-12/2028

Cílem je posoudit environmentální a socioekonomické dopady zpracování těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností za účelem získávání kritických kovů, se zaměřením na dopady na krajinu a přínosy pro místní ekonomiku a zaměstnanost.

- Zhodnocení potenciálu pro snížení negativních vedlejších dopadů na životní prostředí prostřednictvím využití odpadů.
- Analýza potenciálu pro vytváření pracovních míst v regionech s vybranými deponiemi.
- Identifikace potenciálních bariér (např. legislativních, institucionálních, veřejného mínění).

Nástin činnosti pro roky 2029–2032

Výzkumné činnosti pro období 2029–2032 budou zahrnovat dokončení metalurgických testů a ověření základního technologického schématu pro efektivní získávání kritických surovin ze vzorků z vybraných lokalit. Následně se výzkum zaměří na optimalizaci jednotlivých technologických kroků s cílem maximalizovat výtěžnost kritických prvků a minimalizovat vznik odpadů. Další výzkumná aktivita bude zaměřena na možnosti využití zbytkových materiálů po extrakci kritických surovin ve stavebnictví. Nedílnou součástí bude komplexní hodnocení environmentálních a socioekonomických dopadů navržené technologie zpracování, s důrazem na udržitelnost a regionální přínosy. V rámci projektu bude rovněž navržena pilotní technologická linka, a paralelně proběhne rozšíření databáze sekundárních zdrojů kritických surovin ve starých těžebních a průmyslových deponiích. Na základě zkušeností získaných při vzorkování vybraných deponií a na základě ověřených odhadů obsahu užitkových složek bude vypracována metodika pro standardizaci vzorkování a odhadu obsahů užitkových složek v deponiích.

4.3 Výsledky a jejich uplatnění

V rámci WP2 bude vytvořen a ověřen soubor nástrojů pro mapování, vyhodnocování a technologické ověření možností získávání kritických surovin (CRM) ze starých deponií těžebních a průmyslových odpadů na území ČR. Součástí bude jak prostorově orientovaná databáze, tak účelová mapa nejperspektivnějších lokalit s navrženým způsobem využití a zhodnocení dostupných materiálů. Dále bude zpracována výzkumná zpráva shrnující výsledky testování úpravnických a metalurgických postupů pro získávání CRM z vybraných lokalit.

Cílem WP2 je vytvořit základy pro systematické hodnocení surovinového potenciálu historických deponií a navrhnout metody jejich efektivního využití s ohledem na technické, ekonomické i environmentální podmínky. Výsledky WP2 umožní přípravu podkladů pro zařazení vybraných lokalit mezi strategická ložiska, a to jak na národní (MPO, MŽP), tak evropské úrovni (v souladu s CRMA a UNFC/JORC). Významnou součástí je i možnost využití vedlejších produktů po zpracování – např. jako náhrady surovin ve stavebnictví. Výstupy budou využity pro rozhodování veřejné správy, další výzkumné aktivity a potenciálně i pro aplikaci ve firemní sféře.

Hlavní výsledky vzniklé v rámci WP2 budou:

WP2.1 – Databáze sekundárních zdrojů kritických surovin ve starých deponiích (03/2028).

Typ výsledku: Specializovaná veřejná databáze (S).

Jedná se o prostorově orientovanou veřejně dostupnou databázi lokalit s výskytem kritických a strategických surovin v deponiích těžebních a úpravárenských odpadů. Bude obsahovat nejen základní identifikační údaje, ale i posouzení aktuálního stavu lokalit (např. geostabilita, krajinářské začlenění, přístupnost, potenciální využitelnost). Databáze bude průběžně aktualizována v rámci výkonu státní geologické služby (ČGS). Výstup bude sloužit jako podklad pro státní správu (MPO, MŽP), výzkumné organizace, firmy a další uživatelé.

WP2.2 – Mapa vybraných lokalit sekundárních zdrojů s potenciálem pro získávání CRM na území ČR (09/2028).

Typ výsledku: Specializovaná mapa s odborným obsahem (Nmap)

Účelová mapa v měřítku 1:500 000 bude kombinovat prostorové zobrazení vybraných lokalit s obsahem CRM a jejich významností. Bude doplněna o ložiskově-geologické parametry a textovou část s vysvětlivkami. Sloužit bude především státní správě, odborné veřejnosti a školám pro strategické plánování, výuku a demonstraci potenciálu využití deponií.

WP2.3 – Souhrn výsledků experimentálního ověřování technologií pro zpracování těžebních odpadů a odpadů z průmyslových činností (12/2028).

Typ výsledku: O – ostatní výsledek (výzkumná zpráva)

Zpráva bude shrnovat laboratorní a poloprovozní výsledky testování technologií (úpravnické, metalurgické) pro získávání CRM z vybraných lokalit. Bude obsahovat předběžné vyhodnocení obsahu CRM, dosažené výtěžnosti při různých postupech a přehled navržených technologických schémát. Slouží jako podklad pro další navazující výzkum a optimalizaci.

4.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě

Pracovní balík WP2 má vysoký aplikační potenciál v oblasti využití domácích sekundárních zdrojů kritických surovin uložených v deponiích těžebních a průmyslových odpadů. Využití těchto materiálů, jejichž objemy dosahují řádově milionů tun, může významně přispět k posílení surovinové soběstačnosti ČR, snížení závislosti na dovozech z rizikových oblastí a zároveň k ekologickému zhodnocení dlouhodobě zatěžujících lokalit. Výstupy WP2 vytvoří podklad pro výpočet zásob CRM, zpracování návrhů na zařazení lokalit mezi strategická ložiska a jejich transformaci do mezinárodních klasifikačních standardů (JORC/UNFC) v souladu s nařízením (EU) 2024/1252.

Konkrétní aplikační přínosy WP2 zahrnují zejména:

- podklady pro žádost o zařazení vybraných lokalit mezi strategická ložiska ČR,
- transformaci údajů o lokalitách do formátu JORC/UNFC pro využití na evropské úrovni,
- návrh technologie pro získávání Zn, Cu, Pb, Sb, REE, U a dalších CRM z těžebních a průmyslových odpadů,

- separaci titanu, galia a dalších prvků s vysokou přidanou hodnotou,
- ověření možností využití zbytkových materiálů ze zpracování odpadů pro výrobu stavebních hmot,
- praktické využití databáze a mapových podkladů veřejnou správou (např. MPO, MŽP, ČGS) pro plánování, správu území a surovinovou politiku.

WP2 tak přispívá k naplňování cílů surovinové strategie ČR, Zelené dohody pro Evropu i evropské legislativy o kritických surovinách a má potenciál stát se základem pro další navazující implementační projekty.

4.5 Harmonogram řešení

Ganttův diagram řešení WP2 je uveden níže, stejně jako klíčové milníky.

Úkol / výzkumná aktivita	2026				2027				2028			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP2												
T2.1												
T2.2												
T2.3												
T2.4												
Výstupy												

Milníky

- M2/1 – 06/2026 – odběr reprezentativních vzorků z vybraných lokalit je dokončen.
- M2/2 – 06/2027 – charakterizace odebraných vzorků je dokončena.
- M2/3 – 12/2027 – úprava vzorků úpravnickými postupy je dokončena.
- M2/4 – 03/2028 – databáze sekundárních zdrojů kritických surovin ve starých deponích.
- M2/5 – 09/2028 – mapa vybraných lokalit sekundárních zdrojů s potenciálem pro získávání kritických surovin na území ČR.
- M2/6 – 12/2028 – základní schéma technologického postupu pro extrakci kritických surovin je stanoveno.
- M2/7 – 12/2028 – základní rozsah ověření použitelnosti zbytků po extrakci CRM ve stavebních materiálech je dokončen.

5 WP3 Sekundární průmyslové produkty jako surovinový zdroj

Vedoucí WP: Jozef Vlček, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.

Další řešitelé včetně organizace: Vlastimil Matějka, Kateřina Skotnicová a Jan Nečas, VŠB-TUO; Hong Vu, Vladimír Kočí, VŠCHT Praha; Pavel Sokol, Asociace stavebních a alternativních materiálů; Karel Dvořák, VUT v Brně; Karel Mach, Severočeské doly; Pavol Midula a Michal Šyc, ÚCHP AV ČR; Jiří Valta, CENIA.

Cíle řešení

Cílem pracovního balíku je komplexně prověřit potenciál velkoobjemových průmyslových odpadů (produkty z energetiky, metalurgie a tvrdokovů) jako sekundárních zdrojů kritických surovin (CRM). Projekt se zaměřuje na systematickou identifikaci a charakterizaci vybraných proudů, vývoj a optimalizaci metod jejich zpracování (pyrometalurgických, hydrometalurgických, fyzikálních i kombinovaných), a následné posouzení účinnosti a spolehlivosti navržených procesů.

Důležitou součástí je hodnocení aplikačního potenciálu těchto řešení, a to z technologického, ekonomického i environmentálního hlediska, s ohledem na cíle evropské legislativy (Critical Raw Materials Act, Green Deal) a státní surovinové politiky. Výsledky projektu přispějí k posílení surovinové bezpečnosti ČR a EU, rozvoji cirkulární ekonomiky a vytvoření podkladů využitelných pro státní správu při rozhodování o nakládání s průmyslovými odpady a kritickými surovinami.

Konkrétně projekt sleduje tyto cíle:

- Identifikovat a charakterizovat vybrané průmyslové odpady z energetiky, metalurgie a tvrdokovů, se zaměřením na obsah a formu výskytu kritických surovin (CRM).
- Vyvinout a optimalizovat separační procesy (pyrometalurgické, hydrometalurgické, fyzikální a kombinované) vhodné pro efektivní získávání CRM z jednotlivých odpadních proudů.
- Zpracovat a vyhodnotit zbytkové frakce vznikající po separaci CRM s cílem minimalizovat environmentální zátěž a navrhnout jejich další využití.
- Posoudit aplikační potenciál navržených metod prostřednictvím hodnocení technologických, ekonomických a environmentálních ukazatelů.
- Připravit funkční vzorky, užité vzory a ověřené technologie, které popíší a demonstrovají praktické možnosti separace CRM z velkoobjemových průmyslových odpadů.
- Vytvořit podklady pro státní správu ve formě přehledu dostupnosti CRM v odpadech a možností jejich využití, v návaznosti na evropskou a národní legislativu v oblasti surovinové bezpečnosti a cirkulární ekonomiky.
- Navázat komunikaci s průmyslovými uživateli výsledků s cílem přiblížit vyvíjené technologie jejich reálné aplikaci v podmínkách českého a evropského průmyslu.

5.1 WP3.1 Produkty z energetiky jako surovinový zdroj

Vedoucí WP: Pavol Midula, ÚCHP.

Další řešitelé včetně organizace: Pavel Sokol, ASAM; Jan Nečas, VŠB-TUO; Hong Vu, Vladimír Kočí, VŠCHT Praha; Karel Mach, Severočeské doly; Jiří Valta, CENIA.

Cíle řešení

Cílem pracovního balíčku je navrhnout a experimentálně ověřit postupy zakoncentrování cenných složek v popílcích ze spalování uhlí, a to zejména Ti a REE. Činnost bude navazovat na dříve řešený projekt TITSMPO816 a zaměřovat se bude zejména na

- Výzkum postupů předúpravy (liberace) zrn TiO_2 pro flotační zpracování.
- Návrh a testování vhodných kolektorů (oleáty, hydroxamáty), pěnidel a depresorů pro flotaci TiO_2 .
- Návrh a ověření postupů separace dle hustoty, magnetické separace atd. pro koncentrování kovů vzácných zemin.
- Ověření hydro-/pyro – metalurgických postupů pro zpracování koncentrátů.
- Ověření a testování použití zbytků z úpravárenství ve stavebním průmyslu.
- Zpracování technicko-ekonomické analýzy postupů.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI3.1/1 Účinnost získávání TiO_2 z popílku nejméně 50 %.
- KPI3.1/2 Zvýšení koncentrace REE v produktu o 60 % při výtěžnosti procesu vyšší než 80 %.

5.1.1 Popis současného stavu

State-of-the art podle literatury

Uhelné popílký se v poslední době často uvažují jako významný sekundární zdroj kritických surovin, a to zejména kovů vzácných zemin (REE – rare earth elements). Chemické složení uhelných popílků se liší podle původu uhlí a technologie spalování. Z pohledu využití jako sekundární suroviny jsou klíčové následující složky: obsah Al_2O_3 se pohybuje obvykle od 5 do 35 %, obsah TiO_2 je obvykle 1,0–1,5 %, obsah kovů vzácných zemin pak může být až 300–700 ppm, což je srovnatelné s chudšími rudami a v některých případech dosahuje i vyšších hodnot. Kromě toho bývá v popílcích přítomen gallium (20–60 ppm), germanium (10–30 ppm) apod.

Pokud jde o metodu zpracování a využití surovinového potenciálu uhelných popílků, tak se nejčastěji kombinují dva hlavní přístupy, a to zkoncentrování suroviny pomocí různých

úpravnických postupů s následnou hydrometalurgií. Úpravnické postupy spočívají v separaci částic podle velikosti, hustoty či magnetických vlastností — jemné, nemagnetické a středně těžké frakce bývají většinou obohacené na REE. Následné hydrometalurgické postupy většinou používají kyselé či alkalické loužení. Volba činidla i postup loužení je v závislosti na cílovém prvku.

Kromě REE se popílký nabízejí rovněž jako zdroj Al a Ti, a to díky svému vysokému obsahu. Al se v popílků soustřeďuje převážně v minerálu mullit, který je stabilní, málo rozpustný a žáruvzdorný minerál, který odolává kyselému loužení. Přesto lze Al získat pomocí tlakového alkalického nebo kyselého loužení, případně po pražení s různými přísadami, tj. pouze pomocí drastických a energeticky náročných metod, které nemají žádný reálný ekonomický smysl.

Využití Ti z popílků je technologicky rovněž velmi náročné, neboť titan je pevně fixován v silikátové matici, takže běžné loužení jej téměř neuvolňuje. Nadějnější jsou postupy s alkalickým nebo kyselým pražením (např. se sírany či hydroxidem sodným), při kterých se Ti převádí do rozpustnějších forem. Přesto kvůli nízkým koncentracím oproti primárním rudám a složité mineralogické vazbě nedává jeho samostatná těžba ekonomicky smysl. Perspektiva by mohla spočívat v integrovaném zpracování popílků, kdy by se titan získával jako doprovodný prvek při loužení nebo separaci zaměřené na jiné CRM, a to jak Al, tak zejména REE. Obsah REE v může být až 700 ppm, obvyklejší bývá rozpětí 400–500 ppm; jako hraniční hodnota pro ekonomické využití se uvádí v současné době cca 800–900 ppm. Pro dosažení těchto hodnot je obvykle nutné začít celý proces obohacením pomocí úpravnictví, tj. separací podle velikosti, hustoty nebo magnetických vlastností, kdy frakce bohaté na REE jsou většinou jemné, nemagnetické, středně těžké částice. Následně se používá hydrometalurgie – nejčastěji kyselé loužení (HCl , H_2SO_4) nebo alkalické (NaOH), někdy kombinované s iontovými kapalinami, iontovou výměnou nebo elektrodiálýzou. Kyselinové loužení může dosáhnout extrakce REE až v rozsahu kolem 80 % a zároveň umožňuje recyklaci rozpouštědel. Kombinace fyzikální separace + hydrometalurgie ukazuje slibné výsledky ve snižování chemické zátěže a zvýšení účinnosti extrakce.

Zkušenosti v ČR

V ČR jsou k dispozici stovky miliónů tun deponovaných produktů po spalování uhlí v lokalitách v blízkosti energetických a tepelných zdrojů. Tyto jsou využitelné nejen přímo ve stavebnictví, kde je v současné době obrovský deficit zdrojů stavebních surovin, ale mohou být i zdrojem určitých kritických surovin. WP3.1 bude stavět na již realizovaném výzkumu v rámci projektu TITSMPO816 (2019–2021), jehož hlavními výsledky byla databáze a GIS mapa významných úložišť popílků v ČR, identifikace nejperspektivnějších lokalit pro získávání REE a Ti, a ověření vybraných technologií jejich separace. Závěry tohoto projektu zahrnují rovněž doporučení pro aktualizaci Politiky druhotných surovin ČR a identifikaci legislativních překážek. Výsledky projektu označily konkrétní lokality, kde popílký vykazují vyšší obsahy CRM. Vzorky pro zpracování budou pocházet z těchto lokalit.

Z výsledků projektu lze uvést, že:

- Převážná většina úložišť obsahuje pouze nízké až mírně zvýšené obsahy sledovaných Be, Ge, Ga a In (jednotky až první desítky ppm), ekonomicky nevyužitelné. Výjimkou je úložiště Silvestr (Tisová), kde byly zjištěny významnější obsahy Be, Ge a Ga a vymezen potenciální zdroj těchto prvků. Nízké průměrné obsahy v uhelných slojích a dílčí ztráty (únik Be a Ge do spalin) jsou identifikovány jako hlavní příčiny obecně nízkých obsahů.
- Naopak byly zjištěny ložiskově významné obsahy Ti, V, Nb, Zr a REE. Na úložištích Smolnická výsypka (Vřesová), Silvestr (Tisová) a Božkov (struska a popílký po spalování geochemicky anomálního uhlí ze sokolovské pánve) byly prokázány ložiskově významné koncentrace, zejména $\text{TiO}_2 = 4,5\text{--}6,1$ hm. %, a výrazně zvýšené V, Nb, Zr a REE. Tyto lokality byly vymezeny jako perspektivní zdroje Ti ± V, Nb, Zr a REE. Významně zvýšené obsahy Ti, Zr, REE a Al byly doloženy také na úložištích Panský les a Fučík (struska/popílký po spalování uhlí z dolu Bílina), která jsou hodnocena jako potenciální zdroje Ti ± Zr, REE a Al.
- Výrazné obsahy Zn a Fe na úložišti Bartovice. Na úložišti Bartovice byly prokázány nadprůměrné obsahy Zn > 1 hm. % a výrazný podíl Fe_2O_3 (~26 hm. %); lokalita byla vymezena jako perspektivní zdroj Zn a Fe. Zvláště významné jsou kazety se samostatnými ocelářskými kaly o kubatuře cca 600 tis. m³ s obsahem až 4 hm. % Zn a 40–60 hm. % Fe_2O_3 . Původ Zn-anomálií souvisí s hutněním primárních rud i pozinkovaného železného šrotu.

V projektu TITSMPO816 byly testovány základní postupy fyzikálního třídění, metalurgické a kombinované metody (metalurgicko-cementářská metoda) apod. Byla ověřena mineralogie VEP a prokázána proveditelnost fyzikálních třídících postupů (zrnitostní, hustotní, elektromagnetické). Navzdory vysokému podílu alumo-silikátové skelné fáze ve vysokoteplotních popílcích je dosažitelná alespoň částečná koncentrace cílových prvků. Elektromagnetická a zrnitostní separace vedené za mokra umožňují dosáhnout ~10–30% obohacení (TiO_2 , V, Nb, Zr, REE) při ~10–30% ztrátách. Pro další zpracování pak byly testovány vzorky dvou základních typů. Bohatších na TiO_2 ~ 6 % - Ti je přítomen jako částice TiO_2 a zároveň vázán v hlinito-křemičité (mullitové) matici. Chudých TiO_2 max 1,5 % - Ti převážně hlinito-křemičité matici. Účinnost loužení zájmových kovů výrazně závisí na vstupním materiálu (mineralogickém složení). U „bohatších“ materiálů je možné konvenčním loužením dosahovat účinnosti extrakce Ti až kolem 35 % a Ga 70 % (REE nebylo zahrnuto). Tlakovým loužením je možné zvýšit účinnost až k 50 % Ti, resp. 100 % Ga. V případě chudých mat. Ti pouze ~ 10 %, REE ~ 20 %. Rovněž silně závislé na vstupním materiálu. Bohatý mat. – až 40 % vytěkání Ti a 100 % Ga. Zkoušena také karbochlorace – až 90 % Ti, ale zase dojde ve velké míře k chloraci i majoritních prvků/kovů. Chudý mat. - pouze ~ 13 %, REE ~ 25 %.

V tomto projektu pak pozornost bude orientována zejména na zakoncentrování předmětných prvků pro další zpracování s následnou verifikací či ověřením dříve vyvinutých postupů v rámci projektu TITSMPO816 na modifikované vstupní suroviny.

Závěrem lze tedy konstatovat:

- Al je v popílku přítomný jako mulit, což je stabilní fáze a získávání Al z popílku hydrometalurgickou cestou nedává smysl – nebude dále řešeno.
- Získávání Ti z popílku má smysl, v případě že je ve formě TiO_2 , Ti vázaný v rámci silikátové matrici je nedostupný jak pro hydrometalurgické, tak pro úpravnické postupy – v projektu bude dále řešeno koncentrování TiO_2 zejména pomocí flotace u vzorků s vyšším obsahem TiO_2 .
- Získání REE má smysl v případě dostatečné koncentrace na úrovni cca nad 800 až 900 ppm, v projektu budou řešeny a zkoumány cesty zakoncentrování.
- Ekonomiku zlepšuje integrovaný proces zaměřený na více kritických surovin.

Seznam použité literatury:

- Blissett, R. S., & Rowson, N. A. (2012). A review of the multi-component utilization of coal fly ash. *Fuel*, 97, 1–23.
- Dai, S., & Finkelman, R. B. (2018). Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects. *International Journal of Coal Geology*, 186, 155–164.
- Dai, S., Zhao, L., Hower, J. C., Johnston, M. N., Song, W., Wang, P., & Zhou, Y. (2017). Petrology, mineralogy, and geochemistry of coal ash with a high content of rare earth elements from the Eastern Kentucky Coalfield, USA. *International Journal of Coal Geology*, 182, 85–95.
- Huang, Z., Fan, M., & Tian, H. (2018). Coal and coal byproducts: A large and developable unconventional resource for critical materials – Rare earth elements. *Journal of Rare Earths*, 36(4), 337–338.
- Jiang, L., Li, Y., Zhang, J., Xu, H., & Sun, Y. (2019). Recovery of alumina, silica, and rare earth elements from coal fly ash by integrated processes. *Separation and Purification Technology*, 210, 35–47.
- Lin, R., Howard, B. H., Roth, E. A., Bank, T., Granite, E. J., & Soong, Y. (2017). Enrichment of rare earth elements from coal and coal by-products by physical separations. *Fuel*, 200, 506–520.
- Mokoena, P. P., Ntuli, F., Oboirien, B., & Bada, S. O. (2022). Recovery of rare earth elements from coal fly ash using alkali fusion–acid leaching. *Fuel*, 321, 124108.
- Pan, J., Zhou, C., Li, J., & Peng, Z. (2020). Enhancement of rare earth elements leaching from coal fly ash by physical pretreatment. *Chemosphere*, 245, 125580.
- Querol, X., Moreno, N., Umaña, J. C., Alastuey, A., Hernández, E., López-Soler, A., & Plana, F. (2002). Synthesis of zeolites from coal fly ash: An overview. *International Journal of Coal Geology*, 50(1–4), 413–423.
- Tian, H., Li, J., Zhang, J., & Dai, S. (2025). Recovery of alumina and rare earth elements from coal fly ash: Progress, challenges, and perspectives. *Environmental Research*, 237, 117779.

Wang, L., Jin, H., Xu, Z., & Wang, W. (2018). Recovery of rare earth elements from coal fly ash by leaching with ammonium sulfate solution. *Hydrometallurgy*, 177, 112–118.

Wu, Y., Yang, J., Dai, S., Li, X., & Zhou, Y. (2018). Recovery of titanium from coal fly ash: A review. *Minerals Engineering*, 123, 95–104.

Zhang, W., Honaker, R. Q., & Groppo, J. (2015). Flotation of rare earth minerals from coal-based resources. *Minerals & Metallurgical Processing*, 32(3), 153–161.

Zhuang, X., Li, J., Querol, X., Alastuey, A., Moreno, N., Córdoba, P., ... Dai, S. (2018). A review of the utilization of fly ash: Focus on environmental and health impacts and potential applications. *Journal of Cleaner Production*, 202, 337–359.

5.1.2 Metody a postup řešení

VA3.1/1 Charakterizace vstupních vzorků (ASAM, ÚCHP, VŠCHT, SD, VŠB-TUO/HGF) (01/2026–03/2027)

Cíl: Získat komplexní informace o chemickém a mineralogickém složení a mechanicko-fyzikálních vlastnostech vybraných popílků jako podkladu pro volbu úpravnických metod.

- Odběr a homogenizace vzorků z předtipovaných lokalit na základě výsledků projektu TITSMPO816.
- Stanovení chemického složení (XRF, ICP-MS/OES) pro hlavní oxidy, Ti, REE a doprovodné prvky.
- Mineralogické rozbory (XRD, SEM-EDS, TIMA) se zaměřením na asociace Ti-minerálů a distribuci REE.
- Stanovení mechanicko-fyzikálních vlastností vzorků a jejich vliv na tokové chování materiálů a následné procesy zpracování
- Vyhodnocení liberace Ti-minerálů a vazby REE na skelnou matici.

VA3.1/2 Liberace a flotační obohacení TiO_2 (ÚCHP, ASAM, VŠB) (03/2026-12/2027)

Cíl: Ověřit postupy uvolnění a obohacení Ti-minerálů s cílem získat koncentrát TiO_2 vhodný pro následné zpracování.

- Laboratorní mletí vzorků a frakční klasifikace s cílem dosažení optimální liberace TiO_2 .
- Ověření míry liberace (TIMA) a stanovení energetické náročnosti mlecí operace.
- Výběr a testování vhodných kolektorů (oleáty, hydroxamáty), pěnidel a depresorů.
- Laboratorní ověření flotace (1–2 kg vzorků), vyhodnocení zachytu a obsahu TiO_2 v koncentrátu.
- Vyhodnocení materiálových bilancí a čistoty výsledného Ti-koncentrátu.
- Vyhodnocení chemicko-mineralogických a technologických parametrů zbytkových flotačních kalů po laboratorní separaci flotačního koncentrátu z pohledu možné uplatnitelnosti v průmyslu stavebních pojmů a kompozitů.

VA3.1/3 *Předobohacení REE fyzikálními metodami (ÚCHP, VŠB, SD, ASAM) (09/2026-06/2028)*

Cíl: Zvýšit obsah REE ve vybraných frakcích popílků a snížit náklady na hydrometalurgii.

- Třídění podle zrnitosti pro zvýraznění jemných frakcí s vyšším obsahem REE.
- Magnetická separace k oddělení Fe-oxidů a nemagnetických frakcí s vyšším obsahem REE.
- Hustotní separace (spirálový koncentrátor, mokřý splav, LARCODEMS a další separace pomocí těžkých kapalin) k získání REE-bohatých frakcí.
- Vyhodnocení obohacení REE a hmotnostních bilancí.
- Příprava koncentrovaných frakcí pro hydrometalurgické testy.

VA3.1/4 *Hydrometalurgické ověření postupů (VŠCHT, ÚCHP, ASAM, SD) (01/2027-12/2028)*

Cíl: Otestovat účinnost loužení a separace CRM z upravených koncentrátů.

- Loužení Ti-koncentrátů síranovou a chloridovou cestou, separace Fe/Ti hydrolýzou.
- Loužení REE-bohatých frakcí přímým HCl, případně po alkalickém pražení.
- Optimalizace parametrů (koncentrace kyseliny, poměr L/S, teplota, čas) pomocí DoE.
- Analýzy extrakčních roztoků (ICP-MS) a zbytků (XRD, SEM-EDS).
- Stanovení účinnosti extrakce (% recovery Ti a REE) a spotřeby činidel.
- Analýza nerozpustných podílů po hydrometalurgickém zpracování. Vyhodnocení chemicko-mineralogických a technologických parametrů a reaktivity zbytků z pohledu možné uplatnitelnosti v průmyslu stavebních povrchů a kompozitů.

VA3.1/5 *Ekonomické a environmentální hodnocení (VŠCHT, ASAM, SD, ÚCHP, VŠB-TUO/HGF, CENIA) (01/2027–12/2028)*

Cíl: *Posoudit proveditelnost navržených procesních postupů z pohledu nákladů, energetické náročnosti, technické způsobilosti a dopadů na životní prostředí.*

- Zpracování hmotových a energetických bilancí pro vybrané technologické varianty
- Posouzení environmentálních aspektů: produkce odpadních proudů, spotřeba vody a možnost jejich recyklace z pohledu celého životního cyklu.
- Tvorba základního LCA modelu ve specializovaném LCA software
- Provedení kontribuční analýzy a analýzy citlivosti výsledků vůči významným předpokladům studie LCA.
- Hodnocení alternativních scénářů a porovnání s teoretickými daty těžby primárních surovin.
- Studium technické způsobilosti řešení, analýza provozní stability, odolnosti navržených procesů a jejich vhodnosti pro následnou průmyslovou implementaci
- Porovnání scénářů: samostatné zpracování Ti vs. integrovaný postup pro Ti a REE
- Zhodnocení ekonomické návratnosti a environmentálních přínosů včetně doporučení pro další vývoj.

5.1.3 Výsledky a jejich uplatnění

Výsledky budou uplatněny zejména cestou Asociace stavebních a alternativních materiálů, která sdružuje hlavní producenty uhelných popílků v ČR. Sloužit budou jako podklad pro další rozhodování o možnostech nakládání s úložišti a složišti popílků, zejména ve fázi postupného útlumu spalování uhlí. V současnosti jsou tyto materiály prioritně uvažovány jako surovina pro stavební průmysl, avšak výsledky WP3.1 otevírají cestu k jejich rozšířenému využití jako sekundárního zdroje kritických surovin, konkrétně Ti a REE.

V rámci předchozího projektu TITSMPO816 byly identifikovány nejperspektivnější lokality z hlediska obsahu CRM a byly ověřeny základní separační a analytické postupy. Nyní bude v rámci WP3.1 navazujícím způsobem ověřeno zakoncentrování těchto prvků u vybraných materiálů, a to jako klíčový technologický krok směrem k jejich dalšímu zpracování metalurgickými cestami. Výsledky budou využity pro zhodnocení ekonomického potenciálu popílků a pro návrh způsobu jejich efektivního využití – buď jako suroviny pro stavební pojiva, nebo jako zdroje CRM v rámci cirkulární ekonomiky.

Na základě získaných dat bude zpracována předběžná technicko-ekonomická analýza navržených postupů pro producenty popílků a provozovatelů úložišť. Výsledky také mohou sloužit jako podklady pro rozhodování státní správy (MPO, MŽP). Výsledky WP3.1 tak přispějí ke strategickému využití dosud opomíjených zdrojů, podpoří implementaci principů CRMA a Surovinové politiky ČR.

Jako hlavní výsledky z této aktivity budou:

WP3.1/1 – Užitečný vzor (12/2028)

Typ výsledku: Užitečný vzor.

Technické řešení postupu pro předkoncentrování nebo získávání kritických surovin z uhelných popílků, se zaměřením na TiO_2 nebo REE. Užitečný vzor bude chránit řešení zahrnující liberace, flotace a/nebo jiný postup fyzikální separace pro zakoncentrování CRM na následné zpracování.

WP3.1/2 – Technicko-ekonomická analýza vyvinutých postupů (12/2028)

Typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Souhrnný dokument shrnující ekonomické a technologické parametry navržených postupů zpracování uhelných popílků. Bude zahrnovat hmotnostní a energetickou bilanci a odhad nákladů, analýzu variant řešení (samostatné vs. integrované zpracování) a zhodnocení environmentálních dopadů. Výstup bude sloužit jako podklad pro rozhodování průmyslových partnerů o dalším postupu.

Jako další výsledky jsou předpokládány tyto:

WP3.1/3 – Funkční vzorek REE-koncentrátu (03/2028.)

Typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Laboratorně připravený funkční vzorek předkoncentrované frakce s obsahem REE vyšším než 800 ppm. Vzorek bude charakterizován z hlediska zrnitosti, mineralogické čistoty a

záchytu cílových prvků a bude sloužit jako meziprodukt pro následné hydrometalurgické testy a ověřování účinnosti separačního postupu.

WP3.1/4 – Publikace v impaktovaném časopise (06/2028).

Typ výsledku: J – odborný článek (Jimp).

Odborná publikace shrnující hlavní výsledky WP3.1 v oblasti koncentrování TiO_2 a REE z uhelných popílků.

5.1.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě

Výsledky projektu mají aplikační potenciál zejména v oblasti využití druhotných surovin a snižování závislosti České republiky na dovozu kritických surovin, a to s ohledem na uhelné popílků a jejich celkový surovinový potenciál. Uhelných popílků je v ČR deponováno více než 100 mil. Tun. Úspěšné řešení poskytuje možnost rozšíření využití uhelných popílků nad rámec tradiční aplikace ve stavebnictví. Výsledky projektu pomohou v rámci rozhodovací fáze provozovatelů složišť a úložišť těchto materiálů ohledně dalšího postupu. Řešení projektu probíhá v těsné spolupráci s Asociací alternativních stavebních materiálů, které sdružuje všechny významné producenty uhelných popílků a kteří jsou v důsledku odklonu od energetického využití uhlí v současnosti ve fázi rozhodování ohledně dalšího postupu a osudu úložišť. Výsledkem projektu v první fázi jsou postupy, které mají umožnit zakoncentrování TiO_2 a obohacených frakcí s obsahem REE, což je zásadní krok pro další zpracování hydro- či pyrometalurgií, či kombinovanými postupy a rovněž zásadní krok pro ekonomiku celého procesu.

Státní správa může výsledky využít jako podklad pro rozhodování v oblasti surovinové politiky a environmentální legislativy. Identifikace a zhodnocení potenciálu vybraných lokalit s uhelnými popílků umožní efektivně plánovat nakládání s odkališti a složišti, včetně jejich možné rekultivace či dalšího průmyslového využití, ať už jako suroviny pro stavební průmysl či jako zdroj kritických surovin. Výsledky také poskytnou státní správě nezbytné podklady pro rozhodnutí a evaluaci potenciálu uhelných popílků s ohledem na Nařízení o kritických surovinách či Surovinovou politiku ČR.

5.1.5 Harmonogram řešení

Ganttův diagram řešení WP3.1 je uveden níže, stejně jako klíčové milníky.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP3.1													
T3.1.	VA3.1/1												
	VA3.1/2												
	VA3.1/3												
	VA3.1/4												
	VA3.1/5												
Výstupy													

Milníky

- M3.1/1 – 12/2026 – stanovena liberace TiO_2 ve vstupním materiálu.
- M3.2/2 – 06/2027 – určen optimální kolektor a pěnidlo pro flotaci.
- M3.3/3 – 12/2027 – zvolen vhodný postup koncentrování REE pro další optimalizaci.
- M3.3/4 – 06/2028 – dokončeno základní ověření zpracování koncentráту pro zhodnocení.
- M3.3/5 – 12/2028 – stanoven potenciál úpravárenství pro zakoncentrování CRM z uhelných popílků.

5.2 WP3.2 Produkty z metalurgie jako surovinový zdroj

Vedoucí WP: Jozef Vlček, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o.

Další řešitelé včetně organizace: Vlastimil Matějka, Karel Dvořák, VUT v Brně; Bruno Kostura, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM; Jindřiška Nová, CENIA.

Cílem řešení

Cílem navrhovaného výzkumu je vytvořit ucelený koncepční rámec pro efektivní využití metalurgických odpadů, jakož to cenných zdrojů vybraných kritických surovin. Součástí tohoto rámce bude:

- Identifikovat a klasifikovat vhodné druhy odpadů (původem z metalurgického průmyslu, jako jsou strusky, odprašky, kaly, stěry, formovací písky, formovací a jádrové směsi) se zaměřením na obsah a potenciál separace kritických surovin (CRM).
- Vyvinout a optimalizovat separační metody vhodné pro dané typy metalurgických odpadů s cílem efektivně získávat CRM, testovat účinnost a spolehlivost vyvinutých postupů.

- Posoudit ekonomické, environmentální a technologické přínosy perspektivních postupů recyklace CRM z metalurgických odpadů, hodnotit jejich energetickou a materiálovou náročnost.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI3.2/1 Popis technologických variant separace CRM, pro které bude vypracována bilance náročnosti a environmentálních dopadů a odhad ekonomické způsobilosti. Cílová hodnota: min. 2 kompletně vyhodnocené varianty do roku 2028.

5.2.1 *Popis současného stavu*

Kritické suroviny, mezi které patří vanad, titan, mangan, kobalt či prvky vzácných zemin, jsou nepostradatelné pro výrobu technologií moderního průmyslu. Využívají se při výrobě speciálních slitin pro letectví a energetiku, v bateriových systémech, katalytických procesech, při výrobě permanentních magnetů i v obranném průmyslu. Jejich nedostatek má okamžitý dopad na průmyslové řetězce, proto se Evropská unie snaží minimalizovat závislost na dovozu z několika málo států (Čína, Rusko, Kongo). Přijatý Critical Raw Materials Act vyžaduje, aby EU zajistila minimální podíl vlastní produkce a recyklace vybraných prvků, což vytváří tlak na zavádění nových technologií zpracování sekundárních zdrojů.

Za perspektivní zdroje lze považovat metalurgické odpady, vznikající při výrobě a zpracování kovů. Patří sem strusky, kaly, odprašky a popílky, které často obsahují kritické suroviny ve formách umožňujících jejich chemické nebo fyzikálně-chemické zpracování. Přesto je jejich využití dosud omezené. Hlavní bariérou je složité fázové složení těchto materiálů, vysoká technologická náročnost separace kovů a problematické třídění odpadních materiálů přímo v hutní výrobě. Část těchto toků je navíc kontaminována organickými příměsemi (oleje, pojiva) nebo obsahuje vysoký podíl jemných frakcí, což komplikuje manipulaci. Přesto jde o materiály, které mají až jednotky procent obsahu kritických prvků – tedy řádově vyšší hodnoty než řada méně hodnotných rud.

Mezi odpady s největším potenciálem patří zejména:

- ocelářské strusky (obsah vanadu, titanu, vzácných zemin),
- odprašky a kaly z výroby železa a oceli (obsah Zn, Pb, Cr, Mn, V),
- slévárenské formovací směsi a vyzdívky pecí (obsah Al, Cr, Ni, grafit, bauxit),
- jemné prachové frakce z filtračních zařízení (koncentrace vzácných zemin často vyšší než v rudách)

Jak již bylo uvedeno, tyto odpady obsahují široké spektrum kovů, od železa, manganu, chromu a niklu až po vanad, titan a prvky vzácných zemin. Přesto jsou dnes z velké části

ukládány na skládky nebo využívány pouze v nízkohodnotných aplikacích, například jako zásypový materiál.

Problematika separace cenných složek z uvedených materiálů spočívá především v jejich složitém fázovém složení, které zahrnuje stabilní oxidické fáze, sklovité matrice a jemnozrnné disperze. Tyto struktury brání snadnému uvolnění cílových prvků a komplikují proces třídění. Recyklace je proto dosud omezená. V praxi se pro zpracování uplatňují čtyři základní skupiny metod:

- pyrometalurgické procesy – vysokoteplotní redukce a tavení při teplotách často nad 1200 °C, metody jsou vhodné pro velkoobjemové toky, avšak s vysokou energetickou náročností a tvorbou plyných exhalátů.
- hydrometalurgické procesy – loužení kyselinami nebo alkalickými činidly, které umožňuje selektivní rozpouštění a regeneraci činidel.
- biohydrometalurgie – využití mikroorganismů k uvolňování iontů z oxidických matic, metoda je ekologicky šetrná, ale zatím technologicky pomalejší.
- kombinované procesy – pyrometalurgické předzpracování (aktivace materiálu, odstranění těkavých složek) následované hydrometalurgickou extrakcí.

Pyrometalurgické procesy lze simulovat pomocí termické analýzy, kdy je vzorek vystaven stejnému teplotnímu režimu, jako v například při zpracování v rotační peci. Stejně postupy lze zvolit pro redukční tavení vedoucí k přeměně oxidů na kovové formy. Jako redukční činidlo může být využit také odpadní produkt, např. koksprach, který je zdrojem uhlíku. Předběžné výsledky ukazují, že kromě kritických surovin lze tímto způsobem získávat také další průmyslově významné kovy, jako jsou zinek a železo. V důsledku pyrometalurgického zpracování mohou být vybrané složky obsažené v kalcinátech magneticky aktivní. Logicky navazujícím krokem pro další zpracování takovýchto produktů je magnetická separace.

Jak již bylo zmíněno, další metodu zpracování metalurgických odpadů představují hydrometalurgické procesy pomocí kyselého, nebo alkalického loužení. V případě kyselého loužení lze využít jak běžné anorganické kyseliny (HCl, H₂SO₄, HNO₃), tak i kyseliny organické (např. CH₃COOH). Kyselé loužení je vhodné k rozpouštění oxidických fází a separaci cílových kovů. Vhodnou volbou prostředí (voda, vodný roztok fenolu atd.) lze navíc docílit určité selektivity zaměřené právě na cílové kovy. Alkalické loužení (NaOH, Na₂CO₃) je vhodné především pro titanové a vanadové fáze obsažené hlavně v ocelářských struskách. Také v případě hydrometalurgického zpracování odpadů se jako zajímavá možnost jeví následná magnetická separace pevného zbytku po kyselém, nebo alkalickém loužení. Výluhy mohou být dále zpracovány cestou selektivní precipitace a extrakce s využitím organických extrakčních činidel nebo iontoměničů.

Jako perspektivní se jeví kombinované procesy, protože spojují robustnost pyrometalurgie s jemnou selektivitou hydrometalurgie. Pyrometalurgická aktivace strusky rozruší krystalickou mřížku, sníží obsah těkavých složek (Zn, Pb, alkálie) a zvýší rozpustnost cílových kovů. Následné kyselé nebo alkalické loužení je pak účinnější, s vyšší výtěžností a nižší spotřebou činidel. Tento přístup je již také popsán v literatuře.

V případě vanadu lze v literatuře vyhledat, že například jeho výtěžnost z konvertorové strusky může dosáhnout až 85 %, a to při optimalizovaných podmínkách loužení. Gilligan a Nikoloski navrhli nahradit tradiční uhličitán sodný při tepelném zpracování titanomagnetitů hydroxidem sodným, což snížilo teplotu procesu a zefektivnilo extrakci vanadu. Renno et al. zkoumali chování vanadu v kyslíkových konvertorových struskách a ukázali, že tento kov je vázán v několika fázích s odlišnou reaktivitou, což komplikuje jeho uvolnění. Lee et al. shrnuli přehled technologických možností recyklace vanadu ze strusek a vyzdvihli nutnost kombinovat více metod pro dosažení průmyslově využitelných výtěžností.

Kromě vanadu jsou významným cílem i prvky vzácných zemin. Bandara et al. potvrdili výskyt neodymu ve struskách z ocelářenských pochodů. Rovněž vysokopeční strusky mohou být zdrojem CRM, jak popsal Abhilash et al. Novější práce zdůrazňují, že obsah některých CRM v odpadních tocích může být vyšší než v běžně těžených rudách, což potvrzuje i studie Jedrusiaka et al.

Pokrok je dosažen i v oblasti intenzifikace procesů získávání kovů z metalurgických odpadů. Omran et al. například prokázali, že mikrovlnný ohřev zvyšuje výtěžnost zinku a dalších kovů ze strusek oproti klasickému ohřevu, a to díky rychlejšímu a homogennějšímu prohřátí. Dong et al. vyvinuli hydrotermální krystalizační postup pro získání titanu z vysokopeční strusky. Je zdokumentováno, že pyrometalurgické zpracování hliníkové strusky v bubnové peci s přidavkem solné směsi, umožňuje migraci vzácných zemin do vytvořeného koncentrátu, který se následně stal zdrojem pro další hydrometalurgické zpracování.

Bio-hydrometalurgie nabízí ekologičtější cestu. Tezyapar Kara et al. demonstrovali extrakci kovových iontů (například Cu, Al, Mn, Nd, Ce) z odprašků kyslíkového konvertoru s využitím biologických činidel, přičemž bylo dosaženo selektivní separace. Tyto metody mohou v budoucnu snížit spotřebu koncentrovaných kyselin a přiblížit procesy principům zelené metalurgie.

Technické výzvy ovšem nekončí u laboratorních experimentů. Pro skutečnou průmyslovou implementaci je nutné zejména:

- navrhnout technologické linky, které dokážou kontinuálně zpracovávat stovky tun materiálu.
- vyřešit logistiku toků odpadních materiálů, protože složení se může lišit závod od závodu.
- zajistit environmentální kompatibilitu – minimalizovat vznik sekundárních kalů a neutralizovat kapalné odpady.
- provést ekonomické analýzy životního cyklu (CAPEX, OPEX, energetická náročnost).

Výsledky dosavadních studií ukazují, že implementace pyrometalurgických, hydrometalurgických, ale zejména hybridních metod představuje reálnou cestu, jak využít metalurgické odpady jako sekundární zdroj kritických surovin. Tyto postupy podporují cíle EU v rámci Critical Raw Materials Act, přispívají ke snížení závislosti na dovozu a umožňují vznik nových hodnotových řetězců v metalurgickém průmyslu. Pro jejich úspěšné zavedení

bude nutné dále optimalizovat procesní parametry, zrychlit škálování výrobních kapacit a hledat synergie s existujícími hutními provozy, například prostřednictvím průmyslové symbiózy.

Seznam použité literatury:

- Whitworth, A. J., Forbes, E., Verster, I., Jokovic, V., Awatey, B., et al. (2022). Review on advances in mineral processing technologies suitable for critical metal recovery from mining and processing wastes. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100451. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100451>
- Ahmad, J., Zhou, Z., Martínez-García, R., Vatin, N. I., de-Prado-Gil, J., & El-Shorbagy, M. A. (2022). Waste foundry sand in concrete production instead of natural river sand: A review. *Materials*, 15(7), 2365. <https://doi.org/10.3390/ma15072365>
- Shekhar Samanta, N., Das, P. P., Dhara, S., & Purkait, M. K. (2023). An overview of precious metal recovery from steel industry slag: Recovery strategy and utilization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 62(23), 9006–9031. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c00604>
- Bandara, H. M. D., Mantell, M. A., Darcy, J. W., & Emmert, M. H. (2015). Closing the lifecycle of rare earth magnets: Discovery of neodymium in slag from steel mills. *Energy Technology*, 3(2), 118–120. <https://doi.org/10.1002/ente.201402162>
- Saidi, A., El Khawaja, R., & Boffito, D. C. (2023). A review of traditional and intensified hydrometallurgy techniques to remove chromium and vanadium from solid industrial waste. *ACS Engineering Au*, 4(1), 49–70. <https://doi.org/10.1021/acsengineeringau.3c00046>
- Kokko, M., Manninen, M., Hu, T., Lassi, U., Vielma, T., et al. (2024). Hydrometallurgical recovery of vanadium and calcium from electric arc furnace slag in hydrogen based steelmaking. *Minerals Engineering*, 217, 108966. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108966>
- Menad, N.-E., Seron, A., & Bensamdi, S. (2024). Innovative process for strategic metal recovery from electric arc furnace slag by alkaline leaching. *Metals*, 14(12), 1364. <https://doi.org/10.3390/met14121364>
- Dong, Z., Yang, R., Wang, S., Chen, C., Zhao, M., et al. (2025). Strategic recovery of titanium from low-grade titanium-bearing blast furnace slag via hydrothermal-crystallization coupling. *Minerals*, 15(5), 445. <https://doi.org/10.3390/min15050445>
- Bielowicz, B. (2025). Waste as a source of critical raw materials – A new approach in the context of energy transition. *Energies*, 18(8), 2101. <https://doi.org/10.3390/en18082101>
- Menad, N.-E., Seron, A., & Bensamdi, S. (2024). Innovative process for strategic metal recovery from electric arc furnace slag by alkaline leaching. *Metals*, 14(12), 1364. <https://doi.org/10.3390/met14121364>

- Zhang, J., Zhang, Y., Long, Y., Tian, C., Du, P., et al. (2024). Characterization of physical and chemical properties of multi-source metallurgical dust and analysis of resource utilization pathways. *Metals*, 14(12), 1378. <https://doi.org/10.3390/met14121378>
- Renno, A. D., Möckel, R., Frenzel, M., Ebert, D., Bachmann, K., Krause, J., & Gutzmer, J. (2023). Metal deportment in complex secondary raw materials: The case of vanadium in basic oxygen furnace slags. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 40, 2139–2152. <https://doi.org/10.1007/s42461-023-00851-w>
- Lee, J., Kurniawan, K., Kim, E., Chung, K. W., Kim, R., & Jeon, H.-S. (2021). A review on the metallurgical recycling of vanadium from slags: Towards a sustainable vanadium production. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 343–364. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.065>
- Attah, M., Hildor, F., Yilmaz, D., & Leion, H. (2021). Vanadium recovery from steel converter slag utilised as an oxygen carrier in oxygen carrier aided combustion (OCAC). *Journal of Cleaner Production*, 293, 126159. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126159>
- Gilligan, R., & Nikoloski, A. N. (2020). The extraction of vanadium from titanomagnetites and other sources. *Minerals Engineering*, 146, 106106. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106106>
- Abhilash, A., Meshram, P., Sarkar, S., & Venugopalan, T. (2017). Exploring blast furnace slag as a secondary resource for extraction of rare earth elements. *Minerals and Metallurgical Processing*, 34(4), 178–182. <https://doi.org/10.19150/mmp.7857>
- Tezyapar Kara, I., Huntington, V. E., Simmons, N., Wagland, S. T., & Coulon, F. (2024). Extracting metal ions from basic oxygen steelmaking dust by using bio-hydrometallurgy. *Heliyon*, 10(11), e32437. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32437>
- Omran, M., Fabritius, T., Yu, Y., Heikkinen, E.-P., Chen, G., et al. (2020). Improving zinc recovery from steelmaking dust by switching from conventional heating to microwave heating. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 7(1), 15–26. <https://doi.org/10.1007/s40831-020-00319-x>
- Jedrusiak, R., Bielowicz, B., & Drobniak, A. (2023). From waste to value: Recovering critical raw materials from urban mines in the European Union and United States. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 39(3), 43–63. <https://doi.org/10.24425/gsm.2023.147557>
- Wibner, S., Antrekowitsch, H., & Meisel, T. C. (2021). Studies on the formation and processing of aluminium dross with particular focus on special metals. *Metals*, 11(7), 1108. <https://doi.org/10.3390/met11071108>
- Bisen, S. V., Sharma, S., & Chattopadhyay, S. (2025). Rare earth elements occurrences in coal fly ash and methods of their extraction: A review. *Journal of the Geological Society of India*, 101(5), 581–590. <https://doi.org/10.17491/jgsi/2025/174131>

5.2.2 Metody a postup řešení

VA3.2/1 – Identifikace a analýza toků sekundárních produktů a odpadů z metalurgie s ohledem na výskyt kritických surovin (VŠB-TUO, MMV)

Cíl: Identifikovat chemické a fázové složení sekundárních produktů a odpadů z metalurgie, vyhodnotit obsah CRM

- Zajištění vzorků sekundárních produktů a odpadů z výroby a zpracování oceli a slévárenství a jejich úprava.
- Charakterizace získaných vzorků z pohledu chemického a fázového složení
- Vyhodnocení obsahu a formy přítomnosti CRM.
- Výběr typů sekundárních produktů a odpadů z výroby a zpracování oceli a slévárenství pro testy separace CRM.

VA3.2/2 Vývoj metod separace CRM a hodnocení jejich účinnosti (MMV, VŠB-TUO)

Cíl: Vyvinout a ověřit mechanické, fyzikální, hydro a pyrometalurgické a kombinované metody separace kritických surovin a vyhodnotit jejich výtěžnost, selektivitu a kvalitu získaných CRM.

- Metody založené na mechanické a fyzikální separaci CRMs.
- Metody hydrometalurgické pro získávání CRMs.
- Metody pyrometalurgické pro získávání CRMs.
- Metody kombinované pro získávání CRMs.
- Vyhodnocení výtěžnosti a kvality získaných CRM.

VA3.2/3 Zpracování zbytkových frakcí po separaci CRM (VŠB-TUO, MMV, VUT)

Cíl: Vyhodnotit parametry zbytků po separaci kritických surovin a navrhnout vhodné metody jejich dalšího zpracování s ohledem na minimalizaci odpadů a environmentální dopady.

- Mineralogická, petrografická a chemická charakterizace po separaci CRM, a to zejména podíl amorfni a krystalické fáze (XRF, XRD, ICP-OES/MS, SEM-EDS) a potenciálních škodlivin z pohledu ovlivnění hydratace anorganických pojiv. Stanovení reaktivity.
- Návrh postupů mechanického zpracování a přetřídění zbytků po separaci CRM pro ověření v druhé fázi řešení projektu.
- Návrh postupů sušení a eventuálně stabilizace pro ověření v druhé fázi řešení projektu.
- Ověření environmentální stability a bezpečnosti zbytků po separaci CRM.
- Zpracování základního blokového schématu pro zpracování zbytků po separaci a energetické bilance procesů.

VA3.2/4 Validace aplikačního potenciálu a dopadů navržených řešení (MMV, VŠB-TUO).

Cíl: posoudit aplikační potenciál navržených separačních řešení CRM prostřednictvím vyhodnocení jejich technologických, ekonomických a environmentálních ukazatelů, a tím ověřit jejich využitelnost pro průmyslovou praxi.

- Zhodnocení technologických ukazatelů vybraných řešení separace CRM.
- Zhodnocení ekonomických ukazatelů vybraných řešení separace CRM.
- Zhodnocení environmentálních ukazatelů vybraných řešení separace CRM.

Nástin činnosti pro roky 2029–2032

V dalším období řešení projektu se předpokládá rozšíření souboru zkoumaných metalurgických odpadů o nové typy vznikající v důsledku proměny technologií výroby kovů, ale také o odpady, které nebyly plně prozkoumány v první etapě projektu. Jedná se o široké spektrum materiálů a není reálné zpracovat všechny v průběhu prvních tří let, proto bude pokračující výzkum zaměřen na jejich postupné doplnění.

Metody separace CRM z metalurgických odpadů jsou velmi variabilní a nabízejí širokou škálu alternativních řešení, která je nutno experimentálně ověřit. V dalším období se proto počítá s rozšířením testů zpracovatelnosti a s využitím nástrojů umělé inteligence pro plánování a optimalizaci experimentů, což umožní efektivnější volbu vhodných postupů.

Důležitým cílem této fáze bude vypracování komplexních přehledů zásob CRM v metalurgických odpadech, a to jak u nově vznikajících proudů, tak i u historických zásob deponovaných na skládkách a odvalech. Tyto přehledy mohou sloužit nejen jako odborný podklad pro rozvoj nových technologií, ale také jako strategický materiál pro státní správu, který podpoří rozhodování o hospodaření s kritickými surovinami.

Zvláštní pozornost bude věnována efektivitě navrhovaných řešení, aby vyvinuté technologie byly ekonomicky přístupné a současně environmentálně přijatelné. Vývoj bude veden tak, aby nové postupy bylo možné provozovat s ohledem na dostupnost energie z obnovitelných zdrojů, což posílí jejich dlouhodobou udržitelnost a kompatibilitu s evropskou politikou dekarbonizace.

Výsledky budou směřovat k přípravě užitných vzorů a ověřených technologií, které budou dokumentovat konkrétní způsoby separace CRM z metalurgických odpadů. Nedílnou součástí další fáze bude také aktivní vyhledávání potenciálních uživatelů a průmyslových partnerů, kteří mohou nové technologie a produkty implementovat do praxe. Tím se zajistí nejen aplikační využitelnost, ale i vytvoření reálného tržního a legislativního rámce pro jejich zavedení.

5.2.3 Výsledky a jejich uplatnění

Výsledky pracovního balíku WP3.2 se zaměřují na využití metalurgických odpadů jako sekundárního zdroje kritických surovin (CRM). Klíčovým cílem je demonstrovat technologickou proveditelnost separace vybraných CRM (např. V, Ti, Mn, REE, Zn, Al, Cr, Ni) pomocí kombinace pyro – a hydrometalurgických procesů, případně s využitím magnetické či jiné separace. Hlavní výstupy ve formě funkčních vzorků budou prokazovat schůdnost a potenciál zpracování odpadů z výroby oceli a slévárenství, a zároveň poskytnou podklad pro technicko-ekonomické hodnocení a další technologický vývoj.

Součástí výsledků jsou také odborné publikace zaměřené na hodnocení obsahu CRM v různých typech odpadů a prezentaci navržených procesů jejich separace. Výzkumná zpráva k technologickému zpracování zbytkových frakcí po separaci doplňuje celkový pohled na nakládání s materiálovými toky a přispívá k návrhu environmentálně i ekonomicky udržitelných řešení.

Výsledky WP3.2 budou využity jak výzkumnými institucemi, tak průmyslovými partnery a státní správou při plánování nakládání s druhotnými surovinami a hodnocení potenciálu metalurgických odpadů jako domácího zdroje kritických prvků v souladu s cíli CRMA a Surovinové politiky ČR.

Hlavní výsledky budou:

WP3.2/1 – Funkční vzorek: Koncentrát s obsahem CRM získaný z odpadů z výroby oceli (09/2028).

Typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Laboratorně připravený funkční vzorek získaný z metalurgických odpadů vznikajících při výrobě oceli. Vzorek bude vyroben kombinací pyrometalurgických a hydrometalurgických procesů, případně magnetické separace. Koncentrát bude obohacen o vybrané kritické suroviny (např. V, Ti, Mn, REE, Zn) a doplněn o bilanci výtěžnosti, selektivity vůči nečistotám (Fe, Si, Ca, Al) a popis možností recyklace činidel. Výsledek bude využit jako ověřitelný meziprodukt pro technologická a ekonomická hodnocení navazujících procesů.

WP3.2/2 – Funkční vzorek: Koncentrát s obsahem CRM získaný ze slévárenských odpadů (12/2028).

Typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk)

Laboratorně připravený koncentrát ze slévárenských odpadů s využitím kombinace pyrometalurgických a hydrometalurgických procesů, případně magnetické separace. Vzorek bude obsahovat CRM jako Al, Cr, Ni, grafit a případně REE. Výstup bude charakterizován z hlediska výtěžnosti, selektivity vůči hlavním příměsím (Si, Ca, Fe, Mg) a možností regenerace činidel. Bude sloužit jako validační materiál pro technicko-ekonomické vyhodnocení procesu.

WP3.2/3 – Publikace: Odpady z metalurgické výroby jako zdroje kritických surovin (CRM) (09/2027).

Typ výsledku: Publikace v impaktovaném časopise (Jimp)

Publikace shrne chemické a fázové složení hlavních typů odpadů z metalurgické výroby a jejich potenciál jako sekundárního zdroje kritických surovin. Bude diskutována variabilita obsahu prvků (V, Ti, Mn, REE) a srovnání s jejich obsahem v primárních rudách. Publikace bude založena na systematickém přehledu dostupných dat i nově získaných výsledků projektu.

WP3.2/4 – Publikace: Procesy pro separaci CRM z metalurgických odpadů (06/2028)

Typ výsledku: Publikace v impaktovaném časopise (Jimp)

Publikace představí vyvinuté a optimalizované pyrometalurgické a hydrometalurgické procesy pro separaci CRM z metalurgických odpadů. Bude obsahovat přehled dosažených výtěžností, srovnání s konvenčními postupy a diskusi o možnostech průmyslové aplikace.

Další výsledkem pak bude

WP3.2/5 – Výzkumná zpráva: Návrh technologií pro zpracování zbytků po separaci CRM (12/2028).

Typ výsledku: Výzkumná zpráva (O).

Zpráva shrne výsledky charakterizace zbytkových frakcí po separaci CRM z metalurgických odpadů a navrhne technologické postupy jejich dalšího využití nebo stabilizace. Bude obsahovat mineralogické, chemické a environmentální hodnocení těchto materiálů a návrh blokových schémat dalšího zpracování.

5.2.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě

Řešená aktivita má jasný aplikační dopad do oblasti surovinové bezpečnosti a cirkulární ekonomiky, které jsou prioritami Critical Raw Materials Act i Strategického rámce cirkulární ekonomiky ČR 2040.

Předmětem výzkumu jsou metalurgické odpady velkoobjemového charakteru – ocelářské strusky, kaly, odprašky, formovací směsi či prachové frakce. Tyto materiály představují významný potenciál, protože obsahují zajímavé podíly kritických prvků (vanad, titan, mangan, REE).

V první fázi projektu (2026–2028) budou identifikovány vhodné proudy a připraveny funkční vzorky koncentrátů CRM, ve druhé fázi, od roku 2029, pak ověřené technologie separace, popsatelné formou užitných vzorů a technologických schémat. Výstupy projektu tak mohou sloužit jako praktický podklad pro státní správu při hodnocení surovinové bezpečnosti a přípravě politik nakládání s odpady.

Aplikační potenciál spočívá zejména v:

- evidenci zdrojů CRM v průběžně vznikajících i historických odpadech,
- podpoře rozhodování o investicích a regulaci v oblasti nakládání s odpady,
- vytváření podmínek pro průmyslovou symbiózu, kdy odpady metalurgie nejsou skládkovány, ale stávají se vstupem pro recyklaci.

Vyvíjené technologie budou hodnoceny z pohledu technické účinnosti, ekonomické proveditelnosti a environmentální přijatelnosti, s důrazem na možnost jejich provozu při využívání energie z obnovitelných zdrojů. Projekt tak přispěje k posílení surovinové soběstačnosti a k naplnění cílů EU i ČR v oblasti udržitelného nakládání se zdroji.

5.2.5 Harmonogram řešení

Ganttův diagram pro WP3.2 je uveden níže spolu s milníky.

Úkol / výzkumná aktivita	2026				2027				2028				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
WP3.2													
VA3.2/1													
VA3.2/2													
VA3.2/3													
VA3.2/4													
Výstupy					M3.2/1			J imp.	M3.2/2	M3.2/3	jimp	Gfunk	Gfunk O

Milníky

- M3.2/1 – 12/2026 - Dokončena chemická a fázová charakterizace min. 2 reprezentativních typů metalurgických odpadů s kvantifikovaným obsahem vybraných CRM.
- M3.2/2 – 12/2027 - Ověřena funkčnost laboratorních postupů pyro/hydrometalurgické separace u min. 2 typů odpadů s dosaženou výtěžností CRM ~ 70 %.
- M3.2/3 – 03/2028 - Vypracován návrh metody nakládání se zbytkovými frakcemi

5.3 WP3.3 Produkty z tvrdokovů jako surovinový zdroj

Vedoucí WP: Kateřina Skotnicová, VŠB-TUO.

Další řešitelé včetně organizace: Jitka Malcharcziková; Ivo Szurman; Tomáš Čegan, VŠB-TUO; Hong Vu, VŠCHT; Michal Šyc a Ekaterina Korotenko, ÚCHP AV ČR.

Cíle řešení

Vyvinout a optimalizovat integrovaný proces recyklace WC-Co nástrojů, který bude zahrnovat cílený sběr a třídění odpadních materiálů, jejich předúpravu (odstranění funkčních povlaků), následné zpracování metodou Zn-procesu nebo alternativními hydrometalurgickými postupy a výrobu recyklovaných prášků vhodných pro opětovné využití v práškové metalurgii. Důraz bude kladen na zachování hodnotového řetězce wolframu a kobaltu, minimalizaci ztrát, odstranění kontaminantů a zajištění konzistentní kvality recyklátu.

Odpadní slinuté karbidy představují především opotřebované nástroje pro třískové obrábění, jako jsou vyměnitelné řezné destičky, vrtáky či frézy. Další významnou část tvoří střížné a tvářecí nástroje, nástroje s břity pro těžební a stavební průmysl a další vysoce namáhané komponenty.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku

v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI3.3/1 Zajištění recyklovaného WC–Co prášku s výtěžností ≥ 85 % (na bázi W+Co) a s vlastnostmi odpovídajícími požadavkům práškové metalurgie (chemické složení, granulometrie, technologické parametry).

5.3.1 Popis současného stavu znalostí

Slinuté karbidy na bázi wolframu (WC) a kobaltu (Co) představují strategické materiály s klíčovým významem pro nástrojářský, automobilový, letecký a těžební průmysl. Vzhledem k vysoké kritičnosti těchto prvků – kobalt je z více než 60 % produkován v Demokratické republice Kongo a wolfram z více než 80 % v Číně – představuje jejich efektivní recyklace zásadní prvek pro zajištění surovinové bezpečnosti EU. Evropská unie i jednotlivé státy proto usilují o vývoj a zavedení recyklačních metod, které umožní minimalizaci závislosti na primárních surovinových zdrojích a zároveň snížení environmentální zátěže.

Jednou z nejvíce studovaných a průmyslově zavedených metod je zinková desintegrace, která umožňuje efektivní separaci WC částic ze slinutých karbidů působením kapalného zinku při teplotách 850–1000 °C. Mechanismus spočívá v difuzi zinku do kobaltové matrice, kde vznikají intermetalické fáze (např. $Zn_{11}Co_2$), jež narušují soudržnost materiálu a vedou k jeho rozkladu na WC zrna, která si zachovávají původní velikost, morfologii i chemické složení. Destilací se odstraní zinek a získaný prášek je přímo využitelný v práškové metalurgii. Výhodou Zn-procesu je vysoká výtěžnost (až 90 %), nízká energetická náročnost (o 30–40 % nižší než primární výroba) a absence kapalných odpadů, kterých při hydrometalurgických procesech vzniká velké množství. Optimalizace procesu zahrnuje kontrolu atmosféry (typicky Ar), teplotního profilu, poměru Zn:nástroj a účinné odstranění tvrdých povlaků (TiN, TiAlN, Al_2O_3), které jinak kontaminují výstupní prášek.

Alternativu k procesu zinkové desintegrace představují hydrometalurgické metody, které jsou zvláště vhodné pro zpracování jemnozrnných, heterogenních nebo kontaminovaných odpadních toků. Tyto postupy využívají kyseliny, jako je kyselina sírová, kyselina dusičná či lučavka královská, k selektivnímu loužení kobaltu a současné oxidaci karbidu wolframu (WC) na kyselinu wolframovou (H_2WO_4). Ta může být následně převedena na parawolframan amonný, který představuje standardní meziprodukt pro výrobu wolframových prášků. Za perspektivní lze považovat inovativní přístupy založené na kombinaci mechano-chemické aktivace (např. kulového mletí) s následným kyselým loužením, jež významně zkracují dobu extrakce a zvyšují reaktivitu odpadní matrice. Uvedený postup umožnil dosáhnout až 99 % extrakce wolframu během dvou hodin. Z hlediska udržitelnosti jsou tyto procesy výhodné díky možnosti regenerace činidel (např. NO_x zpětně na HNO_3), nízké teplotě (25–80 °C) a selektivitě (W zůstává nerozpuštěný, zatímco Co přechází do roztoku). Výsledné produkty dosahují vysoké čistoty (Co >98 %, WC >98 %) a jsou vhodné pro opětovné použití.

Zcela perspektivním směrem vývoje jsou elektrochemické metody, které umožňují recyklaci slinutých karbidů při pokojové teplotě za použití trojelektrodového uspořádání. V tomto systému funguje odpadní WC–Co materiál jako anoda, na níž dochází k anodickému rozpouštění kobaltu do elektrolytu, zatímco WC podléhá oxidaci na kyselinu wolframovou (H_2WO_4). Na katodě se současně elektrochemicky vylučuje kovový kobalt s vysokým stupněm krystalinity. Tento přístup nevyžaduje použití vysoce agresivních chemických činidel, probíhá za mírných podmínek a umožňuje opakované využití elektrolytu, což jej činí environmentálně šetrným a průmyslově perspektivním.

Inovativní hybridní pyrometalurgické a elektrochemické technologie dále kombinují prvky Zn-procesu s vakuovou destilací nebo využívají přímou syntézu WC z oxidových prekurzorů (např. CaWO_4) prostřednictvím elektrochemického zpracování v roztavených solích CaCl_2 – CaO . Tyto postupy umožňují eliminovat potřebu vodíku či karbotermické redukce a vedou k přímé tvorbě stechiometrické WC fáze bez vzniku vedlejších oxidických fází.

Specifickým přístupem k recyklaci je automatizovaná regenerace nástrojů bez rozkladu materiálu. Opatřené nástroje jsou znovu obrobena a využity jako polotovary pro nové nástroje, čímž se snižuje spotřeba energie i surovin až o 50 %. Technologie zahrnuje skenování, CAD/CAM simulaci a adaptivní řízení obrobění. Tento koncept je zvláště vhodný pro uzavřené výrobní cykly.

Navzdory rostoucímu významu recyklace slinutých karbidů pro zajištění strategických surovin, jako jsou wolfram a kobalt, zůstává situace v České republice neuspokojivá. Oficiální statistiky o recyklaci tvrdokovových nástrojů pro ČR nejsou dostupné, avšak podle údajů International Tungsten Industry Association (ITIA) se na celosvětové úrovni recykluje přibližně 30 % slinutých karbidů [14]. Převážná část vytríděného materiálu je navíc z Česka exportována k následnému zpracování do zahraničí. Odpady obsahující W zpracovávala firma HMZ, a.s., Bruntál tzv. HMZ procesem. Při této technologii jsou zpracovávány odpady pevné (Hard scrap), drobné (Soft scrap) až jemné ve formě prachů nebo kalů. Technologie je založena na oxidačním pražení odpadů v rotační retortové peci. Praženec je následně loužen v roztoku kyseliny sírové s odloučením kobaltu a dalších rozpustných složek. Z kapalné fáze je po separaci na filtru a rafinaci od nečistot získáván produkt heptahydrát síranu kobaltnatého. Pevná fáze tzv. kyselý louženec je loužen v roztoku amoniaku. Rafinací roztoku od kobaltu a jiných nečistot, jeho odpařením a krystalizací, je získán krystalický parawolfram amonný pro redukci a výrobu práškového wolframu. Filtrační zbytek, alkalický louženec obsahující vedle wolframu také Ta a Nb, je jako cenná surovina prodáván zahraničním zpracovatelům. Technologie se vyznačuje nižší produkcí odpadů, nižší spotřebou vody a ekonomickou recirkulací kyseliny sírové. V současné chvíli tento závod již neexistuje. V České republice působí více podniků zaměřených na výkup tvrdokovového odpadu, přičemž společnost GTS Industry uvádí, že kromě výkupu zajišťuje také jeho recyklaci. O konkrétních recyklačních kapacitách, technickém vybavení a používaných technologiích však nejsou veřejně dostupné informace.

Kromě technologických nedostatků představuje významné omezení také absence systémové podpory. Chybí centralizovaný model sběru, zpětné logistiky a legislativních

pobídek, které by motivovaly průmyslové podniky i konečné uživatele k zapojení do cirkulární ekonomiky. Dále není rozvinutá infrastruktura pro řízené odstraňování tvrdých povlaků ani analytické platformy pro kvalifikaci recyklátů podle jejich složení a stupně kontaminace.

Naopak v zahraničí již fungují sofistikované uzavřené recyklační smyčky, které umožňují zpětný návrat recyklovaného WC–Co prášku přímo do výrobního cyklu bez omezujících požadavků na kvalitu a s výraznými environmentálními i ekonomickými přínosy. Tyto systémy nejen zajišťují efektivní separaci a regeneraci základních kovů, ale rovněž umožňují rekuperaci menšinových prvků (např. Ta, Nb, Ti), které jsou z hlediska materiálového inženýrství klíčové.

Například BMW Group provozuje ve svých závodech v Německu a Rakousku integrovaný recyklační cyklus zaměřený na karbidové nástroje. Každoročně zde dochází k recyklaci přibližně 9 tun odpadu, přičemž se ušetří přibližně 7 tun primárního wolframu. Díky této strategii se spotřeba energie snižuje o 70 % a emise CO₂ o více než 60 % oproti konvenční výrobě ze surovin vytěžených v prvovýrobě.

Společnost Sandvik Coromant provozuje vlastní výkupní a recyklační program, který zahrnuje sběr použitých nástrojů, jejich výměnu, zpracování metodou Zn-proces a chemickým dočištěním. Do roku 2025 si společnost klade za cíl zpětně získat 90 % všech nástrojů, které uvede na trh. Takto navržený program umožní snížení emisí CO₂ až o 64 % oproti výrobě z primárních surovin.

Dalšími významnými hráči jsou společnosti Plansee, Ceratizit a H.C. Starck, které implementovaly pokročilé uzavřené recyklační cykly. Tyto systémy zahrnují nejen regeneraci základních kovů (W, Co), ale rovněž cílené získávání a opětovné využití stopových prvků, jako jsou tantal, niob nebo titan. Tím dochází k maximalizaci využití materiálu, snížení environmentální zátěže a podpoře technologické soběstačnosti v rámci evropského trhu.

Z výše uvedeného je zřejmé, že Česká republika má značný potenciál pro rozvoj vlastních recyklačních kapacit, ať už v rámci spolupráce s mezinárodními partnery nebo skrze národní inovační programy. Implementace technologie Zn-proces či hydrometalurgie, doplněná o digitalizovaný systém zpětného sběru nástrojů, by umožnila vytvoření lokálních uzavřených smyček a posílila by konkurenceschopnost tuzemského strojírenství. Významnou roli může sehrát rovněž univerzitní výzkum, který přispívá k vývoji environmentálně šetrných a průmyslově škálovatelných recyklačních řešení. Pro jejich efektivní nasazení je však nutná aktivní podpora státní politiky a propojení výzkumných institucí s aplikační sférou.

Seznam použité literatury:

Cobalt in the Democratic Republic of the Congo: Data Insights. (2024). Mining-Technology. Dostupné z <https://www.mining-technology.com/data-insights/cobalt-in-the-democratic-republic-of-the-congo/>. Shedd, K. B. (2025). Tungsten. In Metals and Minerals: U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2021 (Vol. 1). Reston, VA: U.S. Geological Survey. Dostupné z <https://pubs.usgs.gov/myb/vol1/2021/myb1-2021-tungsten.pdf>.

- Lo, S. C., Cheng, T. M., Hu, C. C., & Lai, C. H. (2023). Separation of tungsten and cobalt from cemented tungsten carbide by rapid breakdown anodization. *Separation and Purification Technology*, 310, 123140.
- Kang, H., Li, J., Zhang, C., Lu, J., Wang, Q., & Wang, Y. (2020). Study of the electrochemical recovery of cobalt from spent cemented carbide. *RSC Advances*, 10(36), 22036–22042.
- Sun, F., Huo, T., Sun, T., Liu, X., Chen, X., Li, J., He, L., Sun, Z., & Zhao, Z. (2024). Kinetics study on oxidization process of cemented carbide scrap. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 10, 2282–2293.
- Lee, J., Kim, M., Kim, S., Ahn, Y., Lee, B., & Lee, D. (2021). Facile recycling of cemented tungsten carbide soft scrap via mechanochemical ball milling. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 100, 105645.
- Furberg, A., Arvidsson, R., & Molander, S. (2019). Environmental life cycle assessment of cemented carbide (WC-Co) production. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1126–1138.
- Byun, S. Y., Park, J. S., Kang, J. H., Seo, S., Tran, T., & Kim, M. J. (2021). Recovery of tungsten and cobalt from cemented tungsten carbide wastes using carbonate roasting and water leaching. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(6), 711–720.
- Gao, F., Liao, B., Li, W., & Yu, R. (2025). WC recovery from waste cemented carbides by tailored oxygen-containing molten salt electrorefining. *Journal of Alloys and Compounds*, 1037, 182562.
- Gaspar, D. E. P. (2021). Electrodialytic recovery of tungsten and cobalt from an industrial residue: Preliminary assessment (Master's thesis). Universidade NOVA de Lisboa. <https://hdl.handle.net/10362/128165>.
- Lee, J.-c., Kim, E.-y., Kim, J.-H., Kim, W., Kim, B.-S., & Pandey, B. D. (2011). Recycling of WC–Co hardmetal sludge by a new hydrometallurgical route. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29(3), 365–371.
- Denkena, B., Dittrich, M.-A., Liu, Y., & Theuer, M. (2018). Automatic regeneration of cemented carbide tools for a resource efficient tool production. *Procedia Manufacturing*, 21, 259–265.
- Katiyar, P. K., & Randhawa, N. S. (2020). A comprehensive review on recycling methods for cemented tungsten carbide scraps highlighting the electrochemical techniques. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 90, 105251.
- Liu, S., Song, S., Tang, K., & Ye, L. (2025). Efficient separation and recovery of cobalt from grinding waste of cemented carbide using a sulfuric acid–sodium persulfate mixed solution. *Hydrometallurgy*, 231, 106419.
- International Tungsten Industry Association. (2024). Recycling of hardmetals. Dostupné z <https://www.itia.info/>.

BMW Group (2021). BMW Group builds closed-looped recycling system. Dostupné z <https://www.press.bmwgroup.com/south-africa/article/detail/T0335858EN/bmw-group-creates-closed-loop-material-cycle-for-tungsten-production-tools-to-protect-valuable-resources>.

Sandvik Group. (2023). A world-first recycling scheme. Dostupné z [from https://www.home.sandvik/en/stories/articles/2023/06/a-world-first-recycling-scheme/](https://www.home.sandvik/en/stories/articles/2023/06/a-world-first-recycling-scheme/).

Plansee Group. (2023). Tungsten supply – secure with recycling. R Dostupné z <https://plansee-group.com/en/articles/detail/tungsten-supply>.

Ceratizit Group. (2022). Well supplied in the future – recycling tungsten carbide. Dostupné z [from https://www.ceratizit.com/int/en/sustainability/blog/2022/blogposting-well-supplied-in-the-future-.html](https://www.ceratizit.com/int/en/sustainability/blog/2022/blogposting-well-supplied-in-the-future-.html).

Ceratizit Group. (2023). Environment and sustainability. Dostupné z <https://www.ceratizit.com/int/en/sustainability/regulatories/environment.html>

H.C. Starck Tungsten Powders. (2023). Recycling – part of our sustainability strategy. Dostupné z <https://www.hcstarck.com/en/sustainability/recycling>.

5.3.2 Metody a postup řešení

VA3.3/1 Předúprava a separace odpadních WC-Co nástrojů (VŠB-TUO/FMT, SD)

- Komplexní charakterizace vstupních odpadních materiálů, zahrnující stanovení velikosti částic, mikrostrukturních parametrů (velikost zrna WC, podíl pojiva Co) a identifikaci kontaminantů (tvrdé povlaky, zbytky brusiva, maziva, oleje).
- Návrh metodiky sběru a třídění odpadních WC–Co nástrojů s využitím kombinace *in-situ* měřitelných parametrů (obsah pojiva Co – XRF/LIBS, přítomnost povlaků – optická a spektrální detekce, klasifikace typu komponentu dle aplikační oblasti) a *ex-situ* ověřovaných mikrostrukturních charakteristik (velikost zrna WC).
- Vývoj a experimentální ověření metod šetrného odstraňování PVD/CVD povlaků (TiN, TiAlN, Al₂O₃) s využitím chemických, elektrochemických a řízených pyrometalurgických postupů, s cílem zachovat integritu WC–Co substrátu a minimalizovat vznik kontaminantů.

VA3.3/2 Optimalizace Zn-procesu (VŠB-TUO/FMT)

- Studium difuzních a fázových procesů probíhajících při zinkové desintegraci (teplota 900–1000 °C, doba expozice, množství Zn).
- Hodnocení vlivu složení odpadních materiálů na účinnost a kvalitu recyklátu.
- Návrh parametrů procesu pro dosažení vysoké výtěžnosti a konzistentní kvality recyklovaného prášku.

VA3.3/3 Hydrometalurgické postupy pro jemné frakce (ÚCHP, VŠCHT/FCMT-ÚKMKI)

- Testování vhodných loužicích činidel (H_2SO_4 , HNO_3 , alkalické roztoky) a oxidačních přísad.
- Optimalizace parametrů loužení (teplota, čas, koncentrace) a selektivní separace W a Co.
- Vyhodnocení environmentálních dopadů, možnost recirkulace činidel a minimalizace odpadních vod.

VA3.3/4 Charakterizace a kvalita recyklátu (VŠB-TUO/FMT, CENIA)

- Analýza chemického složení, morfologie, velikosti částic, obsahu nečistot a homogenity recyklovaných WC–Co směsí.
- Komplexní hodnocení technologických vlastností recyklovaných WC–Co směsí relevantních pro práškovou metalurgii (sytná hustota, tekutost, kompresibilita).
- Predikce zpracovatelnosti a využitelnosti recyklovaných prášků na základě výsledků dilatometrie a termické analýzy (DTA/TGA), doplněná o porovnání s normativními požadavky na WC–Co směsi používané v práškové metalurgii.

Nástin činnosti pro roky 2029–2032:

Výzkum bude zaměřen na ověřování vyvinutých technologií v poloprovozním měřítku, přípravu podkladů pro standardizaci recyklovaných WC–Co prášků a testování jejich aplikační využitelnosti v práškové metalurgii. Součástí bude také výroba a testování nástrojů z recyklovaných prášků s cílem posoudit jejich vlastnosti v porovnání s nástroji z primárních surovin. Zároveň bude zvažováno využití vybraných inovativních přístupů, například kombinace Zn-procesu s elektrochemickými postupy nebo digitalizace při třídění a předúpravě, jejichž potenciál bude posouzen z hlediska průmyslové realizovatelnosti.

5.3.3 Výsledky a jejich uplatnění

V rámci řešení budou vyvinuty a ověřeny metodiky a technologické postupy pro recyklaci odpadních slinutých karbidů na bázi WC–Co se zaměřením na získání vysoce kvalitních recyklovaných prášků vhodných pro práškovou metalurgii. Součástí výsledků bude komplexní metodika sběru, třídění a předúpravy odpadních slinutých karbidů, zahrnující šetrné odstraňování povlaků (PVD/CVD), dále optimalizovaný Zn-proces ověřený v poloprovozním měřítku a hydrometalurgické postupy určené pro jemné frakce.

Hlavním výstupem budou funkční vzorky recyklovaných WC–Co prášků s definovanými vlastnostmi, zahrnujícími zejména chemické složení, granulometrické rozdělení a vybrané technologické parametry. Tyto parametry umožní posouzení jejich využitelnosti v práškové metalurgii a porovnání s požadavky platných norem i komerčně dostupnými primárními surovinami.

Výsledky budou přímo aplikovatelné výrobcí práškových směsí a zpracovateli slinutých karbidů, kteří je mohou využít pro efektivní začlenění recyklovaných surovin do výrobních

procesů a tím snížit podíl primárních zdrojů. Zároveň poskytnou podklady pro tvorbu standardizovaných metodik recyklace odpadních slinutých karbidů, což bude přínosné nejen pro průmyslovou praxi, ale také pro státní správu při nastavování politik v oblasti nakládání s kritickými surovinami.

Tímto způsobem řešení přispěje k efektivnímu využívání domácích zdrojů wolframu a kobaltu, snížení závislosti na dovozech a k naplnění cílů oběhového hospodářství a surovinové bezpečnosti.

Hlavní výsledky v rámci WP3.3 tedy budou tyto:

WP3.3/1 Předúprava odpadních WC–Co nástrojů (06/2027), typ výsledku: O – ostatní výsledek

Výzkumná zpráva bude obsahovat návrh metodiky předúpravy odpadních WC–Co nástrojů. Zpráva zahrne výsledky charakterizace vstupních materiálů, identifikaci typických kontaminantů a návrh postupů pro šetrné odstraňování tvrdých povlaků. Součástí bude rovněž doporučení optimálních variant předúpravy, které umožní získat homogenní vstupní materiál vhodný pro následné recyklační procesy.

Způsob uplatnění: Návrh metodiky bude v navazujícím výzkumu sloužit jako vstupní podklad pro optimalizaci Zn-procesu, čímž přispěje k dosažení vyšší výtěžnosti a čistoty recyklátu. V průmyslové praxi mohou doporučené postupy předúpravy představovat podklad pro definování technologických parametrů sběru a přípravy odpadních WC–Co materiálů před vlastním recyklačním procesem.

WP3.3/2 Publikace v impaktovaném časopise (12/2028), typ výsledku: Jimp

Článek zaměřený na optimalizaci Zn-procesu pro efektivní recyklaci slinutých karbidů na bázi WC–Co.

Způsob uplatnění: Výsledky budou využitelné pro vědeckou komunitu i jako podklad pro další výzkum a technologický rozvoj v oblasti cirkulární ekonomiky.

WP3.3/3 Recyklovaný práškový materiál WC–Co pro aplikace v práškové metalurgii (12/2028), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk)

Funkční vzorek recyklovaného WC–Co prášku získaného optimalizovaným Zn-procesem. Vzorek bude charakterizován z hlediska chemického složení, morfologie, velikosti částic, obsahu nečistot a technologických vlastností (sypná hustota, tekutost, kompresibilita). Parametry funkčního vzorku budou porovnány s komerčně dostupnými primárními WC–Co prášky a s požadavky relevantních norem pro práškovou metalurgii.

Způsob uplatnění: Funkční vzorek bude sloužit jako ověření praktické využitelnosti recyklovaného WC–Co prášku pro práškovou metalurgii. Výsledky umožní průmyslovým partnerům a výrobcům tvrdokovových materiálů posoudit možnost začlenění recyklátu do výrobních procesů a tím snížit závislost na primárních surovinách. Výstup zároveň poskytne podklad pro další vývoj průmyslových recyklačních linek a pro tvorbu metodických doporučení či standardů kvality recyklovaných prášků.

Práva k výsledkům:

Každému účastníkovi projektu náleží podíl na výsledku výzkumu a vývoje v rozsahu odpovídajícím jeho skutečnému přínosu k jeho vzniku. Konkrétní dohoda o výši jednotlivých podílů bude mezi účastníky uzavřena po dokončení a vzniku výsledku.

5.3.4 *Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní zprávě*

Vyvinuté metodiky a technologické postupy pro recyklaci odpadních WC–Co materiálů budou mít přímé uplatnění v průmyslové praxi, zejména u výrobců obráběcích, vrtacích a tvářecích nástrojů ze slinutých karbidů (např. Dormer Pramet s.r.o.). Ověřené postupy sběru, třídění a předúpravy materiálů, včetně šetrného odstranění povlaků, umožní efektivnější zapojení recyklovaných surovin do výrobních řetězců a snížení závislosti na dovozu primárních surovin. Optimalizovaný Zn-proces a doplňkové hydrometalurgické postupy pro jemné frakce poskytnou výrobcům flexibilní cesty k zajištění stabilních a kvalitních zdrojů prášků pro následnou výrobu. Funkční vzorky recyklovaných prášků s definovanými vlastnostmi budou představovat referenční materiál, který prokáže jejich vhodnost pro průmyslové využití.

Výstupy mají rovněž významný potenciál pro státní správu a strategické plánování v oblasti kritických surovin. Databáze kvalitativních parametrů recyklovaných WC–Co prášků spolu s metodikami recyklace umožní zpřesnit odhady dostupnosti druhotných zdrojů wolframu a kobaltu v ČR. Tyto podklady budou cenné pro implementaci evropské legislativy (zejména CRM Act a Circular Economy Act) a pro přípravu, resp. aktualizaci národních strategií podporujících recyklaci a rozvoj cirkulární ekonomiky. Zároveň posílí schopnost ČR reagovat na geopolitická rizika a přispějí k posílení surovinové soběstačnosti v klíčových odvětvích.

5.3.5 *Harmonogram řešení*

Ganttův diagram pro WP3.3 je uveden níže spolu s milníky.

Úkol / výzkumná aktivita	2026				2027				2028			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP3.3												
VA3.3/1												
VA3.3/2												
VA3.3/3												
VA3.3/4												
Výstupy												

Milníky

- M3.3/1 – 06/2027 - Dokončena metodika sběru, třídění a předúpravy odpadních WC–Co nástrojů včetně ověřených postupů šetrného odstraňování povlaků.
- M3.3/2 – 12/2028 - Vyroben funkční vzorek recyklovaného WC–Co prášku s definovanými vlastnostmi pro práškovou metalurgii a uzavřena databáze kvalitativních parametrů recyklátu.

6 WP4 Elektroodpady a odpadní Li-ion baterie

Vedoucí WP: Kateřina Skotnicová, VŠB TUO/FMT.

Další řešitelé včetně organizace: Vladimír Kočí a Hong Vu, VŠCHT; Jitka Malcharcziková, a Omar Ameir, VŠB-TUO; Martin Pavlas, Radovan Šomplák, VUT v Brně; Karel Šíma, ASEKOL a.s.; Karolína Jindřiška Nová, CENIA; Petra Kameníková a Michal Šyc, ÚCHP AV ČR.

Cíle řešení

Evropský Akt o kritických surovinách (CRMA, Nařízení (EU) 2024/1252) a Surovinová politika ČR zdůrazňují potřebu efektivního využívání domácích sekundárních zdrojů a snižování závislosti na dovozech z geopoliticky rizikových oblastí. Hlavní cíle WP4 reagují na tyto strategické dokumenty a zaměřují se na recyklaci elektroodpadů a odpadních Li-ion baterií jako významných sekundárních zdrojů kritických surovin.

Hlavním cílem WP4 je tedy vývoj, testování a ověření technologických postupů pro získávání kritických surovin ze dvou významných skupin sekundárních zdrojů, a to konkrétně z:

- odpadních elektrozařízení (WP4.1), se zaměřením na systematické mapování výskytu CRM, predikci jejich recyklačního potenciálu a recyklaci Nd-Fe-B magnetů metodami práškové metalurgie s cílem demonstrovat proces „magnet-to-magnet“, a
- odpadních Li-ion baterií (WP4.2), se zaměřením na separaci a čištění black mass, optimalizaci fyzikálně-mechanických a termických postupů úpravy a přípravu funkčních vzorků katodových a anodových materiálů („battery grade“) jako průkazu jejich průmyslové využitelnosti.

Dílčí cíle WP4 jsou pak následující:

- Systematické mapování výskytu CRM v elektroodpadech a identifikace klíčových výrobních skupin s ohledem na jejich recyklační potenciál v podmínkách ČR.
- Vývoj a ověření technologických postupů pro separaci a recyklaci proudů s vysokým obsahem CRM, včetně návrhu procesních schémat recyklačních linek a jejich poloprovozního testování.
- Recyklace Nd-Fe-B magnetů metodami práškové metalurgie s cílem demonstrovat proces „magnet-to-magnet“ od separace až po výrobu nových magnetů.
- Ověření možností separace a čištění black mass z odpadních Li-ion baterií za účelem získání vysoce kvalitních katodových a anodových materiálů.
- Optimalizace fyzikálně-mechanických a termických postupů úpravy black mass pro efektivní získávání CRM (Li, Co, Ni), včetně zpracování LFP baterií.
- Příprava funkčních vzorků recyklovaných katodových a anodových materiálů („battery grade“) jako průkazu jejich průmyslové využitelnosti.
- Návrh zapojení výsledků do digitálních pasů a ESG reportingu, včetně vypracování odborných doporučení pro státní správu, průmysl a vzdělávací instituce.

Na vyšší úrovni směřuje WP4 k posílení surovinové soběstačnosti České republiky a Evropské unie prostřednictvím efektivního využívání domácích sekundárních zdrojů namísto dovozu z geopoliticky rizikových oblastí. Projekt přispěje k naplnění klimaticko-energetických závazků EU, zejména Zelené dohody pro Evropu a programu Fit for 55, a to díky snižování uhlíkové stopy recyklačních procesů a podpoře dekarbonizace průmyslu. Významným přínosem bude rovněž podpora rozvoje cirkulární ekonomiky v oblasti elektroodpadu a baterií prostřednictvím integrace principů ekodesignu, digitálních pasů a ESG reportingu. WP4 současně vytvoří znalostní a metodickou základnu pro rozvoj nových hodnotových řetězců a kvalifikačních kapacit v oblasti recyklace, čímž připraví podmínky pro budoucí průmyslový transfer výsledků a posílení strategických recyklačních kapacit.

6.1 WP4.1 Elektroodpady

Vedoucí WP: Karel Šíma, ASEKOL

Další řešitelé včetně organizace: Vladimír Kočí a Hong Vu, VŠCHT Praha; Martin Pavlas, Radovan Šomplák, VUT v Brně; Jitka Malcharcziková, Kateřina Skotnicová a Omar Ameir – VŠB-TUO; Michal Šyc, ÚCHP AV ČR; Karolína Jindřiška Nová – CENIA; Pavel Dalecký – TVAR COM.

Cíle řešení

Cílem řešení je navrhnout, ověřit a optimalizovat integrované technologické a analytické přístupy k recyklaci elektroodpadů jako významného sekundárního zdroje kritických surovin (CRM), s důrazem na mapování toků, zpracování klíčových frakcí a zajištění environmentální, ekonomické a socioekonomické udržitelnosti těchto procesů.

Cílem je zejména:

- Provést systematické mapování výskytu kritických surovin (CRM) v odpadních elektrozařízeních, identifikovat klíčové výrobní skupiny jako sekundární zdroje a ověřit jejich zastoupení v podmínkách ČR prostřednictvím kombinace analytických dat, odběrů vzorků a testování na třídících linkách.
- Vypracovat prediktivní model časového vývoje zastoupení CRM v elektroodpadech v návaznosti na technologický vývoj, uvádění výrobků na trh a jejich životnost, jako nástroj pro odhad budoucího recyklačního potenciálu a pro strategické materiálové plánování.
- Vyvinout a ověřit nové technologické postupy pro separaci a recyklaci vybraných typů elektroodpadu s vysokým podílem CRM nebo specifických frakcí se zvýšeným obsahem CRM (např. reproduktory, tištěné spoje, směsné plasty), včetně návrhu orientačních materiálových bilancí a pilotního ověření jejich technické proveditelnosti.
- Vyvinout a ověřit integrovaný proces „magnet-to-magnet“ recyklace Nd-Fe-B magnetů zahrnující cílenou separaci, předúpravu a následnou výrobu nových magnetů z recyklovaného prášku s vysokými magnetickými vlastnostmi, při

zachování hodnotového řetězce a minimalizaci ztrát kovů vzácných zemin (Nd, Dy, Pr).

- Zajistit environmentálně a socioekonomicky udržitelný rámec recyklace elektroodpadu prostřednictvím komplexního hodnocení dopadů (LCA/MFA), návrhu scénářů dekarbonizace, integrace výsledků do digitálních pasů a ESG reportingu, hodnocení dopadů na trh práce a návrhu legislativních a strategických doporučení pro státní správu a průmysl.
- Podpořit rozvoj principů ekodesignu a opravitelnosti elektrozařízení prostřednictvím identifikace technických a systémových bariér recyklace, návrhu vhodných motivačních strategií a doporučení pro konstrukci výrobků s prodlouženou životností, snadnou demontáží a vyšší mírou využití druhotných surovin.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI4.1/1 Vytvořen a validován prediktivní model časových změn obsahu CRM na základě ≥ 50 analyzovaných vzorků.
- KPI4.1/2 Ověřeny postupy separace a recyklace v poloprovozním měřítku (kg) s účinností ≥ 70 %.
- KPI4.1/3 Realizován poloprovozní proces „magnet-to-magnet“ a vyrobeny min. 2 funkční vzorky s magnetickými vlastnostmi ≥ 85 % primárních komerčních magnetů.
- KPI4.1/4 Dokončena komplexní integrovaná studie (LCA/MFA, uhlíková stopa, socioekonomické dopady) a vypracována sada doporučení pro státní správu a průmysl.

6.1.1 Popis současného stavu

Odpadní elektrická a elektronická zařízení (OEEZ, elektroodpad)

Problematika sběru a následného efektivního zpracování a využití odpadních elektrických a elektronických zařízení (odpadní elektrozařízení, elektroodpad) je v současné době řešena, nicméně je nutné tuto oblast rozvinout a posílit na všech úrovních, kterých se to týká. Je dán základní legislativní rámec pro oblast nakládání s tímto typem zařízení a následně odpadů a jsou také stanoveny cíle a požadavky na evropské i národní úrovni, které by měly napomoci zvládnout situaci s odpadními elektrozařízeními. S ohledem na vážnost situace s nedostatečnou přípravou státu pro dosažení požadovaných cílů do roku 2030 je nutné co nejrychleji posílit tuto oblast odpadového hospodářství jak formou teoretického poznání, tak i praktickými řešeními v jednotlivých krocích procesu nakládání s elektroodpadem. Na odpadní elektrozařízení je nutné pohlížet ne jako na jeden homogenní odpadový tok, ale je nutné respektovat právě rozdílnost jednotlivých typů a druhů elektrozařízení a cíleně hledat cesty k minimalizaci vzniku elektroodpadu.

V rámci EU se oblast nakládání s odpadními elektrickými a elektronickými zařízeními (OEEZ) odpady řeší na základě „Směrnice 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních“. Recyklace elektroodpadu v Evropské unii vykazuje značný nesoulad mezi legislativními cíli a jejich praktickou realizací. V roce 2022 bylo na trh EU uvedeno přibližně 14,4 milionu tun elektrických a elektronických zařízení, avšak sesbíráno bylo pouze kolem 5 milionů tun, což odpovídá míře sběru 40,6 %. Tento výsledek výrazně zaostává za cílovou hodnotou 65 %, která je definována ve směrnici 2012/19/EU o odpadech z elektrických a elektronických zařízení. Přestože v letech 2014–2019 došlo k postupnému nárůstu míry sběru z 38,6 % na 48,6 %, po roce 2019 nastal pokles, který nadále pokračuje. Tento nepříznivý trend je problematický zejména proto, že elektroodpad představuje nejrychleji rostoucí tok odpadu v EU, s meziročním nárůstem přibližně 2 %. Jedním z faktorů, které komplikují dosažení stanovených kvót, je samotná metodika jejich výpočtu. Sběrná kvóta je odvozována od průměrné hmotnosti elektrických a elektronických zařízení uvedených na trh v předchozích třech letech. Tento přístup nereflektuje reálnou životnost výrobků ani cyklické výkyvy trhu. V případě prudkého nárůstu prodeje určitého sortimentu (např. informačních technologií během pandemie COVID-19 či klimatizačních jednotek v důsledku rostoucích teplotních extrémů) je nereálné očekávat, že již po třech letech se podaří dosáhnout sběru 65 % uvedených výrobků na trh. Dalším faktorem je tzv. duální použití, kdy některá zařízení mohou sloužit jak v domácnostech, tak v průmyslu. Pokud jsou tato zařízení využívána v průmyslových aplikacích, obvykle se nedostávají do kolektivních systémů zpětného odběru, ale do jiných odpadových toků. Tím se snižuje množství oficiálně vykazovaného sběru. Typickým příkladem jsou telekomunikační či síťové prvky, které se prodávají jako spotřební elektronika, ale v praxi často končí v průmyslovém prostředí. Z hlediska kvality recyklačních procesů je situace rovněž neuspokojivá, jelikož pouze přibližně 23 % recyklačních zařízení splňuje vysoké standardy nakládání s elektroodpadem, což zásadně omezuje efektivní využívání druhotných a kritických surovin. Evaluace Směrnice 2012/19/EU provedená Evropskou komisí identifikovala několik klíčových nedostatků: nízkou míru sběru, nerovnoměrné standardy nakládání mezi členskými státy, fragmentovanou implementaci rozšířené odpovědnosti výrobců (Extended Producer Responsibility, EPR) a nedostatečné zaměření na recyklaci CRMů. Na základě identifikovaných nedostatků byla přijata směrnice (EU) 2024/884, kterou musí členské státy převést do svých národních právních řádů nejpozději do 9. října 2025. Novela zpřesňuje definici povinností výrobců, rozšiřuje kategorie zahrnující například fotovoltaické panely a stanovuje povinnosti v oblasti značení zařízení podle normy EN 50419:2022. Do 31. prosince 2026 má Evropská komise navíc předložit návrh legislativní revize směrnice 2012/19/EU, podložený hodnocením socioekonomických a environmentálních dopadů. Paralelně je připravován širší legislativní rámec v rámci Circular Economy Act, jehož cílem je harmonizovat procesy nakládání s OEEZ, zvýšit efektivitu sběru, recyklace a návratnosti CRMů a posílit tak principy cirkulární ekonomiky.

V České republice je hlavním legislativním dokumentem pro oblast elektrických a elektronických zařízení (EEZ) „zákon č. 542/2020 Sb. o výrobcích s ukončenou životností“. V tomto zákoně jsou stanoveny základní pojmy, pravidla pro uvádění elektrozařízení na trh, pro jejich zpětný odběr, opětovné používání a také zpracovávání odpadních EEZ. Dále jsou

zde uvedeny pravidla pro financování nakládání s elektrozařízeními a povinnosti výrobců, posledních prodejců a distributorů, a také zpracovatelů OEEZ. Podrobnosti jsou uvedeny ve „vyhlášce č. 16/2022 Sb., o podrobnostech nakládání s některými výrobky s ukončenou životností“. K této oblasti se dále vztahují další legislativní dokumenty včetně „zákona o odpadech 541/2020 Sb.“.

Systém nakládání s elektroodpadem v České republice stojí na zákoně č. 542/2020 Sb. a principech rozšířené odpovědnosti výrobce; dohled vykonává Ministerstvo životního prostředí a kontrolu Česká inspekce životního prostředí. Od roku 2021 jsou cíle sběru a recyklace vázány přímo na výrobce a jejich kolektivní systémy, které fungují neziskově a z recyklačních příspěvků financují sběr, logistiku, zpracování i osvětu. Transparentní uvádění příspěvků na účtenkách pomáhá omezovat tzv. free-ridery. Obce zajišťují síť sběrných míst na základě nediskriminačních smluv, přičemž náklady na svoz a zpracování nesou výrobci.

Stěžejní úlohu zde sehrávají kolektivní systémy (např. ASEKOL, Elektrowin, REMA Systém, Ekolamp či Retela), které na základě principu rozšířené odpovědnosti výrobců zajišťují sběr, logistiku, financování a následné zpracování elektroodpadu. Díky nim disponuje Česká republika jednou z nejhustších sítí sběrných míst v Evropě a zároveň nabízí občanům širokou paletu služeb od červených kontejnerů na drobný elektroodpad až po specializované programy pro domácnosti a obce. Infrastruktura patří k nejhustším v EU (sběrné dvory, prodejny, veřejné kontejnery a in-store boxy) a doplňují ji pohodlné služby typu „Rebalík“ pro drobná zařízení a „Buď líný“ pro svoz z domácností.

Na výkonnost systému mají vliv moderní zpracovatelské kapacity s povinnou certifikací WEEELABEX, které kombinují ruční demontáž a automatické třídění a zaměřují se na získávání druhotných i kritických surovin (např. měď, hliník, zlato, stříbro či neodym). Sběr v posledních letech roste a v roce 2023 dosáhl historického maxima okolo 172 tisíc tun; v přepočtu na obyvatele patří ČR dlouhodobě k lepším zemím v EU. Recyklace přináší významné environmentální úspory (energie, voda, emise CO₂) a také sociální přínosy díky spolupráci s chráněnými dílnami a vzdělávacími programy.

Zásadními riziky však zůstávají nelegální sběr a vývoz elektroodpadů mimo oficiální systém, nízká návratnost malých spotřebičů a rychlý technologický obrat zkracující životnost výrobků. Prioritou je proto důsledná vymahatelnost pravidel a přeshraniční spolupráce, rozvoj pohodlných logistických kanálů pro domácnosti, cílená osvěta zaměřená na malé EEZ a baterie a pokračující investice do technologií, které zlepší výtěžnost kritických surovin v souladu s Plánem odpadového hospodářství ČR 2025–2035.

Na základě provedené analýzy lze doporučit čtyři klíčové směry dalšího rozvoje: posílení kontroly a legislativy, včetně důsledného uplatňování povinnosti uvádět recyklační příspěvky a posílení pravomocí kontrolních orgánů; inovace v logistice, zejména rozšiřování služeb jako „Rebalík“ a svoz z domácností; cílenou osvětu, zaměřenou především na malé spotřebiče a baterie s důrazem na jejich ekologickou i ekonomickou hodnotu; a konečně podporu technologického rozvoje, tedy investice do pokročilých recyklačních technologií pro efektivní získávání kritických surovin. Tyto kroky posílí konkurenceschopnost a stabilitu českého systému a zároveň přispějí k plnění evropských cílů cirkulární ekonomiky.

Směrnice 2012/19/EU je stěžejním dokumentem, který vymezuje požadavky na sběr a využití odpadních elektrozařízení pro všechny státy EU, čímž by měl být zajištěn vyšší podíl elektroodpadů jako vstup pro přípravu na opětovné využití, recyklaci nebo jiné využití. V příloze 5 této směrnice jsou uvedeny minimální cíle využití odpadních elektrozařízení pro jednotlivé kategorie (skupiny) 1-6 OEEZ. V případě OEEZ spadajících do kategorie 1 nebo 4 musí být využito 85 % a musí být připraveno k opětovnému použití a recyklováno 80 %; pro OEEZ spadajících do kategorie 2 musí být využito 80 % a musí být připraveno k opětovnému použití a recyklováno 70 %; pro OEEZ spadajících do kategorie 5 nebo 6 musí být využito 75 % a musí být připraveno k opětovnému použití a recyklováno 55 % a pro OEEZ spadajících do kategorie 3 musí být recyklováno 80 %. Tyto stanovené cíle pro využití odpadních elektrozařízení se propisují i do národní legislativy v zákoně č. 542/2020 Sb. o výrobcích s ukončenou životností a také jsou stanoveny další cíle pro nakládání s odpady v zákoně č. 541/2020 Sb. o odpadech. Je zde stanoveno, že je nutné: „Zvýšit do roku 2030 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 60 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky. Zvýšit do roku 2035 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 65 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky. Odstraňovat uložením na skládku v roce 2035 a v letech následujících nejvýše 10 % z celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.“, což se týká i odpadních elektrozařízení vznikajících na území obcí, ať již jako složky z odděleného sběru nebo směsného komunálního odpadu (zákon o odpadech, katalog odpadů). Strategické cíle odpadového hospodářství České republiky (ČR) jsou uvedeny v „Plánu odpadového hospodářství ČR 2025-2035“, který je v gesci Ministerstva životního prostředí. Jeho přílohou je pak „Ekonomická analýza Plánu odpadového hospodářství České republiky na období 2025-2035“, která popisuje náklady na zajištění bezpečného nakládání s odpady, naplňování hierarchie nakládání s odpady, přechod k cirkulární ekonomice a plnění závazných cílů vyplývajících z právních předpisů. Pro zajištění všech uvedených cílů je nutné zajistit navýšení zpětného odběru odpadních elektrozařízení vznikajících na území obcí (komunální odpady) a podporu specifických postupů vedoucích k využití odpadních elektrozařízení.

Dle Plánu odpadového hospodářství ČR 2025-2035 je nutné zvyšovat míru zpětného získávání kritických surovin obsažených v elektrozařízeních, což má být dosaženo pomocí těchto zásad:

- Aplikovat princip rozšířené odpovědnosti výrobců.
- Recyklovat maximální množství odpadních elektrozařízení v rámci ČR.
- Zajistit efektivní fungování kolektivních systémů pro vybraná elektrozařízení s dlouhou životností nebo nízkou ekonomickou hodnotou (např. solární panely).
- Přistupovat k odpadům elektrozařízení jako ke zdroji kritických surovin a přijímat opatření ke zvýšení získávání kritických surovin – kovů.“

Současné technologické a legislativní aspekty recyklace elektroodpadu v ČR

Česká republika disponuje moderní infrastrukturou pro zpracování a recyklaci elektroodpadu, která zahrnuje několik klíčových provozů s vysokou kapacitou a dostačující technologickou úrovní. Nejvýznamnějším zpracovatelem vybraných skupin OEEZ je firma ENVIROPOL s. r. o. v Jihlavě, který disponuje nejmodernější recyklační linkou svého druhu ve střední Evropě. Zpracovává desítky tisíc tun elektroodpadu ročně a dosahuje až 95 % materiálového využití. Technologický řetězec zahrnuje víceúrovňové drcení/mletí, magnetickou separaci a separaci vířivými proudy, elektrodynamický separátor, velikostní třídění a následné dělení na bázi hustoty. Součástí linky je rovněž odsávání a zpracování prachových frakcí, které jsou významným nositelem drahých kovů a dalších kritických surovin.

Dynamicky se rozvíjí také oblast recyklace fotovoltaických panelů. Společnost Technoworld (skupina Enviropol) disponuje více technologiemi pro jejich zpracování. Pro poškozené panely využívá linku založenou na frézování, zatímco japonská technologie tzv. horkého nože, kterou firma jako první v ČR zavedla, je určena výhradně pro nepoškozené panely. Tento postup umožňuje selektivní oddělení jednotlivých vrstev a tím i zvýšení čistoty výstupních frakcí, zejména skla, stříbra a křemíku. Další specializovanou linku na zpracování solárních panelů uvedla v roce 2024 do provozu společnost Dekonta v Kralupech nad Vltavou, s kapacitou 2 200 t/rok a deklarovaným materiálovým zhodnocením přibližně 84 %.

Z pohledu strategického významu představuje elektroodpad důležitý sekundární zdroj kritických surovin (CRM). Mezi klíčové komponenty patří permanentní magnety na bázi Nd-Fe-B, obsahující neodym (Nd), praseodym (Pr), dysprosium (Dy) a terbium (Tb). Tyto prvky vzácných zemin jsou nezbytné pro moderní technologie a jejich přítomnost v širokém spektru zařízení – od reproduktorů a pevných disků (HDD) po elektromotory a generátory – činí jejich recyklaci strategickou prioritou. Dalším významným zdrojem CRM jsou světelné zdroje, zejména luminofory v zářivkách a LED, které obsahují yttrium (Y), europium (Eu) a terbium (Tb), prvky přímo zařazené mezi kritické suroviny.

Pro následné zpracování odseparovaných frakcí z elektroodpadů se rozvíjejí zejména hydrometalurgické a pyrometalurgické postupy, vyvíjené na univerzitních a výzkumných pracovištích. Patří mezi ně loužení cínu a drahých kovů z PCB koncentrátů, elektrochemické dočištění ušlechtilých kovů (Ag, Au, Pd) či pyrometalurgická předúprava k odstranění organické složky. Důraz je kladen na optimalizaci postupů, např. použití určitých reagentů s ohledem na environmentální šetrnost a na ověřování škálovatelnosti v poloprovozních podmínkách.

Technologie recyklace elektroodpadu musí být posuzovány v souladu se Směrnicí o průmyslových emisích (2010/75/EU – IED) a s principy BAT (Best Available Techniques), vymezenými v referenčním dokumentu (BREF for Waste Treatment; 2018). Pro oblast elektroodpadu jsou dále závazné normy CENELEC EN 50625, implementované prostřednictvím certifikačního schématu WEEELABEX, které stanovují požadavky na procesy snížení stupně znečištění ŽP, evidenci toků a požadovanou kvalitu výstupních frakcí.

Významným doplněním legislativního rámce je také Basilejská úmluva o kontrole pohybu nebezpečných odpadů, která je platná pro ČR od roku 1993. Zásadní změna nastala od 1.1.2025, kdy byly nově elektroodpad zařazen jako A1181 (nebezpečný elektroodpad) a Y49 (ostatní elektroodpad). To znamená, že veškerý elektroodpad nyní spadá pod režim kontrolovaných přeprav a podléhá proceduře předchozího písemného oznámení a souhlasu (PIC). Vývoz mimo státy OECD je prakticky zakázán, výjimku mohou tvořit pouze země, které projdou procesem environmentálního ověření.

Tento rámec je posílen novým Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/1157 o přepravě odpadů (WSR), které zpřísňuje exportní režimy do nečlenských států OECD, zavádí povinné audity, elektronické sledování přeprav a jasný harmonogram postupného zpřísňování podmínek. Do února 2025 mohly země mimo OECD podat žádost o povolení dovozu některých nebezpečných odpadů; první seznam schválených zemí má být zveřejněn do listopadu 2026. Od května 2027 bude vývoz do všech ostatních států mimo OECD zakázán.

Praktickým důsledkem je, že vývoz elektroodpadu z EU mimo státy OECD je de facto ukončen. Tento krok má dvojí význam: jednak zajišťuje, že CRM obsažené v elektroodpadu zůstávají v rámci evropské recyklační infrastruktury, jednak otevírá nové příležitosti pro efektivní zpracování komponent, které byly dosud prodávány jako celek, typicky například elektromotory. U těchto zařízení byla ekonomická hodnota dlouhodobě spojována především s obsahem mědi, zatímco separace permanentních magnetů s obsahem kovů vzácných zemin se neprováděla. Nový legislativní rámec však vytváří tlak i prostor pro cílenou recyklaci magnetů a jejich navrácení do hodnotového řetězce.

Permanentní magnety na bázi kovů vzácných zemin a jejich recyklace

Permanentní magnety na bázi kovů vzácných zemin (KVZ), zejména Nd(RE)-Fe-B, představují klíčové funkční materiály nezbytné pro realizaci evropské zelené a digitální transformace. Díky svým výjimečným magnetickým vlastnostem nacházejí uplatnění především v elektromobilitě, systémech obnovitelných zdrojů energie, moderní elektronice a obranných aplikacích. Současně je však celý hodnotový řetězec těchto materiálů téměř zcela závislý na dovozech, převážně z Číny. Tato koncentrace dodávek představuje vážný strukturální problém, který ohrožuje stabilitu a bezpečnost dodavatelských řetězců a zásadním způsobem omezuje schopnost Evropy posilovat strategickou autonomii, rozvoj udržitelné energetiky a technologickou konkurenceschopnost. Evropská unie proto přijala Nařízení o kritických surovinách (CRMA), které stanovuje konkrétní kvantitativní cíle do roku 2030: nejméně 10 % roční spotřeby má být pokryto domácí těžbou, 40 % zpracováním v EU, 25 % recyklací a maximálně 65 % spotřeby může pocházet z jediné třetí země. Tyto cíle reflektují snahu EU snížit vysokou závislost na externích dodavatelích, zejména na Číně, která aktuálně ovládá přes 90 % trhu s magnety na bázi KVZ.

Ačkoli použití magnetů na bázi KVZ přináší z hlediska životního prostředí nesporné výhody, zůstávají zásadní otázky spojené s těžbou a primárním zpracováním vstupních surovin. Mezi hlavní problémy patří především nakládání s odpady a environmentální dopady těžebních činností. Zajištění stabilních a cenově dostupných dodávek kritických prvků se

tak stává prioritou nejen v oblasti technologií, ale také z hlediska ekonomické bezpečnosti a společenské stability.

Rostoucí poptávka po materiálech na bázi KVZ zdůrazňuje význam cirkulárního přístupu a systematického rozvoje recyklačních technologií. Podle CRMA má recyklace do roku 2030 pokrývat čtvrtinu evropské spotřeby, což vyžaduje zásadní rozvoj recyklačních kapacit. Tyto kapacity se musejí opírat o technologicky pokročilé procesy, které budou univerzálně aplikovatelné pro různé typy a složení vstupních materiálů, s nízkou spotřebou energie a chemických činidel a při minimalizaci vzniku sekundárních odpadů.

Strategický význam tohoto odvětví potvrzuje také dokument "Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action", připravený v rámci iniciativy ERMA / EIT Raw Materials. Zpráva upozorňuje na skutečnost, že ačkoli Evropa patří k lídrům ve výrobě elektromotorů, více než 90 % magnetů na bázi KVZ je stále dováženo z Číny. Dokument proto vyzdvihuje potřebu posílení evropské surovinové autonomie prostřednictvím diverzifikace zdrojů (kombinace primárních a sekundárních zdrojů), rozvoje recyklačních kapacit a cirkulární ekonomiky, technologických inovací, budování výzkumné infrastruktury, která by umožnila testování a pilotní provozy v oblasti zpracování a recyklace.

Recyklační technologie pro magnety na bázi KVZ jsou v současnosti rozvíjeny zejména na bázi pyrometalurgických a hydrometalurgických procesů a jejich kombinací. Tyto postupy prokazují vysokou účinnost při zpětném získávání kovů vzácných zemin z odpadních Nd-Fe-B magnetů a představují perspektivní směr k dosažení surovinové soběstačnosti Evropy a naplnění cílů stanovených CRMA.

Z technologického hlediska lze recyklaci magnetů na bázi kovů KVZ realizovat prostřednictvím celé řady pokročilých přístupů. Mezi nejefektivnější patří kombinované pyro- a hydrometalurgické procesy, zahrnující například nitridaci, po níž následuje nízkoteplotní kalcinace (~200 °C) a vodní loužení. Tyto postupy dosahují mimořádně vysokých výtěžností (95–100 % pro prvky Nd, Dy, Pr a Gd), přičemž jejich energetická náročnost zůstává relativně nízká. Významnou předností těchto metod je možnost regenerace použitých činidel a zároveň vznik průmyslově využitelných vedlejších produktů. Mechano-chemicky asistované loužení se síranem železitým umožňuje provádět stěžejní etapy procesu již při pokojové teplotě, s minimální spotřebou levných a snadno dostupných činidel. Tento postup eliminuje nutnost použití minerálních kyselin a tím i riziko vzniku emisí NO_x či SO₂, čímž významně zvyšuje environmentální udržitelnost procesu. Za slibnou je rovněž považována nízkoteplotní varianta chloridačního pražení s NH₄Cl (~300 °C), následovaného loužením vodou. Tento proces umožňuje získat vysoce čisté oxidy KVZ (≈99,2 %) a zároveň cenné vedlejší produkty (Fe₂O₃, Co). Podstatnou výhodou je eliminace tvorby kyselých odpadních vod díky využití vody jako loužicího činidla a možnost recyklace uvolněného amoniaku, což činí technologii nejen energeticky efektivní, ale i environmentálně šetrnou. Tyto směry jsou v souladu s aktuálními přehledovými studiemi, které systematicky porovnávají efektivitu přímých, pyro-, hydro- a elektrochemických recyklačních metod pro odpadní materiály na bázi Nd-Fe-B a potvrzují jejich zásadní roli v budoucí surovinové soběstačnosti a cirkulární ekonomice.

Při separaci prvků KVZ z komplexních odpadních materiálů se prosazují pokročilé metody. Extrakce na pevné fázi (SPE) s mezoporézním oxidem křemičitým funkcionalizovaným P/N-chelátory (např. EDTA či fosfonové skupiny) umožňuje selektivní získání Nd a Dy s čistotami přesahujícími 98 % a s vysokou reprodukovatelností. Tento přístup je aplikovatelný i pro heterogenní „urban-mine“ toky (LED, HDD, zářivky apod.) a prokázal efektivitu i v průmyslovém měřítku. Dynamicky se rozvíjí výzkum a aplikace iontových kapalin a hluboce eutektických rozpouštědel (DES), které jsou považovány za environmentálně příznivější alternativu k tradičně používaným minerálním kyselinám. Zvláště systémy založené na kombinaci cholinchloridu a kyseliny mléčné vykazují vysokou selektivitu při loužení KVZ, přičemž proces probíhá za mírných provozních podmínek a s výrazně nižším korozním účinkem vůči konstrukčním materiálům. Optimalizací procesních parametrů lze dosáhnout účinné separace neodumu a přípravy vysoce čistých oxidů, což potvrzuje technologický potenciál DES pro hydrometalurgické zpracování druhotných surovin.

Vodíkem asistovaná recyklace (HPMS – Hydrogen Processing of Magnetic Scrap, HD – Hydrogen Decrepitation, případně HDAD – Hydrogen Decrepitation-Ammonia Decomposition) představuje vysoce účinný směr přímé recyklace („direct recycling“). Princip spočívá v tom, že vodík difunduje do struktury slinovaných magnetů, kde reaguje s Nd-bohatými fázemi na hranicích zrn i v intergranulární oblasti. Tím dochází k objemovým změnám, které indukují dekrepitaci, tj. rozpad kompaktního materiálu na jemný, demagnetizovaný, hydrogenovaný prášek tvořený intersticiálním hydridem $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B} \cdot \text{H}_x$ a hydridem $\text{NdH}_{2.7}$. Tento prášek lze následně zpracovat na nové slinované nebo polymerem pojené magnety bez nutnosti úplného chemického rozkladu. Evropský projekt *SUSMAGPRO* prokázal škálovatelnou aplikovatelnost této technologie, zahrnující nejen samotný proces dekrepitace, ale i automatizovanou demontáž zařízení obsahujících magnety, jejich extrakci a výrobu demonstračních prototypů z recyklovaného materiálu. Současné mikrostrukturně-fázové charakterizace procesů HD při nízkých teplotách ukazují, že hydridizační mechanismus probíhá ve dvou krocích: (i) vodík se preferenčně absorbuje v Nd-bohaté intergranulární fázi, kde vytváří hydridy $\text{NdH}_{2.7}$ a způsobuje expanzi a oslabení vazeb mezi primárními zrny; (ii) částečná hydridizace hlavní intermetalické fáze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ vede k jejímu destabilizování a vzniku intersticiálního hydridu $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B} \cdot \text{H}_x$. Při dekompozici během ohřevu dochází k postupnému uvolňování vodíku z těchto fází. Řízením procesních parametrů, zejména teploty, parciálního tlaku vodíku a doby expozice, lze minimalizovat degradaci magnetických vlastností a získat jemnozrný, homogenní recyklovaný prášek. Tento prášek je následně vhodný pro výrobu vysoce výkonných permanentních magnetů na bázi kovů vzácných zemin.

Vedle konceptu přímé recyklace „magnet-to-magnet“ se stále intenzivněji řeší i využití výrobních a zpracovatelských odpadních zdrojů. Pro tyto zdroje byly vyvinuty postupy kouloužení a sekvenční precipitace, které umožňují téměř úplnou materiálovou bilanci, s výtěžností přibližně 98 % pro kovy vzácných zemin a 95 % pro železo, a to bez generace odpadních vod. Tato metoda významně posiluje ekonomickou efektivitu recyklačních procesů díky současnému získávání železa jako komerčně využitelného vedlejšího produktu. Další možnost představuje redukčně-difuzní zpracování obráběcích kalů při

teplotách okolo 1050 °C za přítomnosti chloridu vápenatého (CaCl_2), které umožňuje syntézu magnetické fáze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Takto připravený prášek vykazuje magnetické vlastnosti srovnatelné s komerčními slinovanými magnety, čímž se otevírá potenciál pro jeho průmyslové využití ve velkosériové výrobě. Značná pozornost je věnována také recyklaci aditivně vyráběných (bonded) magnetů, kde se jako efektivní ukázal proces kryogenního mletí následovaného lisováním za tepla. Tento postup vede ke zvýšení hustoty výsledného materiálu a k významnému zlepšení remanence i saturace magnetů při zachování jejich koercivity, přičemž zásadní výhodou je proveditelnost v běžných podmínkách bez nutnosti inertní atmosféry. Opakovaná „funkční“ recyklace (např. magnetů z přístrojů MRI) pak v dlouhodobých provozních testech prokázala, že i přes určité zhoršení textury a nárůst obsahu nečistot lze při vhodném řízení procesů práškové metalurgie dosáhnout parametrů srovnatelných s primárními produkty. Recyklované magnety přitom vykazují nižší environmentální i sociální stopu než výrobky z primárních surovin. Tyto závěry jsou v souladu s cíli a výsledky evropských výzkumných programů, zejména projektů CORDIS, které se zaměřují na uzavírání materiálových toků KVZ a rozvoj přímých i nepřímých recyklačních postupů (pyrometalurgických a hydrometalurgických). Tím se potvrzuje strategický význam integrace cirkulárních technologií do evropského hodnotového řetězce kritických surovin.

Na VŠB – Technické univerzitě Ostrava byl v rámci projektu [LTARF18031](#) realizován výzkum zaměřený na vývoj pokročilých permanentních magnetů na bázi (Nd,R)-Fe-B s nízkým obsahem těžkých kovů vzácných zemin ($\text{R} = \text{Pr}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$). Projekt se soustředil na fyzikálně-chemické a inženýrské aspekty návrhu magnetických materiálů s cílem snížit spotřebu kritických prvků bez ztráty funkčních vlastností. Recyklace magnetů byla řešena jako doplňková komponenta, zejména v kontextu snižování závislosti na primárních surovinách. Potenciál technologie „magnet-to-magnet“ byl ověřen jako perspektivní řešení s vysokým aplikačním potenciálem, schopné produkovat magnety z druhotných zdrojů bez nutnosti úplné rafinace na elementární kovy. V návaznosti na tyto výsledky je však nezbytné zaměřit další výzkum na standardizaci kvality recyklovaného prášku, optimalizaci teplotních a slinovacích podmínek pro různé typy vstupních směsí, a na minimalizaci kontaminantů (zejména kyslíku, niklu a mědi), které negativně ovlivňují vlastnosti výsledných produktů. Klíčové je rovněž rozvíjet separační a předúpravné technologie vhodné pro magnety z různých typů elektroodpadů a identifikovat technologické limity opakované recyklace s ohledem na změny mikrostruktury a jejich dopad na magnetické parametry. Dosažení těchto cílů bude nezbytné pro vytvoření průmyslově aplikovatelného a škálovatelného postupu, který umožní stabilní a kvalitní výrobu recyklovaných magnetů i pro náročné high-tech aplikace.

Pro rozvoj efektivního systému sběru výrobků na konci životního cyklu (end-of-life) a dosažení vysoké výťažnosti recyklace hraje zásadní roli také rámec regulačních a normativních opatření přesahujících působnost CRMA. Nedávná analýza JRC (Joint Research Centre/Společné výzkumné středisko) identifikovala opatření, která mohou zásadně zvýšit dostupnost a využitelnost magnetů na bázi KVZ v evropských hodnotových řetězcích. Patří mezi ně zejména povinné značení magnetů integrovaných v trakčních

motorech a zavedení konstrukčních standardů usnadňujících jejich demontáž, což výrazně zvyšuje míru jejich získávání z koncových produktů a následnou efektivitu recyklačních procesů.

Souhrnně lze konstatovat, že současné technologické portfolio zahrnuje přímé znovuzpracování (HPMS/HD), pyro- a hydrometalurgické přístupy (včetně nízkoteplotních chloridačních variant), pokročilé separační techniky (SPE, iontové a DES systémy) a zpracování průmyslových vedlejších zdrojů (kaly, výrobní odpady). Tyto směry se vyznačují důrazem na energetickou a chemickou efektivitu, kvalitu recyklátu a minimalizaci vedlejších proudů. Přesto přetrvávají zásadní výzvy, zejména v oblasti průmyslového škálování, standardizace vstupních surovin (feedstocků), návrhu výrobků s ohledem na recyklaci („design-for-recycling“) a ekonomické rentability procesů. Tyto aspekty reflektuje CRMA a související implementační nástroje, včetně zavádění statusu „strategických projektů“, jejichž cílem je urychlit komercializaci a průmyslové nasazení recyklačních technologií v evropském kontextu.

Environmentální a socioekonomické dopady recyklace elektroodpadů

Digitální pasy výrobků (Digital Product Passport, DPP) jsou elektronické záznamy s unikátním QR kódem nebo čipem, které obsahují údaje o složení, původu, uhlíkové stopě a recyklaci výrobku během celého jeho životního cyklu. Jejich cílem je sledovatelnost toků, zvýšení transparentnosti a usnadnění recyklace. V tomto kontextu hraje velmi důležitou roli Směrnice CSRD (2022/2464), zavádějící standardy ESRS pro zveřejňování informací o cirkularitě a dopadech na životní prostředí. Základním podkladem pro formální zavedení pasů byla také iniciativa Evropské komise Sustainable Products Initiative, v jejímž rámci je digitální pas chápán jako nástroj přechodu k oběhovému hospodářství. Ačkoli jsou metodiky LCA a MFA již dlouho zakotveny v normách ISO (14040/44, 14083), zůstává otevřenou otázkou, jak budou jejich výsledky integrovány do DPP a ESG reportingu. Dalším problémem je ochrana obchodního tajemství při sdílení dat a nutnost jejich aktualizace při opravě nebo opětovném použití. V tomto kontextu je úkolem projektu navrhnout metodu integrace výsledků LCA/MFA do digitálních pasů elektrozařízení a ukázat, jak mohou být tato data prakticky využita v rámci ESG/CSRD reportingu.

Nové recyklační technologie pro elektroodpad vytvářejí značnou poptávku po kvalifikované pracovní síle. Závody Hydrovolt (Norsko) a Northvolt Revolt (Švédsko) již vytvořily stovky pracovních míst v oblasti demontáže, hydrometalurgie a automatizace. Podle studie JRC (2022) publikované Úřadem pro publikace EU bude do roku 2030 potřeba 30–40 tisíc nových specialistů. Vzdělávací systém však zatím není připraven: chybí specializované programy pro nakládání s kritickými surovinami a bezpečnou recyklaci baterií.

Přes výše zmíněné Nařízení o kritických surovinách (CRMA, 2023/1605) je EU stále silně závislá na dovozu lithia, kobaltu a niklu z Číny a Konga. V roce 2025 Evropská komise schválila 47 strategických projektů v oblasti těžby a recyklace kritických surovin. Analýza německé výzkumné organizace Fraunhofer ISI (2025) přitom předpovídá, že recyklační kapacity Evropy překročí poptávku již v roce 2026. Přetrvávají však bariéry: vysoká volatilita cen, absence standardizace toků surovin a zdlouhavá povolenací řízení. Připravovaný

projekt je aktuální tím, že může nabídnout scénáře přínosu recyklace k dosažení cílů CRMA právě v regionálním a odvětvovém kontextu.

Výsledky Eurobarometru (2020) ukázaly, že více než 60 % obyvatel EU by odevzdávalo elektroodpad častěji, pokud by sběrná místa byla blíže. Navzdory existujícím systémům zůstává sběr malých zařízení pod cílovými hodnotami a část toků směřuje do nelegálního exportu. Zatím však chybí systematické srovnávací studie efektivity různých motivačních schémat. Je proto nutný další empirický výzkum, který by mohl navrhnout funkční strategie zapojení obyvatel i firem.

Legislativní rámec EU se rychle vyvíjí. Vedle, v tomto dokumentu několikrát zmíněného, Nařízení CRMA bylo přijato nové Nařízení o obalech (PPWR, 2023/2411) a probíhá revize, zde mnohokrát zdrojované, Směrnice WEEE. Podle Transport & Environment (2024) může recyklace do roku 2030 pokrýt až 25 % poptávky EU po kobaltu a až 14 % po lithiu. Jak bylo uvedeno výše, Fraunhofer ISI (2024) rovněž uvádí, že recyklační kapacity v EU rychle rostou a do roku 2026 dosáhnou cca 420 tis. tun/rok. V tomto kontextu hrají důležitou roli také výše uvedená schémata rozšířené odpovědnosti výrobce (EPR), která Evropská agentura pro životní prostředí považuje za klíčový nástroj pro zvýšení míry recyklace. Pro Českou republiku zůstávají klíčovými výzvami příprava infrastruktury pro DPP a adaptace národních mechanismů EPR na novou evropskou legislativu, o čemž podrobně informuje MŽP ČR (2023). Je proto nutné připravit praktická doporučení pro unifikaci procesů, podporu průmyslu a posílení dohledu.

Seznam použité literatury:

- European Union. (2012). Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal of the European Union. Dostupné z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>.
- European Commission. (2025a). Waste electrical and electronic equipment (WEEE). Dostupné z https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en.
- European Commission. (2022). Improved WEEE data give better picture of collection and recycling rates. Dostupné z https://environment.ec.europa.eu/news/improved-weee-data-give-better-picture-collection-and-recycling-rates-2022-12-07_en.
- European Commission. (2025b). Evaluation of Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment (WEEE): Staff working document. Dostupné z https://environment.ec.europa.eu/document/download/283a8659-7206-4d14-af2b-d65c2ea4c4f2_en?filename=SWD_2025_185_1_EN_dts_resume_evaluation_part1_v2.pdf.
- European Commission. (2025c). Final report: Study supporting the evaluation of Directive 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Dostupné z https://environment.ec.europa.eu/publications/final-report-study-supporting-evaluation-directive-201219eu-waste-electrical-and-electronic_en.

- European Commission. (2025d). WEEE responsibilities – Your Europe. Dostupné z https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/recycling-waste-management/weee-responsibilities/index_en.htm.
- Česká republika. (2020). Zákon č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností (ve znění účinném od 1. 7. 2025). Dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-542/zneni-20250701>.
- Česká republika. (2022). Vyhláška č. 16/2022 Sb., o podrobnostech nakládání s elektroodpady. Dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2022-16>.
- Ministerstvo životního prostředí ČR. (2025). Plán odpadového hospodářství ČR. Dostupné z <https://mzp.go.cz/cz/agenda/odpade-hospodarstvi-a-cirkularni-ekonomika/odpady/plan-odpade-hospodarstvi-cr>.
- Česká inspekce životního prostředí. (2025). Výroční zpráva ČIŽP za rok 2024. <https://www.cizp.gov.cz/sites/cizp.cz/files/2025-09/Vyrocní%20zpráva%20ČIŽP%20za%20rok%202024.pdf>.
- CENIA. (2025). Zpětný odběr elektrozařízení a oddělený sběr elektroodpadu. Dostupné z <https://cenia.gov.cz/odpade-a-obehove-hospodarstvi/zpetny-odber-elektro/>
- iMore.cz. (2025). Ekologie a odpovědnost. <https://www.imore.cz/cms/9519-ekologie-a-odpovednost>.
- https://mzp.gov.cz/system/files/2025-03/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni_2021-20230420.pdf
- <https://www.rema.cloud/>.
- WEEELABEX. (n.d.). Operators list. Dostupné z <https://www.weeelabex.org/operators-list/>
- Sběr a recyklace elektroodpadu v ČR rok od roku roste, s více než 170 000 tunami padaly rekordy. | Zajímej.se, použito září 2, 2025, Dostupné z <https://zajimej.se/sber-a-recyklace-elektroodpadu-v-cr-rok-od-roku-rostes-vice-nez-170-000-tunami-padaly-rekordy/>.
- Národní rada osob se zdravotním postižením ČR. (2025). Výroční zpráva 2024. Dostupné z https://nrzp.cz/wp-content/uploads/2025/06/vyrocní-zprava_2024_kompletni-pro-web.pdf.
- Ministerstvo životního prostředí ČR. (n.d.). Environmentální vzdělávání a poradenství. Dostupné z <https://mzp.gov.cz/cz/agenda/environmentalni-nastroje/environmentalni-vzdelavani-a-poradenstvi>.
- Zpravodajství24.cz. (2025). Za nelegální výkup elektroodpadu loni padaly pokuty až do výše 150 000 Kč. Dostupné z <https://zpravodajstvi24.cz/za-nelegalni-vykup-elektroodpadu-loni-padaly-pokuty-az-do-vyse-150-000-kc/>.
- Wired.cz. (2025). Světový objem elektroodpadu dosáhl kritického bodu. Dostupné z <https://www.wired.cz/clanky/svetovy-objem-elektroodpadu-dosahl-kritickeho-bodu>.

- REMA Systém. (2019). Češi v rámci sběrné sítě REMA vloni vytrídili téměř 17 000 tun elektroodpadu: Nejlépe je na tom Plzeň, nejhůře Vysočina [Tisková zpráva]. https://www.rema.cloud/uploads/Ke_stazeni/Pro_media/Tiskove_zpravy/2019/TZ_REMA_vysledky_za_2018.pdf.
- Česká republika. (2021). Vyhláška č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů). Dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8>.
- Česká republika. (2020). Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. Dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
- Reuters. (2024, June 27). In race to regain rare earth glory, Europe falls short of mineral goals. Dostupné z <https://www.reuters.com/markets/commodities/race-regain-rare-earth-glory-europe-falls-short-mineral-goals-2024-06-27/>.
- European Commission. (2023). Critical Raw Materials Act. Dostupné z https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en.
- European Commission. (2023). European Critical Raw Materials Act – Green Deal Industrial Plan. Dostupné z https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_en
- Reuters. (2024). Recycling kick is long-term solution to EU rare earths challenge. Dostupné z <https://www.reuters.com/markets/commodities/recycling-kick-long-term-solution-eu-rare-earths-challenge-2024-06-27>.
- Reuters. (2025). EU must reduce its rare earth reliance on China, says EU's Séjourné. Dostupné z <https://www.reuters.com/world/china/eu-must-reduce-its-rare-earth-reliance-china-says-eus-sejourne-2025-06-04>.
- European Institute of Innovation and Technology (EIT). (2021). REE cluster report. Dostupné z https://www.eit.europa.eu/sites/default/files/2021_09-24_ree_cluster_report2.pdf.
- Trench, A., & Sykes, J. P. (2020). Rare earth permanent magnets and their place in the future economy. *Engineering*, 6(2), 115–118.
- Önal, M. A. R., Aktan, E., Borra, C. R., Blanpain, B., Van Gerven, T., & Guo, M. (2017). Recycling of NdFeB magnets using nitration, calcination and water leaching for REE recovery. *Hydrometallurgy*, 167, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.10.020>
- Van Loy, S., Önal, M. A. R., Binnemans, K., & Van Gerven, T. (2020). Recovery of valuable metals from NdFeB magnets by mechanochemically assisted ferric sulfate leaching. *Hydrometallurgy*, 191, 105154.

- Kumari, A., Raj, R., Randhawa, N. S., & Sahu, S. K. (2021). Energy efficient process for recovery of rare earths from spent NdFeB magnet by chlorination roasting and water leaching. *Hydrometallurgy*, 201, 105581.
- Zhang, Y., Gu, F., Su, Z., Liu, S., Anderson, C., & Jiang, T. (2020). Hydrometallurgical recovery of rare earth elements from NdFeB permanent magnet scrap: A review. *Metals*, 10(6), 841.
- Dudarko, O., Kobylinska, N., Kessler, V., & Seisenbaeva, G. (2022). Recovery of rare earth elements from NdFeB magnet by mono- and bifunctional mesoporous silica: Waste recycling strategies and perspectives. *Hydrometallurgy*, 210, 105855.
- Yadav, J., Sarker, S. K., Bruckard, W., Jegatheesan, V., Haque, N., & Pramanik, B. K. (2025). Selective recovery of rare earth elements from NdFeB magnet waste via deep eutectic solvents: Process optimization and DFT insights. *Separation and Purification Technology*, 376, 134176.
- Burkhardt, C., van Nielen, S., & Awais, M. (2023). An overview of hydrogen assisted (direct) recycling of rare earth permanent magnets. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 588, 171475.
- Habibzadeh, A., Kucuker, M. A., Çakır, Ö., & Göknelma, M. (2024). Microstructural investigation of discarded NdFeB magnets after low-temperature hydrogenation. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 10(3), 1141–1155.
- Liu, Z., Zhou, H., Li, W., Luo, X., Wang, J., & Liu, F. (2022). Separation and coextraction of REEs and Fe from NdFeB sludge by co-leaching and stepwise precipitation. *Separation and Purification Technology*, 282, 119795.
- Yin, X., Yue, M., Lu, Q., Liu, M., Wang, F., Qiu, Y., Liu, W., Zuo, T., Zha, S., Li, X., & Yi, X. (2020). An efficient process for recycling Nd–Fe–B sludge as high-performance sintered magnets. *Engineering*, 6(2), 165–172.
- Gandha, K., Ouyang, G., Gupta, S., Kunc, V., Paranthaman, M. P., & Nlebedim, I. C. (2019). Recycling of additively printed rare-earth bonded magnets. *Waste Management*, 90, 94–99.
- Schönfeldt, M., Rohrmann, U., Schreyer, P., et al. (2023). Magnetic and structural properties of multiple recycled and sustainable sintered Nd-Fe-B magnets. *Journal of Alloys and Compounds*, 939, 168709.
- European Commission. (2016). REE recovery project – Final project report (ID 607411). CORDIS. Dostupné z <https://cordis.europa.eu/project/id/607411/reporting>.
- Joint Research Centre (JRC). (2023). JRC technical report on critical raw materials. Dostupné z <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC140892>.
- European Commission. (2023). Competition policy – Critical raw materials. Dostupné z https://competition-policy.ec.europa.eu/sectors/manufacturing-basic-industries/critical-raw-materials_en.

- Enviropol. (2024). Recyklace elektroodpadu. <https://www.enviropol.cz/>
- iDNES.cz. (2024). Enviropol klade důraz na ekologickou recyklaci. Dostupné z: https://sdeleni.idnes.cz/jihlava/enviropol-klade-duraz-na-ekologickou-recyklaci.A241015_133830_jihlava-sdeleni_hradr.
- SMO ČR. (2025). Starostové navštívili nejmodernější linku na recyklaci elektroodpadu. Dostupné z: <https://www.smocr.cz/cs/cinnost/dobra-praxe/a/starostove-navstivili-nejmodernejsi-linku-na-recyklaci-elektroodpadu-v-cesku>.
- Odpady-online.cz. (2023). Technologie zefektivní recyklaci elektroodpadu. <https://odpady-online.cz/technologie-zefektivni-recyklaci-elektroodpadu/>.
- ASEKOL. (2023). Revoluční krok na poli recyklace solárních panelů. Dostupné z: <https://www.asekol.cz/novinky/revolucni-krok-na-poli-recyklace-solarnich-panelu-technoworld-jako-prvni-v-cr-zavedl-japonskou-technologie-horkeho-noze>.
- DEKONTA. (2025). Recyklace solárních panelů. Dostupné z <https://www.dekonta.cz/cs/recyklace-solarnich-panelu/>.
- Recyklační-stroje.eu. (2024). Dostupné z: Recyklační linky na elektroodpad (Panizzolo). <https://www.recyklacni-stroje.eu/nase-nabidka/recyklace-kovoveho-srotu/panizzolo/recyklacni-linky/recyklace-elektroodpadu/>.
- WAMAG. (2024). Oborová řešení: Recyklace. Dostupné z: <https://www.wamag.cz/oborova-reseni/recyklace>.
- Hubálek, R. (2023). Automatické třídění odpadu a jeho specifika. Konference Obaly. Dostupné z: <https://www.konferenceobaly.cz/wp-content/uploads/2023/03/Automaticke-trideni-odpadu-a-jeho-specifika-Roman-Hubalek.pdf>.
- RMIS JRC. (2023). Raw Materials Information System. Dostupné z: <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>.
- Soldatova, A. (2024). Recyklace elektroodpadu by měla přispět k zajištění dostatku kritických surovin. Odpady-online.cz. Dostupné z <https://odpady-online.cz/recyklace-elektroodpadu-by-mela-prispet-k-zajisteni-dostatku-kritickych-surovin/>.
- Council of the European Union. (2010). *Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (integrated pollution prevention and control)*. Official Journal of the European Union, L334, 17–119. Dostupné z <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj>.
- European Commission. (2018). *Commission Implementing Decision (EU) 2018/1147 establishing best available techniques (BAT) conclusions for waste treatment, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council*. Official Journal of the European Union, L208, 38–92. Dostupné z https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2018/1147/oj.

- MŽP. (2025). Basilejská úmluva o kontrole pohybu nebezpečných odpadů. Dostupné z: <https://mzp.gov.cz/cz/zahranicni-vztahy/mezinarodni-organizace/basilejska-umluva-o-kontrole-pohybu-nebezpecnych-odpadu>.
- Evropská komise. (2024). *Nařízení Komise (EU) 2024/3230 ze dne 18. října 2024, kterým se mění nařízení (EU) 2024/1157 v souvislosti se změnami v přepravě elektrických a elektronických odpadů dohodnutými v rámci Basilejské úmluvy*. Dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/pravo/eu/dokument?celex=32024R3230>.
- European Commission. (2025). First non-OECD countries request eligibility to import EU waste. Dostupné z: https://environment.ec.europa.eu/news/first-non-oecd-countries-request-eligibility-import-non-hazardous-eu-waste-2025-02-24_en.
- Consilium EU. (2024). Waste shipments: Council signs off on more efficient, updated rules. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/press/press-releases/2024/03/25/waste-shipments-council-signs-off-on-more-efficient-updated-rules/>.
- European Union. (2022). Directive (EU) 2022/2464 on corporate sustainability reporting (CSRD). Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022L2464>
- European Commission. (2022). Sustainable Products Initiative: Digital Product Passport. Brussels. Dostupné z: https://environment.ec.europa.eu/publications/sustainable-products-initiative_en
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. (2023). ISO 14083: Greenhouse gases – Quantification and reporting of GHG emissions. Geneva: ISO.
- Hydrovolt. (2022). Hydrovolt opens Europe's largest EV battery recycling plant in Fredrikstad, Norway. Press release. Dostupné z: <https://www.hydro.com/en/media/news/2022/hydrovolt-opens-europes-largest-ev-battery-recycling-plant>.
- Kuokkanen, A., Georgakaki, A., Mountraki, A., Letout, S., Telsnig, T., Kapetaki, Z., ... Pasimeni, F. (2022). Future demand for skilled workforce in battery recycling. Luxembourg: Publications Office of the EU. doi:10.2760/5869.
- CORDIS. (2023). BATRAW Project – Recycling of end-of-life batteries. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/id/101058054>.
- European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/1605 on the Critical Raw Materials Act (CRMA). Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1605>.

- European Commission. (2023). Critical Raw Materials factsheets. Brussels. Dostupné z: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en.
- European Commission. (2025). Commission selects 47 Strategic Projects to secure and diversify access to critical raw materials in the EU. Press release. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_864.
- Stephan, M. (2025). Recycling capacities for lithium-ion batteries will exceed demand in Europe for the time being. Fraunhofer ISI Battery Update. Dostupné z: https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/batterie-recycling_europa_kapazitaeten_bedarf_update_2025.html.
- Harper, G., et al. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 575, 75–86.
- Binnemans, K., et al. (2020). Critical raw materials and the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 267, 121971.
- European Commission. (2020). Special Eurobarometer 503 – Attitudes of Europeans towards waste management and recycling. Brussels. Dostupné z: https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/S2228_92_4_503_ENG.
- Eurostat. (2024). Waste statistics – electrical and electronic equipment (WEEE). Statistics Explained. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment
- European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/2411 on packaging and packaging waste (PPWR). Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R2411>.
- Transport & Environment. (2024). From waste to value: the potential for battery recycling in Europe. Brussels: T&E. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/articles/from-waste-to-value-the-potential-for-battery-recycling-in-europe>.
- Fraunhofer ISI. (2024). Battery recycling in Europe continues to pick up speed. Karlsruhe. Dostupné z: <https://www.isi.fraunhofer.de/en/presse/2024/battery-recycling-continues-to-pick-up-speed.html>.
- European Environment Agency (EEA). (2021). Extended producer responsibility in the EU: Development of guidance on EPR. Copenhagen. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/target_review/Guidance%20on%20EPR%20-%20Final%20Report.pdf.
- Ministerstvo životního prostředí ČR. (2023). Implementace nové legislativy EU v oblasti odpadů. Praha. Dostupné z: <https://www.mzp.gov.cz/cz/evropska-unie>.

6.1.2 Metody a postup řešení

T4.1.1: Mapování toků elektroodpadu a CRM

Elektroodpady jsou považovány za významný sekundární zdroj kritických surovin (CRM). Např. Indium je využíváno v displejích a solárních panelech, galium v LED aplikacích, optoelektronice a polovodičích a germanium v infračervené optice a elektronice. Za strategickou skupinu jsou označovány také magnety na bázi Nd(RE)-Fe-B, běžně přítomné v elektromotorech, pevných discích a dalších zařízeních. Obsah CRM v elektrozařízeních je ovlivňován technologickým vývojem a substitucí prvků, což mění jejich recyklační potenciál i vhodnost využití jednotlivých technologií. V rámci řešení bude proto systematicky mapován výskyt CRM v odpadních elektrozařízeních. Mapování bude kombinovat detailní průzkum aktuálních trendů s cílem popsat použití CRM v různých skupinách elektrozařízení a jejich komponentech. Analýza poskytne rámec pro upřesnění rozsahu a zaměření praktických experimentů na materiálu společnosti ASEKOL, popř. na technologických celcích jeho partnerů a nasmlouvaných zpracovatelů. Budou určeny klíčové výrobní skupiny, jejich výskyt bude ověřován odběrem vzorků a testováním na třídících zařízeních. Cílem bude ověřit platnost předpokládaných hypotéz v podmínkách ČR. Vedle výsledků získaných v rámci projektu budou zpracovány starší data, kterými disponuje společnost ASEKOL. Získané informace z teoretické analýzy a praktických experimentů budou podrobeny matematickému modelování s cílem vytvořit prediktivní model popisující časové změny zastoupení CRM a jejich budoucí recyklační potenciál v podmínkách ČR.

VA4.1./1 Komplexní analýza zaměřená na výskyt CRM v různých typech odpadních elektrozařízení (VUT/FSI, ÚCHP, ASEKOL) 01/2026-04/2027.

- Podrobná analýza zastoupení CRM v různých skupinách elektroodpadu. Identifikace klíčových výrobních skupin jako potenciálních zdrojů CRM, včetně predikce jejich životnosti a produkce odpadu.

VA4.1./2 Analýza výskytu CRM ve vybraných proudech a zdrojích při zpracování elektroodpadů (ASEKOL, VUT/FSI, UCHP) 10/2026-06/2028.

- Praktické ověření výskytu CRM v podmínkách ČR: odběr reprezentativních vzorků výstupních frakcí z technologických linek partnerů, jejich I Státní správa: zprávy poskytnou analytické podklady pro ministerstva (MPO, MŽP, MZe) při implementaci PPWR a CRM Act do národní legislativy a strategických dokumentů aboratorní analýza (chemické složení, zastoupení CRM, podíl Nd-Fe-B magnetů). Zpracování výsledků do přehledu potenciálu CRM v jednotlivých typech odpadních proudů.

VA4.1./3 Trend potenciálu CRM v elektroodpadech a předpoklady jeho využití (VUT/FSI, ASEKOL, CENIA, TVARCOM) 10/2026-12/2028.

- Vypracování prediktivního modelu vývoje zastoupení CRM v elektroodpadech v čase na základě provozních analýz a údajů o uvádění výrobků na trh. Model umožní kvantifikovat celkový potenciál CRM, identifikovat podmínky jejich efektivního využití a navrhnout doporučení pro státní správu.

Očekávané přínosy:

- Propojení dat o uvádění výrobků na trh, jejich průměrné životnosti a dat ze zjišťování výskytu CRM.
- Příprava podkladů a dílčích modelů pro prognózu elektroodpadů jako skupiny 16 02 a příslušných podskupin dle katalogu odpadů (vazba na budoucí rozvoj nástroje Tiramiso).
- GIS mapy s odborným obsahem, jako je přehled dostupných technologií pro zpracování odpadních elektrozařízení, včetně informací o zařízeních, kapacitě a oblasti obslužnosti technologie.
- Stanovení celkového potenciálu CRM ve vybraných výrobcích a proudech.
- Doporučení pro provádění opakovaných analýz dle jednotné metodiky (monitoring trendů).

T4.1.2: Technologie recyklace specifických elektroodpadů s vysokým podílem CRM

Budou vyvíjeny a ověřovány technologické postupy pro separaci a recyklaci elektroodpadů s vysokým obsahem CRM. Součástí bude zpracování materiálových bilancí a návrh doporučených postupů zpracování, případně koncepčních pracovišť, jejichž reálná proveditelnost bude ověřena formou pilotních testů.

VA4.1/4 Návrh postupů pro získávání CRM ze stávajících produktů zpracování elektroodpadů (ASEKOL, ÚCHP, TVAR COM, VŠB-TUO/FMT) 1/2026-12/2027.

- Analýza materiálových toků CRM v rámci zpracování elektroodpadů a jednotlivých produkovaných frakcí.
- Pokročilé metody separace či zkoncentrování CRM ze stávajících produktů zpracování elektroodpadů s vysokým podílem CRM.

VA4.1/5 Specifické postupy pro separaci komponent s vysokým podílem CRM na vstupu do zpracování (ASEKOL, TVAR COM, ÚCHP) 10/2026-06/2028.

- Identifikace specifických komponent v elektroodpadech s vysokým podílem CRM, např. reproduktory v TV.
- Návrh postupů pro jejich selektivní deliberaci a demontáž spolu s pasportizací.
- Návrh postupů pro jejich zpracování/zkoncentrování pomocí mechanicko-fyzikálních postupů pro další zpracování, selektivního mletí, flotace, separace dle hustoty apod.
- Návrh postupů pro zpracování ostatních odpadů a proudů ze zpracování (konstrukční kovonosné prvky, plastové frakce apod.).

VA4.1/6 Hydro-/Pyro-metalurgické postupy pro získávání CRM z koncentrátů (VŠCHT/FCMT-ÚKMKI, VŠB-TUO/FMT, ÚCHP) 10/2026-12/2028.

- Loužení vybraných složek (měď, cín, drahé kovy, kritické kovy).
- Optimalizace reagentů a postupů s důrazem na environmentální šetrnost.
- Termické procesy předúpravy a rafinace kovových složek.
- Elektrochemické postupy pro získání čistých kovů (např. Cu, Ni, Co).
- Ověření kombinace pyrometalurgických a hydrometalurgických procesů za účelem

zvýšení efektivity recyklace.

- Řešení problematiky PCB (printed circuit boards) – cílené získání drahých kovů.

VA4.1/7 *Environmentální a legislativní rámec technologií (CENIA, VŠCHT/FTOP-SUPRE) 4/2027-12/2028.*

- Posouzení vyvíjených technologií z hlediska souladu s platnou legislativou a environmentálními požadavky.
- Principy a požadavky pro povolovací řízení nových recyklačních linek.
- Porovnání navržených technologií s principy BAT dle *Reference Document for Waste Treatment* (BREF WT) v souladu se Směrnicí o průmyslových emisích 2010/75/EU (IED).
- Doporučení pro zajištění kompatibility technologií s principy integrované prevence a omezování znečištění (IPPC).

Očekávané přínosy:

- Komplexní návrh recyklační linky včetně procesních schémat a materiálových bilancí, který oproti současným řešením nabídne vyšší flexibilitu při zpracování různých kategorií elektroodpadu a efektivnější separaci i problematických frakcí (např. směsné plasty, PCB).
- Metodika separace a úprav materiálových frakcí (zlepšení výtěžnosti cílených kovů a plastů za současného snížení environmentální zátěže oproti konvenčním metodám).
- Poloprovozní testy hydrometalurgických postupů (ověření škálovatelnosti navržených technologií a prokázání jejich reálné proveditelnosti v průmyslových podmínkách).

T4.1.3: *Recyklace slinovaných magnetů na bázi Nd-Fe-B.*

Cíl: Vyvinout a optimalizovat integrovaný proces „magnet-to-magnet“ recyklace Nd-Fe-B magnetů, který zahrnuje cílenou separaci a předúpravu elektrozařízení s obsahem magnetů, jejich zpracování vhodnými technologiemi pro získání recyklovaného prášku, a následně výrobu nových magnetů metodami práškové metalurgie (lisování, slinování). Důraz bude kladen na zachování hodnotového řetězce materiálu, minimalizaci ztrát vzácných zemin (Nd, Dy, Pr), odstranění kontaminantů a zajištění stabilní kvality recyklátu. Výsledkem bude technologie umožňující produkci magnetů vyrobených z druhotných surovin (recyklátu) s vysokými magnetickými charakteristikami, která prokáže průmyslovou využitelnost v poloprovozním měřítku a přispěje k posílení surovinové bezpečnosti a snížení závislosti na primárních zdrojích.

VA4.1/8 *Zpracování vybraných elektroodpadů za účelem separace komponent s obsahem Nd-Fe-B magnetů (TVAR COM, VŠB-TUO/FMT) 01/2026-06/2027.*

- Identifikace specifických komponent v elektroodpadech s vysokým podílem Nd-Fe-B magnetů.
- Návrh postupů pro jejich efektivní selektivní manuální deliberaci a demontáž u masivních výrobků.

- Návrh postupů pro jejich efektivní zpracování manuálně neefektivně demontovatelných výrobků. Úprava a selekce pomocí mechanicko-fyzikálních a optických postupů pro další zpracování. Selektivní drcení, demagnetizace, separace dle specifické měrné hmotnosti apod. Vytvoření koncentráту.
- Návrh postupů pro zpracování zbytků po separaci Nd-Fe-B magnetů. Separace polymerních materiálů a kovových částí. Příprava by-produktu pro standardní recyklaci.

VA4.1/9 Mechanická předúprava a demagnetizace magnetů na bázi Nd-Fe-B (VŠB-TUO/FMT) 04/2026-06/2028.

- Optimalizace podmínek demagnetizace bez degradace mikrostruktury.
- Fragmentace a drcení magnetů s cílem minimalizovat ztráty jemných částic obsahujících KVZ.
- Kontrola rovnoměrného granulometrického složení recyklovaného prášku.

VA4.1/10 Výroba recyklovaných magnetů metodami práškové metalurgie (VŠB-TUO/FMT) 10/2026-12/2028.

- Vývoj a testování postupů lisování a slinování recyklovaného prášku.
- Studium vlivu opakovaných recyklačních cyklů na magnetické vlastnosti a mikrostrukturu magnetů na bázi Nd-Fe-B.
- Řešení problematiky kontaminantů a návrh homogenizačních strategií.
- Aplikace hydridové technologie pro zlepšení slinovatelnosti a magnetických parametrů recyklovaných magnetů.

VA4.1/11 Charakterizace a kvalitativní řízení recyklátu (VŠB-TUO/FMT, ASEKOL) 10/2026-12/2028.

- Stanovení vztahů mezi parametry recyklovaného prášku (velikost částic, chemické složení, sypná hustota, mikrostruktura) a výslednými magnetickými charakteristikami.
- Identifikace a zajištění vhodných skupin elektroodpadu jako zdrojů Nd-Fe-B magnetů.

VA4.1/12 Hydrometalurgické postupy (ÚCHP, VŠCHT/FCMT-ÚKMKI) 04/2027-12/2028

- Testování metod loužení a separace vzácných zemin (Nd, Dy, Pr) jako alternativní cesty využití pro frakce odpadních magnetů nevhodné k přímé recyklaci.

Očekávané přínosy:

- Poloprovozní technologie recyklace Nd-Fe-B magnetů (ověřený proces od demagnetizace až po výrobu nových magnetů, připravený k transferu do praxe). Poloprovozní testy budou realizovány v měřítku řádově kilogramů odpadního materiálu, s využitím technického vybavení blízkého průmyslovému provozu, s cílem ověřit škálovatelnost, stabilitu procesů a materiálové bilance před přenosem do průmyslové praxe.
- Databáze kvalitativních parametrů recyklátu (vazba mezi fyzikálně-chemickými charakteristikami recyklátu a výslednými magnetickými vlastnostmi, využitelná jako podklad pro návrh recyklačních procesů).

- Metodika mechanické a chemické předúpravy Nd-Fe-B magnetů (standardizovaný postup pro fragmentaci, demagnetizaci a případnou chemickou úpravu s cílem minimalizovat ztráty a zajistit stabilní kvalitu recyklátu).
- Funkční vzorky recyklovaných magnetů pro ověření vlastností.

T4.1.4: Environmentální a socioekonomické dopady

Cíl: Zajistit environmentálně a socioekonomicky udržitelný rámec pro recyklaci elektroodpadu. Bude vytvořen udržitelný rámec pro recyklaci elektroodpadu prostřednictvím rozšíření LCA/MFA analýz o uhlíkovou stopu a scénáře dekarbonizace. Výsledky budou integrovány do digitálních pasů a ESG reportingu. Současně budou hodnoceny socioekonomické dopady na trh práce, modelován přínos k soběstačnosti EU a navrženy motivační strategie pro zvýšení zpětného odběru. Dále budou vypracována politická a legislativní doporučení pro státní správu a průmysl.

VA4.1/13 Komplexní hodnocení technologií (VŠCHT/FTOP-SUPRE, VŠB-TUO/FMT, VUT/FSI) 01/2026-12/2027

- Provedení analýzy životního cyklu (LCA) a modelování materiálových toků (MFA) systémů recyklace elektroodpadu včetně výpočtu uhlíkové stopy. MFA kovů v elektroodpadech a identifikace klíčových zdrojů CRM v OEEZ. Doporučení pro státní správu v oblasti podpory recyklace CRM.
- Navržení scénářů dekarbonizace s ohledem na cíle Zelené dohody pro Evropy (Green Deal), Fit for 55 a EU Taxonomie.

VA4.1/14 Digitální pasy a data pro ESG reporting (VŠCHT/FTOP-SUPRE, VŠB-TUO/FMT, ASEKOL, VUT/FSI) 10/2026-12/2028

- Návrh zapojení výsledků LCA/MFA do digitálních pasů elektrozařízení.
- Možnosti využití těchto dat v rámci ESG/CSRD reportingu podniků.

VA4.1/15 Socioekonomické dopady a trh práce (VŠB-TUO/FMT) 01/2027-12/2028

- Analýza dopadů nových recyklačních technologií na zaměstnanost, kvalifikační potřeby a vzdělávací systém.
- Identifikace možností rekvalifikací a vzniku nových pracovních míst v sektoru recyklace.

VA4.1/16 Strategická soběstačnost a resilience EU (VŠCHT/FTOP-SUPRE, VŠB-TUO/FMT, ÚCHP) 04/2027-12/2028

- Modelování přínosu recyklace k zajištění dostupnosti kritických surovin (Li, Co, Ni, Nd, Dy).
- Hodnocení snížení závislosti na dovozech z geopoliticky rizikových oblastí.

VA4.1/17 Společenská přijatelnost a participace spotřebitelů (ASEKOL, VŠB-TUO/FMT) 04/2027-12/2028

- Studie chování domácností a firem při sběru elektroodpadu.
- Návrh motivačních strategií a doporučení pro zvýšení míry zpětného odběru a následně využití OEEZ.

VA4.1/18 Politické a legislativní doporučení (VŠCHT/FTOP-SUPRE, VŠB-TUO/FMT, CENIA) 10/2027-12/2028

- Analýza dopadů nové legislativy EU (PPWR, CRM Act) na ČR.
- Návrh opatření pro státní správu a průmysl k jejich efektivní implementaci.
- Zpracování doporučení pro podporu principů ekodesignu a zvyšování opravitelnosti elektrozařízení jako nástrojů pro zajištění vyšší míry materiálového využití a efektivnější recyklace.
- Vyhodnocení legislativních a technických překážek uplatnění ekodesignu a navržení stimulačních opatření pro výrobce, zpracovatele a spotřebitele.

Očekávané přínosy:

- Integrované studie environmentálních, ekonomických, socioekonomických a strategických aspektů recyklace.
- Scénáře dekarbonizace ukazující přínos recyklace elektroodpadu k dosažení národních a evropských klimatických cílů.
- Interaktivní rozhodovací nástroj umožňující simulaci a porovnávání variant recyklace z hlediska LCA indikátorů, nákladovosti, dopadů na trh práce a dostupnosti surovin.
- Návrh zapojení výsledků do digitálních pasů a ESG reportingu.
- Odborná doporučení pro státní správu a průmysl v oblasti podpory recyklace, integrace principů ekodesignu a rozvoje cirkulární ekonomiky v souladu s legislativou EU.
- Podklady pro strategické materiálové plánování ČR (soběstačnost, resilience, krizové scénáře).

Nástin činnosti pro roky 2029–2032:

Výzkum bude zaměřen na zpřesnění mapování toků CRM v OEEZ prostřednictvím rozšířeného prediktivního modelu a pravidelného monitoringu s využitím GIS nástrojů. Na základě pilotních ověření budou rozpracovány doporučené procesní postupy a koncepční návrhy specializovaných pracovišť pro proudy s vysokým obsahem CRM. V oblasti recyklace Nd-Fe-B magnetů bude cílem stanovení standardů kvality recyklovaného prášku, minimalizace kontaminantů a vyhodnocení limitů opakované recyklace. Současně budou připravena normativní a legislativní doporučení pro značení a snadnou demontáž magnetů s provázáním na ekodesign a dokumenty BAT. Výsledné metodiky a srovnání s BAT budou integrovány do povolovacích procesů podle směrnice IPPC, aby byla usnadněna implementace nových technologií do průmyslové praxe.

6.1.3 Výsledky a jejich uplatnění

V rámci řešení budou vypracovány výzkumné a odborné zprávy zaměřené na mapování výskytu kritických surovin (CRM) v odpadních elektrických a elektronických zařízeních, sledování jejich časových změn a hodnocení recyklačního potenciálu v období 2027–2028. Součástí výstupů bude také tvorba GIS map a databází zahrnujících přehled dostupných technologií pro zpracování elektroodpadu, včetně informací o jejich kapacitách a územní působnosti.

Projekt dále zajistí vypracování metodik a procesních schémat pro separaci a úpravu materiálových frakcí, které povedou ke zvýšení výtěžnosti CRM při současném snížení environmentální zátěže. Na jejich základě bude připraven komplexní návrh recyklačních linek s materiálovými bilancemi a procesními modely, umožňujícími vyšší flexibilitu při zpracování různých kategorií elektroodpadu a efektivnější separaci problematických frakcí, zejména směsných plastů a desek plošných spojů.

Klíčovým výsledkem bude poloprovozní technologie recyklace Nd-Fe-B magnetů, zahrnující celý proces od separace a demagnetizace až po výrobu nových magnetů metodami práškové metalurgie. Tato část bude doplněna o funkční vzorky recyklovaných magnetů a databázi kvalitativních parametrů recyklátu, která poslouží jako základ pro standardizaci postupů a zajištění konzistentní kvality výstupů.

Výsledky projektu budou šířeny prostřednictvím odborných článků v impaktovaných časopisech (J_{imp}) a dalších publikací s mezinárodním dosahem. Paralelně budou realizovány integrované studie environmentálních a socioekonomických dopadů recyklace elektroodpadu, zahrnující scénáře dekarbonizace, modely přínosu k surovinové soběstačnosti EU a analýzu dopadů na trh práce. Na základě těchto podkladů budou zpracována politická a legislativní doporučení pro státní správu a průmysl, zaměřená na podporu recyklace CRM a efektivní implementaci evropské legislativy, zejména CRM Act a Circular Economy Act.

Hlavní výsledky v rámci WP4.1 tedy budou tyto:

WP4.1/1 – Přehled teoretického výskytu CRM v různých typech odpadních elektrozařízení (04/2027), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Výzkumná zpráva, která shrne výstupy podrobné analýzy zastoupení CRM v různých skupinách elektroodpadu. Identifikace klíčových výrobních skupin jako potenciálních zdrojů CRM, včetně predikce jejich životnosti a produkce odpadu. Analýza bude postavena na detailním zhodnocení literárních zdrojů a dosavadních výsledcích rozborů historicky prováděných ve společnosti ASEKOL.

WP4.1/2 – Terénní šetření výskytu CRM v různých typech odpadních elektrozařízení (6/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Zpráva se zaměří na monitoring výskytu CRM v odpadních elektrozařízeních, které jsou soustřeďovány v ČR. Popíše fázi plánování, provedení a výsledků praktických experimentů na materiálu společnosti ASEKOL, popř. na technologických celcích jeho partnerů a nasmlouvaných zpracovatelů. Zpráva popíše klíčové výrobní skupiny, jejich výskyt na třídících zařízeních a jejich příspěvek k obsahu CRM v různých technologických proudech. Odebrané vzorky budou zpracovány v laboratoři s cílem určit obsah CRM. Výsledky analýz budou součástí zprávy.

WP4.1/3 – Modelování trendu potenciálu CRM v elektroodpadech a předpoklady jeho využití (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Výzkumná zpráva, která shrne výstupy matematického modelování vývoje zastoupení CRM

ve vybraných subtocích elektroodpadů v čase na základě provozních analýz a údajů o uvádění výrobků na trh. Model umožní kvantifikovat celkový potenciál CRM, identifikovat podmínky jejich efektivního využití a navrhnout doporučení pro státní správu.

WP4.1/4 – Principy a požadavky pro povolovací řízení a srovnání technologie s BAT (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Výstupem bude odborná zpráva, která poskytne komplexní zhodnocení vyvíjených recyklačních technologií z hlediska souladu s environmentálními a legislativními požadavky v České republice a EU.

WP4.1/5 – Strategická analýza a doporučení k implementaci PPWR a CRM Act v ČR (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Výsledkem bude zpráva obsahující analýzu dopadů nové legislativy EU (PPWR, CRM Act) na podmínky v ČR a návrh opatření pro státní správu, průmysl a recyklační sektor, která poskytne podklady pro implementaci legislativy, strategické plánování podniků a zapojení ČR do evropských iniciativ v oblasti oběhového hospodářství a využívání kritických surovin.

Další výsledky, které vzniknou v rámci WP4.1 budou:

WP4.1/6 – Socio-ekonomické dopady nových technologií na trh práce, soběstačnost a resilienci (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Odborná zpráva shrne komplexní analýzu socioekonomických dopadů zavádění nových recyklačních technologií elektroodpadu. Dokument vyhodnocuje vliv na trh práce (zaměstnanost, nové profesní profily, rekvalifikace), dopady na kvalifikační potřeby a vzdělávací systém, a současně modeluje přínosy recyklace k dosažení strategické soběstačnosti a resilience EU v oblasti kritických surovin. Zpráva bude obsahovat rovněž doporučení pro státní správu, průmysl a vzdělávací instituce k efektivnímu využití výsledků a k implementaci v souladu s legislativou EU (CRM Act, PPWR, Green Deal).

WP4.1/7 – Příspěvek zaměřený na doporučené technologické postupy pro předzpracování elektroodpadu a přípravu Nd-Fe-B magnetů k recyklaci (06/2027), typ výsledku: D – stať ve sborníku.

Aktivní účast na mezinárodní konferenci. Výstupem bude článek ve sborníku, který bude evidován v databázi Scopus nebo WOS.

WP4.1/8 – Publikace v impaktovaném časopise (12/2028), typ výsledku: Jimp
Článek zaměřený na recyklaci Nd-Fe-B magnetů: demagnetizace, fragmentace a kvalita recyklovaného prášku.

WP4.1/9 – Permanentní magnet na bázi Nd-Fe-B připravený optimalizovanými recyklačními postupy (12/2027), typ výsledku: Funkční vzorek (F).

Magnet vyrobený metodami práškové metalurgie z recyklovaného prášku Nd-Fe-B. Využity budou optimalizované postupy lisování, slinování a homogenizace, které umožní zachovat vhodnou mikrostrukturu a vysoké magnetické vlastnosti ($B_r = 1.1\text{--}1.3\text{ T}$, $H_{cB} \square 800\text{ kA/m}$). Tento vzorek prokáže technickou proveditelnost využití recyklovaného materiálu jako

plnohodnotné suroviny pro výrobu nových magnetů.

WP4.1/10 – Magnet na bázi Nd-Fe-B získaný opakovanou recyklací (12/2028), typ výsledku: Funkční vzorek (F).

Funkční vzorek permanentního magnetu na bázi Nd-Fe-B, získaný opakovanou recyklací. Na tomto vzorku bude ověřena proveditelnost procesu bez zásadní degradace magnetických vlastností. Slouží k experimentálnímu posouzení limitů a potenciálu opakovaných recyklačních cyklů a poskytuje podklad pro zhodnocení využitelnosti recyklovaných surovin při výrobě vysoce výkonných permanentních magnetů.

6.1.4 *Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě*

Výsledky budou mít přímý aplikační dopad jak v průmyslové praxi, tak i ve státní správě, kde vytvoří základní podklady pro efektivní řízení surovinové politiky a politiky nakládání s druhotnými surovinami, resp. s odpady.

Na straně státní správy budou mít zásadní význam zejména vytvořené GIS mapy a databáze recyklačních kapacit, které umožní sledovat regionální dostupnost technologií, optimalizovat systém sběru elektroodpadu a podporovat rovnoměrný rozvoj recyklačních infrastruktur. Prediktivní modely časových změn obsahu CRM v odpadních elektrozařízeních poskytnou strategický nástroj pro dlouhodobé materiálové plánování, a tím umožní nastavení realistických cílů v souladu s Plánem odpadového hospodářství ČR a evropskou legislativou (CRM Act, Circular Economy Act). Odborné zprávy a legislativní doporučení budou využitelné pro povolovací řízení, kontrolu souladu s BAT a integrovanou prevencí (IED/IPPC) a zároveň poslouží jako podklady pro přípravu nových národních strategií a legislativních rámců v oblasti recyklace. Projekt tedy dodá státní správě evidence-based nástroje pro regulaci, podporu a monitorování cirkulární ekonomiky.

Na straně průmyslové praxe bude mít zásadní význam vypracování a ověření metodik separace a recyklace CRM a návrh procesních schémat recyklačních linek s materiálovými bilancemi. Tyto výstupy umožní zavádění efektivnějších technologií přímo v recyklačních firmách, snížení nákladů díky vyšší výtěžnosti CRM a plastů a současně minimalizaci environmentální zátěže. Poloprovozní testy hydrometalurgických a separačních technologií a poloprovozní proces „magnet-to-magnet“ recyklace Nd-Fe-B magnetů prokážou jejich průmyslovou proveditelnost a připraví podklady pro transfer technologií do praxe. Funkční vzorky recyklovaných magnetů a databáze kvalitativních parametrů recyklátu poskytnou záruku stability kvality pro výrobní podniky, což umožní jejich zapojení do dodavatelských řetězců v oblastech elektromobility, obnovitelných zdrojů a elektroniky.

Výsledky projektu budou mít také významný vzdělávací a znalostní dopad – metodiky, databáze a modely budou využitelné univerzitami, výzkumnými institucemi a profesními svazy při tvorbě standardů, výuce a odborné přípravě. Přínos bude rovněž pro kolektivní systémy (např. ASEKOL), které budou moci optimalizovat logistiku a strategii sběru OEEZ na základě vědecky ověřených dat.

Souhrnně lze konstatovat, že projekt přinese integrovaný soubor nástrojů, technologií a doporučení, které budou využitelné:

- v průmyslu (nové procesy, recyklační linky, produkty vyrobené z druhotných surovin (recyklátu)),
- ve státní správě (strategické plánování, legislativní rámec, podklady pro povolovací procesy a monitoring),
- ve výzkumu a vzdělávání (databáze, metodiky, modely, publikace), a tím podpoří rozvoj cirkulární ekonomiky a surovinové soběstačnosti České republiky a EU.

6.1.5 Harmonogram řešení

Níže je uveden Ganttův diagram řešení WP4.1 a klíčové milníky řešení.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP4.1													
T4.1.1.	VA4.1/1												
	VA4.1/2												
	VA4.1/3												
T4.1.2.	VA4.1/4												
	VA4.1/5												
	VA4.1/6												
	VA4.1/7												
T4.1.3.	VA4.1/8												
	VA4.1/9												
	VA4.1/10												
	VA4.1/11												
	VA4.1/12												
T4.1.4.	VA4.1/13												
	VA4.1/14												
	VA4.1/15												
	VA4.1/16												
	VA4.1/17												
	VA4.1/18												
Výstupy													

Milníky:

- M4.1/1 – 12/2027 – dokončeno systematické mapování výskytu CRM v min. 5 skupinách elektrozařízení, shromážděna data ze vzorků.
- M4.1/2 – 12/2027 – vypracován návrh procesního schématu recyklační linky, včetně materiálových bilancí.
- M4.1/3 – 06/2028 – dokončena optimalizace metodiky demagnetizace a předúpravy magnetů.
- M4.1/4 – 06/2027 – zpracovány dílčí výsledky LCA/MFA a návrh scénářů dekarbonizace.

6.2 WP4.2 Odpadní Li-ion baterie

Vedoucí WP: Petra Kameníková, ÚCHP.

Další řešitelé včetně organizace: Matěj Němček, Severočeské Doly; Hong Vu a Vladimír Kočí, VŠCHT Praha; Karolína Jindřiška Nová, CENIA; Omar Ameir, VŠB TUO; Pavel Skryja, Martin Pavlas, VUT v Brně; Karel Šíma, ASEKOL; Pavel Dalecký, TVAR COM.

Cíle řešení

Cílem řešení je ověřit možnosti separace a čištění black mass s cílem získání katodových materiálů vysoké kvality pro další uplatnění na trhu nebo pro přímou recyklaci. Výzkum bude zaměřen na detailní charakterizaci různých typů LIB a optimalizaci postupů fyzikálně-mechanické a termické úpravy black mass pro efektivní získávání kritických surovin z katodových materiálů (Li, Co, Ni), včetně zpracování baterií typu LiFePO₄. Součástí výzkumu bude také posouzení možností využití grafitu.

Cílem je zejména:

- Charakterizovat různé typy LIB z hlediska jejich chemického složení, konstrukce a chování při zpracování.
- Ověřit a optimalizovat procesy dočištění black mass po drcení, včetně odstranění nadsítné frakce v závislosti na typu drcení nebo způsobu vybíjení (mokrý, kryogenní).
- Testovat a vyhodnotit fyzikálně-mechanické a termické metody úpravy (např. mletí, klasifikace, pyrolýza, cílené rozpouštění) s cílem odstranění PVDF a uvolnění aktivních složek v black mass.
- Ověřit možnosti separace elektrolytu a zhodnotit potenciál jeho dalšího využití.
- Provést optimalizaci procesu flotace pro různé typy baterií a předúpravy, a stanovit limity účinnosti této metody pro získávání čistého anodového a katodového materiálu.
- Posoudit možnosti využití recyklovaného grafitu z anodové části baterií jako potenciální druhotné suroviny.

- Vyhodnotit hmotnostní a jakostní zastoupení jednotlivých frakcí a navrhnout kvalitativní parametry výstupních surovin pro jejich opětovné využití ve výrobě baterií.
- Navrhnout a připravit technologické schéma a základní vizualizaci linky pro úpravu black mass, včetně měřítkového přenosu výsledků z laboratorní úrovně směrem k průmyslové aplikaci.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI4.2/1 Vytvořen funkční vzorek katodového materiálu získaný recyklací odpadních baterií odpovídající materiálovému využití Cu a Ni > 95 %.
- KPI4.2/4 Dokončena komplexní integrovaná studie (LCA/MFA, uhlíková stopa, socioekonomické dopady) a vypracována sada doporučení pro státní správu a průmysl.

6.2.1 *Popis současného stavu*

Množství lithium-iontových baterií 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. Analýza německé výzkumné organizace Fraunhofer ISI odhaduje, že v r. 2020 bylo v Evropě recyklováno cca 50 kt LIB; do r. 2030 může tok materiálu vzrůst na 200–800 kt/rok (základní scénář cca 420 kt) a 1,1–3,3 Mt/rok do r. 2040. Současně platí, že aktuálně dominují odpady z výroby, zatímco hlavní vlna EoL trakčních baterií se projeví až po roce 2030–2035. Tok odpadních baterií v ČR tvoří převážně malé baterie ze spotřební elektroniky, náradí, e-kol a koloběžek; v r. 2023 cca 700 t.

LIB obsahují materiály, které jsou současně kritické i strategické pro evropský průmysl (Li, Co, Ni, grafit). Recyklace snižuje závislost na primární těžbě a dovozu, a tím i geopolitická rizika. Podle analýz JRC/RMIS může do r. 2040 pocházet v EU ze sekundárních zdrojů ~51 % Co, 42 % Ni a 9 % Li potřebných pro výrobu baterií, takže recyklace je nezbytným – nikoli však jediným – pilířem zabezpečení surovin. Dalším argumentem pro účinnou recyklaci LIB je bezpečnost a ochrana životního prostředí. Recyklace snižuje rizika požárů a úniků elektrolytů z neodborně skladovaných/likvidovaných článků a může přinášet úsporu primárních surovin a energie až v desítkách % oproti těžbě a rafinaci; zároveň ale vyžaduje řízení emisí (HF, VOC) a odpadních vod podle zvoleného procesu.

Nové nařízení EU o bateriích (EU) 2023/1542 mění pravidla v celém životním cyklu baterií a zavádí závazné cíle:

- Sběr: přenosné baterie 63 % do konce roku 2027 a 73 % do 2030; pro baterie *lehkých dopravních prostředků* (LMT) 51 % do 2028 a 61 % do 2031.

- Materiálové využití (recovery): Li 50 % do konce roku 2027 a 80 % do 2031; Co/Cu/Pb/Ni 90 % do 2027 a 95 % do 2031.
- Recyklační účinnosti: u lithiových baterií 65 % do konce roku 2025 a 70 % do 2030.

Kromě toho EU v březnu 2025 potvrdila klasifikaci „black mass“ jako nebezpečného odpadu, což zpřísňuje přeshraniční přepravu (zejména mimo OECD) a motivuje k jejímu zpracování v EU.

Recyklační metody je obecně možné rozdělit na pyrometalurgické a hydrometalurgické, v některých případech se uplatňují i metody přímé mechanické recyklace.

Před vlastním procesem recyklace, ať pyro- či hydro-metalurgickým, je potřebná příprava a předúprava baterií. Přípravou se obvykle rozumí například rozmontování větších celků (jako jsou battery-packy z elektromobilů) a vybití baterií, díky čemuž se sníží riziko exploze a požárů při dalším zpracování. Vybití se nejčastěji provádí ponořením baterií do nasyceného roztoku NaCl nebo Na₂SO₄. Alternativně je možné baterie řízeně zkratovat nebo baterie „dovybit“ a získanou energii využít, což v praxi může být rentabilní pouze u větších battery-packů.

Předúprava baterií má za cíl snížení objemu odpadních frakcí, např. plastových součástí, a zakoncentrování kovů. Před hydrometalurgickými procesy je předúprava nutná, aby se uvolnil aktivní materiál a také aby se odstranily složky, které mají rušivý vliv při loužení, např. Al a Cu.

Pro předúpravu mohou být použity metody termické, mechanické, fyzikální, chemické a mechano-chemické. Termické metody rozkládají organické složky, především nosič, který zajišťuje přilnutí aktivního materiálu na fólii katody. Mechanické a fyzikální metody mají za cíl uvolnit vnější plášť a rozdělit materiál na několik frakcí, přičemž je uvolněn aktivní materiál. Tyto metody spočívají v drcení nebo mletí materiálu s následnou separací magnetickou nebo pomocí vířivých proudů. Chemické metody využívají organická rozpouštědla nebo superkritické tekutiny k extrakci elektrolytu nebo rozpuštění nosiče.

Při pyrometalurgickém procesu se baterie zpracovávají ve vysokoteplotní peci, kde jsou přítomné kovy ve formě oxidů redukovány a vzniká slitina kobaltu, mědi, železa a niklu. Dalším produktem je struska, která obsahuje hliník, mangan a lithium. Organické složky baterie, jako je elektrolyt, polymerní nosič nebo elektrolytický separátor, se za zvýšené teploty rozkládají a odcházejí ve formě plynů. Plyny musí být dopalovány a čištěny, aby se zabránilo emisím nebezpečných látek, včetně VOC, dioxinů, HCl a HF. K dalšímu využití je použita slitina cenných kovů Co, Cu, Fe a Ni, zatímco lithium ze strusky je možné recyklovat pomocí hydrometalurgických metod, ale v praxi to není příliš časté z důvodu nízké ekonomické návratnosti. Obvykle se tedy v současnosti lithium neseparuje a zůstává ve strusce, která se využívá ve stavebnictví. K dalším nevýhodám (kromě ztráty lithia) patří vysoká spotřeba energie a nutnost čištění plynů. Naopak výhodou pyrometalurgického zpracování je relativní jednoduchost procesu bez nutnosti složité předúpravy.

Při hydrometalurgických procesech je aktivní materiál z baterií loužen ve vodných roztocích a cenné kovy jsou v několika krocích separovány a čištěny. Mezi hlavní výhody

hydrometalurgických procesů oproti pyrometalurgickým patří úspora energie, vzhledem k tomu, že probíhají při nízkých teplotách. Dále je to možnost získání Li ve formě Li_2CO_3 a dalších kovů přímo využitelných pro výrobu nových katodových materiálů. Mezi hlavní nevýhody se řadí produkce odpadních vod, poměrně vysoká složitost procesu a zejména nutnost předúpravy baterií s cílem uvolnit aktivní materiál a učinit jej přístupným k loužení. Jako loužicí činidla se tradičně používají silné anorganické kyseliny (HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , H_3PO_4). V poslední době se používají také organické kyseliny (citronová, octová, jablečná), které nepředstavují zátěž pro životní prostředí a je možné je recyklovat. Pro zvýšení účinnosti se přidává redukční činidlo, nejčastěji H_2O_2 nebo Na_2SO_5 .

V poslední době se pro zhodnocení black-mass intenzivně zkoumá proces flotace, a to ke zvýšení koncentrace kovů před hydrometalurgií: odstranění grafitu poskytuje homogennější a objemově menší kovový koncentrát, což usnadňuje následné získávání Co, Ni či Mn, a současně lze grafit získat jako hodnotný produkt. Princip flotace je založen na rozdílech ve smáčecivosti (hydrofobní částice jsou strhávány bublinkami vzduchu do pěny, hydrofilní zůstávají v podílu pod pěnou), v reálné black mass však hydrofobní polymerní pojiva (PVDF) a musí být před vlastní flotací odstraněny termickými nebo mechanickými procesy, případně rozpouštědly. Na ÚCHP AVČR byly provedeny pilotní flotační experimenty se slibnými výsledky a v rámci navrhovaného projektu s těmito experimenty pokračovat.

Environmentální a socioekonomické dopady recyklace odpadních Li-ion baterií

Dle výše uvedeného Nařízení (EU) 2023/1542 budou od února 2027 DPP digitální pasy povinné pro všechny průmyslové a trakční baterie ≥ 2 kWh. V lednu 2025 byl publikován první odvětvový standard DIN DKE SPEC 99100, který určuje strukturu povinných dat pro bateriové pasy. Paralelně platí Směrnice CSRD (2022/2464), zavádějící standardy ESRS pro zveřejňování informací o cirkularitě a dopadech na životní prostředí. Základním podkladem pro formální zavedení pasů byla také iniciativa Evropské komise Sustainable Products Initiative, v jejímž rámci je digitální pas chápán jako nástroj přechodu k oběhovému hospodářství. Ačkoli jsou metodiky LCA a MFA již dlouho zakotveny v normách ISO (14040/44, 14083), zůstává otevřenou otázkou, jak budou jejich výsledky integrovány do DPP a ESG reportingu. Dalším problémem je ochrana obchodního tajemství při sdílení dat a nutnost jejich aktualizace při opravě nebo opětovném použití. V tomto kontextu je úkolem projektu navrhnout metodu integrace výsledků LCA/MFA do digitálních pasů baterií a ukázat, jak mohou být tato data prakticky využita v rámci ESG/CSRD reportingu.

Nové recyklační technologie pro baterie vytvářejí značnou poptávku po kvalifikované pracovní síle. V roce 2024 analytici z Bruegelu zdůraznili nutnost rozšíření činnosti European Battery Alliance Academy (nyní InnoEnergy Skills Institute), aby bylo možné posílit rekvalifikace a zahrnout nedostatečně zastoupené skupiny pracovníků. To podtrhuje význam výzkumu zaměřeného na identifikaci kvalifikačních potřeb a přípravu vzdělávacích programů pro rekvalifikaci.

Dle výše uvedeného, viz Popis současného stavu u WP 4.1, je EU stále silně závislá na dovozu lithia, kobaltu a niklu z Číny a Konga. Bylo uvedeno, že v roce 2025 Evropská komise schválila 47 strategických projektů v oblasti těžby a recyklace kritických surovin, včetně

recyklace baterií. Jak bylo uvedeno v případě elektroodpadu, analýza německé výzkumné organizace Fraunhofer ISI (2025) přitom předpovídá, že recyklační kapacity Evropy překročí poptávku již v roce 2026. Přetrvávají však bariéry: vysoká volatilita cen, absence standardizace toků surovin a zdlouhavá povolovací řízení. Připravovaný projekt je aktuální tím, že může nabídnout scénáře přínosu recyklace k dosažení cílů CRMA právě v regionálním a odvětvovém kontextu.

Stejně jako v případě elektroodpadu, zůstává navzdory existujícím systémům sběr baterií pod cílovými hodnotami. Část toků i v případě baterií směřuje do nelegálního exportu. V letech 2024–2025 se objevily nové pilotní projekty: zálohové schéma pro baterie v Nizozemsku, buy-back programy IKEA a Electrolux, stejně jako herní iniciativa E-waste Race. V roce 2025 časopis Time zdůraznil, že recyklace baterií může výrazně snížit uhlíkovou stopu a spotřebu vody ve srovnání s primární těžbou. I zde ale prozatím chybí systematické srovnávací studie efektivity různých motivačních schémat. Je proto nutný další empirický výzkum, který by mohl navrhnout funkční strategie zapojení obyvatel i firem.

Z výše uvedených bodů popisu současného stavu je evidentní, že rychlost vývoje legislativního rámce EU je velmi významná. Vedle Nařízení o bateriích bylo přijato nové Nařízení o obalech (PPWR, 2023/2411) a probíhá revize, zde mnohokrát zdrojované, Směrnice WEEE. Podle Transport & Environment (2024) může recyklace do roku 2030 pokrýt až 25 % poptávky EU po kobaltu a až 14 % po lithiu. Jak bylo uvedeno výše, Fraunhofer ISI (2024) rovněž uvádí, že recyklační kapacity v EU rychle rostou a do roku 2026 dosáhnou cca 420 tis. tun/rok. V tomto kontextu hrají důležitou roli také výše uvedená schémata rozšířené odpovědnosti výrobce (EPR), která Evropská agentura pro životní prostředí považuje za klíčový nástroj pro zvýšení míry recyklace. Pro Českou republiku zůstávají klíčovými výzvami příprava infrastruktury pro DPP a adaptace národních mechanismů EPR na novou evropskou legislativu, o čemž podrobně informuje MŽP ČR (2023). Je proto nutné připravit praktická doporučení pro unifikaci procesů, podporu průmyslu a posílení dohledu.

Seznam použité literatury:

- Costa, C. M., Barbosa, J. C., Gonçalves, R., Castro, H., Campo, F. J. D., & Lanceros-Méndez, S. (2021). Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities. *Energy Storage Materials*, 37, 433–465. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.02.011>
- Winslow, K. M., Laux, S. J., & Townsend, T. G. (2018). A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.001>
- Mossali, E., Picone, N., Gentilini, L., Rodriguez, O., Pérez, J. M., & Colledani, M. (2020). Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments. *Journal of Environmental Management*, 264, 110500. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110500>

- Meshram, P., Pandey, B. D., & Mankhand, T. R. (2014). Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy*, 150, 192–208. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.10.012>
- Bai, Y., Hawley, W.B., Jafta, C.J., Muralidharan, N., Polzin, B.J., Belharouak, I., 2020. Sustainable recycling of cathode scraps via Cyrene-based separation. *Sustain. Mater. Technol.* 25, e00202. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00202>
- Buken, O., Mancini, K., Sarkar, A. (2021). A sustainable approach to cathode delamination using a green solvent. *RSC Advances*, 11(44), 27356-27368. <https://doi.org/10.1039/D1RA04922D>
- Milian, Y. E., Jamett, N., Cruz, C., Herrera-León, S., Chacana-Olivares, J. (2024). A comprehensive review of emerging technologies for recycling spent lithium-ion batteries. *Science of The Total Environment*, 910, 168543. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168543>
- Nazari, S., Li, J., Khoshdast, H., Li, J., Ye, C., He, Y., Hassanzadeh, A. (2023). Effect of roasting pretreatment on micro-nanobubble-assisted flotation of spent lithium-ion batteries. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 2113-2128. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.133>
- Sarkar, A., May, R., Ramesh, S., Chang, W., Marbella, L. E. (2021). Recovery and Reuse of Composite Cathode Binder in Lithium Ion Batteries. *ChemistryOpen* 10, 545. <https://doi.org/10.1002/open.202100060>
- Vanderbruggen, A., Hayagan, N., Bachmann, K., Ferreira, A., Werner, D., Horn, D., Peuker, U., Serna-Guerrero, R., Rudolph, M. (2022). Lithium-Ion Battery Recycling—Influence of Recycling Processes on Component Liberation and Flotation Separation Efficiency. *ACS ES&T Engineering* 2(11), 2130-2141. <https://doi.org/10.1021/acsestengg.2c00177>
- Zhang, G.; He, Y.; Wang, H.; Feng, Y.; Xie, W.; Zhu, X. (2020). Removal of Organics by Pyrolysis for Enhancing Liberation and Flotation Behavior of Electrode Materials Derived from Spent Lithium-Ion Batteries. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 8, 2205– 2214. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b05896>
- European Union. (2023). *Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council on batteries and waste batteries*. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1542>.
- DIN, DKE. (2025, February). *DIN DKE SPEC 99100:2025-02 – Requirements for data attributes of the Battery Passport*. Berlin. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.31030/3582101>
- European Union. (2022). *Directive (EU) 2022/2464 on corporate sustainability reporting (CSRD)*. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022L2464>

- European Commission. (2022). *Sustainable Products Initiative: Digital Product Passport*. Brussels. Dostupné z: https://environment.ec.europa.eu/publications/sustainable-products-initiative_en
- International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO 14083: Greenhouse gases – Quantification and reporting of GHG emissions*. Geneva: ISO.
- Hydrovolt. (2022, 10 May). *Hydrovolt opens Europe's largest EV battery recycling plant in Fredrikstad, Norway*. Press release. Dostupné z: <https://www.hydro.com/en/media/news/2022/hydrovolt-opens-europes-largest-ev-battery-recycling-plant>.
- McCaffrey, C., & Poitiers, N. (2024, 16 January). *Making industrial policy work: a case study on the European Battery Alliance Academy*. Bruegel Working Paper 01/2024. Brussels. Dostupné z: <https://www.bruegel.org/working-paper/making-industrial-policy-work-case-study-european-battery-alliance-academy>.
- European Commission. (2023). *Critical Raw Materials factsheets*. Brussels. Dostupné z: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en.
- European Commission. (2025, 24 March). *Commission selects 47 Strategic Projects to secure and diversify access to critical raw materials in the EU*. Press release. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_864.
- Stephan, M. (2025, 24 July). *Recycling capacities for lithium-ion batteries will exceed demand in Europe for the time being*. Fraunhofer ISI Battery Update. Dostupné z: https://www.isi.fraunhofer.de/en/blog/themen/batterie-update/batterie-recycling_europa_kapazitaeten_bedarf_update_2025.html.
- Harper, G., et al. (2019). *Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles*. Nature, 575, 75–86.
- Binnemans, K., et al. (2020). *Critical raw materials and the circular economy*. Journal of Cleaner Production, 267, 121971.
- Eurostat. (2024, October). *Waste statistics – electrical and electronic equipment (WEEE). Statistics Explained*. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment.
- Holland Circular Hotspot. (2024). *E-waste Race: Local collection of old electronic devices*. Dostupné z: <https://hollandcircularhotspot.nl/case/e-waste-race-local-collection-of-old-electronic-devices/>.
- Donback, N. (2025, 31 July). *How Recycling EV Batteries Can Power the Green Transition*. TIME. Dostupné z: <https://time.com/7306177/ev-battery-recycling/>.

European Union. (2023). *Regulation (EU) 2023/2411 on packaging and packaging waste (PPWR)*. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R2411>.

Transport & Environment. (2024, 12 December). *From waste to value: the potential for battery recycling in Europe*. Brussels: T&E. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/articles/from-waste-to-value-the-potential-for-battery-recycling-in-europe>.

Fraunhofer ISI. (2024, 7 August). *Battery recycling in Europe continues to pick up speed*. Karlsruhe. Dostupné z: <https://www.isi.fraunhofer.de/en/presse/2024/battery-recycling-continues-to-pick-up-speed.html>.

European Environment Agency (EEA). (2021). *Extended producer responsibility in the EU: Development of guidance on EPR*. Copenhagen. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/target_review/Guidance%20on%20EPR%20-%20Final%20Report.pdf.

Ministerstvo životního prostředí ČR. (2023). *Implementace nové legislativy EU v oblasti odpadů*. Praha. Dostupné z: <https://www.mzp.gov.cz/cz/evropska-unie>.

6.2.2 Metody a postup řešení

T4.2.1: Získávání a úprava vysoce kvalitní black mass z Li-ion baterií.

VA4.2./1 Sběr a předúprava baterií (ASEKOL) 01/2026-12/2028.

- Zajištění sběru a dodávek vybraných typů LIB včetně jejich třídění dle chemického složení a konstrukce.
- Poskytnutí dat o objemech a typech baterií dostupných v rámci ČR/EU.

VA4.2./2 Charakterizace a hodnocení (VŠB-TUO/FMT, VŠCHT/FCHT-ÚKMKI, ASEKOL) 01/2026-12/2027.

- Návrh analytických metod pro charakterizaci vstupních materiálů a specifických parametrů a pro vyhodnocení chování materiálů v průběhu termochemických experimentů.
- Chemická a fázová analýza black mass a recyklovaných produktů.
- Vyhodnocení účinnosti jednotlivých kroků úpravy a recyklace.
- Návrh kvalitativních parametrů druhotných surovin pro jejich opětovné využití ve výrobě baterií.

VA4.2/3 Fyzikálně-mechanické a termické procesy úpravy black mass (SD, TVAR COM, ÚCHP, VUT) 04/2026-06/2028.

- Postupy pro dočištění black mass po drcení, odstranění nadsítné frakce z black mass, a to v závislosti na typu drcení či způsobu vybíjení (mokré, kryogenní apod.)

- Testování fyzikálně-mechanických a termických metod (mletí, klasifikace, pyrolýza, cílené rozpouštění) a jejich vlivu na odstranění PVDF a liberaci black mass dle typu baterií (LiFePo, LCO, NMC).
- Ověření a optimalizace procesu flotace v závislosti na typu baterie a procesu předúpravy baterií.
- Nalezení hranic účinnosti flotace jako postupu pro získávání čistého anodového a katodového materiálu metodami přímé regenerace nebo hydrometalurgickým zpracováním.
- Separace elektrolytu a zhodnocení možností jeho dalšího využití.
- Návrh technologických procesů a zařízení pro úpravu black mass s cílem zvýšit podíl tržně využitelných složek, zvětšování měřítka na základě získaných laboratorních zkušeností. Návrh a příprava technologických schémat a vizualizací linek pro potenciální průmyslové řešení.
- Vyhodnocení hmotnostního a jakostního zastoupení jednotlivých frakcí.

VA4.2./4 Aplikační rámec a transfer do praxe (SD) 06/2026-12/2028.

- Ověření patentovaných technologií na materiálech dodaných SD a.s.
- Vývoj originálních technologických postupů a metodik pro zpracování odpadních Li-ion baterií, včetně stanovení podmínek deaktivace baterií kryogenním postupem, úpravy black mass a následné úpravy elektrolytu.
- Příprava podkladů pro budoucí průmyslovou implementaci rozšířené recyklační linky v lokalitách SD (využití brownfieldů).

Očekávané přínosy:

- Pilotní technologie recyklace LIB včetně ověřeného procesu úpravy black mass.
- Metodika a popis zpracovatelského postupu pro mechanickou a termickou úpravu black mass (standardizované protokoly, které umožní dosažení vyšší čistoty a výtěžnosti cílových kovů).
- Ověřené technologické postupy s potenciálem patentové ochrany (nové nebo modifikované postupy úpravy a recyklace, které přinesou konkurenční výhodu a budou připraveny k transferu do průmyslové praxe).
- Databáze chemického složení a výtěžností kovů z různých typů LIB (unikátní zdroj dat pro návrh optimálních recyklačních procesů a predikci ekonomické návratnosti).
- Vzorky recyklovaných surovin (Co, Ni, Li) vhodných pro výrobu nových bateriových materiálů.

T4.2.2: Environmentální a socioekonomické dopady

Zajistit environmentálně a socioekonomicky udržitelný rámec pro recyklaci elektroodpadu. Bude vytvořen udržitelný rámec pro recyklaci elektroodpadu prostřednictvím rozšíření LCA/MFA analýz o uhlíkovou stopu a scénáře dekarbonizace. Výsledky budou integrovány do digitálních pasů a ESG reportingu. Současně budou hodnoceny socioekonomické dopady na trh práce, modelován přínos k soběstačnosti EU a navrženy motivační strategie pro zvýšení zpětného odběru. Dále budou vypracována politická a legislativní doporučení pro státní správu a průmysl.

VA4.2/5 Komplexní hodnocení technologií (VŠCHT/FTOP-SUPRE, VŠB-TUO/FMT) 01/2026-12/2028.

- Provedení analýzy životního cyklu (LCA) a modelování materiálových toků (MFA) systémů recyklace odpadních baterií včetně výpočtu uhlíkové stopy.
- Navržení scénářů dekarbonizace s ohledem na cíle Zelené dohody pro Evropy (Green Deal), Fit for 55 a EU Taxonomie.

VA4.2/6 Digitální pasy a data pro ESG reporting (VŠCHT/FTOP-SUPRE, VŠB-TUO/FMT, ASEKOL) 04/2027-12/2028.

- Návrh zapojení výsledků LCA/MFA do digitálních pasů baterií.
- Možnosti využití těchto dat v rámci ESG/CSRD reportingu podniků.

VA4.2/7 Socioekonomické dopady a trh práce (VŠB-TUO/FMT) 01/2027-12/2028.

- Analýza dopadů nových recyklačních technologií na zaměstnanost, kvalifikační potřeby a vzdělávací systém.
- Identifikace možností rekvalifikací a vzniku nových pracovních míst v sektoru recyklace.

VA4.2/8 Strategická soběstačnost a resilience EU (VŠCHT/FTOP-SUPRE, VŠB-TUO/FMT, ÚCHP) 04/2027-12/2028.

- Modelování přínosu recyklace k zajištění dostupnosti kritických surovin (Li, Co, Ni, Nd, Dy).
- Hodnocení snížení závislosti na dovozech z geopoliticky rizikových oblastí.

VA4.2/9 Společenská přijatelnost a participace spotřebitelů (ASEKOL, VŠB-TUO/FMT) 04/2027-12/2028.

- Studie chování domácností a firem při sběru baterií.
- Návrh motivačních strategií a doporučení pro zvýšení míry zpětného odběru a následně využití OEEZ.
- Ověření opravitelnosti vybraných skupin bateriových zařízení a produktů s integrovanými akumulátory (např. možnost výměny baterií či klíčových komponent) a formulace doporučení pro ekodesign podporující prodloužení životnosti výrobků a snížení množství odpadu.

VA4.2/10 Politické a legislativní doporučení (VŠB-TUO/FMT, CENIA) 10/2027-12/2028.

- Analýza dopadů nové legislativy EU (Batteries Regulation, PPWR, CRM Act) na ČR.
- Návrh opatření pro státní správu a průmysl k jejich efektivní implementaci.

Očekávané přínosy:

- Integrované studie environmentálních, ekonomických, socioekonomických a strategických aspektů recyklace.
- Scénáře dekarbonizace ukazující přínos recyklace k dosažení národních a evropských klimatických cílů.
- Interaktivní rozhodovací nástroj umožňující simulaci a porovnávání variant recyklace z

hlediska LCA indikátorů, nákladovosti, dopadů na trh práce a dostupnosti surovin.

- Návrh zapojení výsledků do digitálních pasů a ESG reportingu.
- Odborná doporučení pro státní správu a průmysl v oblasti podpory recyklace, integrace principů ekodesignu a rozvoje cirkulární ekonomiky v souladu s legislativou EU.
- Podklady pro strategické materiálové plánování ČR (soběstačnost, resilience, krizové scénáře).

Nástin činnosti pro roky 2029–2032:

Je plánovaná výzkumná činnost zaměřena na ověření zkoumaných postupů pro zhodnocení black-mass na reálném materiálu získaném z pilotní jednotky pro zpracování Li-ion baterií, která by měla vzniknout ve společnosti Severočeské doly, a.s. Budou zkoumány vlastnosti materiálů na výstupu z pilotní jednotky, a to v závislosti na parametrech procesu a typu baterií na vstupu. Dále budou posouzeny možnosti úpravy získané black mass vedoucí ke zvýšení obsahu cenných složek.

6.2.3 *Výsledky a jejich uplatnění*

V rámci WP4.2 budou vytvořeny ověřené metodiky a technologické postupy pro efektivní předúpravu, separaci a čištění *black mass* z odpadních Li-ion baterií, vedoucí k získání katodových a anodových materiálů ve vysoké kvalitě. Součástí výstupů bude databáze chemického a fázového složení různých typů baterií (NMC, NCA, LCO, LFP) a protokoly optimalizovaných fyzikálně-mechanických a termických úprav, včetně flotace, pyrolytických a selektivně rozpouštěcích procesů. Tyto metodiky umožní dosažení stabilní a reprodukovatelné kvality *black mass* pro následnou hydrometalurgii nebo přímou regeneraci.

Klíčovým výsledkem budou funkční vzorky recyklovaných katodových a anodových materiálů (battery-grade), které prokážou průmyslovou využitelnost navržených procesů a připraví podmínky pro transfer technologií do praxe. Paralelně budou vypracována procesní schémata a hmotnostní bilance recyklačních linek, připravená k využití při návrhu a budoucím škálování průmyslových provozů v ČR i EU.

Součástí výsledků budou také integrované LCA/MFA studie recyklace LIB, hodnotící environmentální a socioekonomické dopady jednotlivých scénářů. Výstupy budou zahrnovat uhlíkovou stopu recyklačních procesů, scénáře dekarbonizace a modelování přínosu recyklace LIB k surovinové soběstačnosti ČR a EU. Tyto výsledky budou využity při tvorbě digitálních pasů baterií a pro podporu ESG/CSRD reportingu podniků, čímž posílí transparentnost a standardizaci vykazování recyklovaného obsahu.

Výstupy WP4.2 tak naleznou uplatnění jak v průmyslové praxi, kde přispějí k rozvoji recyklačních technologií a snížení závislosti na primárních zdrojích, tak ve státní správě, která získá datově podložené podklady pro strategické materiálové plánování, povolovací procesy a implementaci evropské legislativy (Batteries Regulation, CRM Act, Circular

Economy Act). Znalostní a metodické výstupy budou využitelné i ve výzkumu a vzdělávání, kde podpoří rozvoj kvalifikací a vzdělávacích programů v oblasti recyklace baterií a kritických surovin.

Klíčovým výsledkem budou funkční vzorky recyklovaných katodových a anodových materiálů (battery-grade), které prokážou průmyslovou využitelnost navržených procesů a připraví podmínky pro transfer technologií do praxe. Paralelně budou vypracována procesní schémata a hmotnostní bilance recyklačních linek, připravená k využití při návrhu a budoucím škálování průmyslových provozů v ČR i EU.

Součástí výsledků budou také integrované LCA/MFA studie recyklace LIB, hodnotící environmentální a socioekonomické dopady jednotlivých scénářů. Výstupy budou zahrnovat uhlíkovou stopu recyklačních procesů, scénáře dekarbonizace a modelování přínosu recyklace LIB k surovinové soběstačnosti ČR a EU. Tyto výsledky budou využity při tvorbě digitálních pasů baterií a pro podporu ESG/CSRD reportingu podniků, čímž posílí transparentnost a standardizaci vykazování recyklovaného obsahu.

Výstupy WP4.2 tak naleznou uplatnění jak v průmyslové praxi, kde přispějí k rozvoji recyklačních technologií a snížení závislosti na primárních zdrojích, tak ve státní správě, která získá datově podložené podklady pro strategické materiálové plánování, povolovací procesy a implementaci evropské legislativy (Batteries Regulation, CRM Act, Circular Economy Act). Znalostní a metodické výstupy budou využitelné i ve výzkumu a vzdělávání, kde podpoří rozvoj kvalifikací a vzdělávacích programů v oblasti recyklace baterií a kritických surovin.

Výsledky v rámci WP4.2 tedy budou tyto:

WP4.2/1 – Katodový materiál získaný recyklací odpadních baterií (6/2028), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek katodového materiálu získaný separací a zakoncentrováním z black mass pocházející z odpadních Li-ion baterií. Při recyklaci bude dosaženo materiálového využití Cu a Ni > 95 % v souladu s cíli nařízení EU o bateriích (EU) 2023/1542.

WP4.2/2 – Anodový materiál získaný recyklací odpadních baterií (6/2028), typ výsledku: Funkční vzorek (Gfunk).

Jedná se o funkční vzorek anodového materiálu získaný separací a zakoncentrováním z black mass pocházející z odpadních Li-ion baterií. Cílem bude demonstrovat možnosti recyklace grafitu z Li-ion baterií.

WP4.2/3 – Integrovaná analýza dopadů všech tří legislativních aktů na hospodářství ČR (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Odborná zpráva shrne komplexní analýzu socioekonomických dopadů zavádění nových recyklačních technologií odpadních baterií. Dokument vyhodnocuje vliv na trh práce (zaměstnanost, nové profesní profily, rekvalifikace), dopady na kvalifikační potřeby a vzdělávací systém, a současně modeluje přínosy recyklace k dosažení strategické

soběstačnosti a resilience EU v oblasti kritických surovin. Zpráva bude obsahovat rovněž doporučení pro státní správu, průmysl a vzdělávací instituce k efektivnímu využití výsledků a k implementaci v souladu s legislativou EU (CRM Act, PPWR, Green Deal).

WP4.2/4 – Publikace v impaktovaném časopise (12/2028), typ výsledku: Jimp

Článek shrnující výsledky v oblasti separace a zhodnocení black mass, zaměřený především na problematiku flotace.

Ostatní výsledky budou následující:

WP4.2/5 – Analýza dopadů Batteries Regulation, PPWR a CRM Act na ČR (12/2026), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Identifikace prvních rizik a příležitostí pro klíčová průmyslová odvětví.

WP4.2/6 – Scénáře dopadů nové legislativy na elektroprůmysl, automobilový sektor a recyklační kapacity (12/2027), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Návrh předběžných opatření pro státní správu a průmysl.

WP4.2/7 – Návrh opatření pro státní správu k efektivní implementaci nové legislativy EU (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Doporučení pro průmyslovou praxi v oblasti výroby, recyklace a oběhového hospodářství. Návrhy na legislativní změny v ČR pro sladění s evropskými požadavky. Soubor doporučení předložený k využití MPO, MŽP a dalším resortům.

WP4.2/8 – Analýza socioekonomických dopadů recyklace Li-ion baterií (12/2028), typ výsledku: O – ostatní výsledek.

Odborná zpráva shrne komplexní analýzu socioekonomických dopadů zavádění nových recyklačních technologií odpadních Li-ion baterií. Dokument vyhodnotí vliv na trh práce (zaměstnanost, nové profesní profily, rekvalifikace), dopady na kvalifikační potřeby a vzdělávací systém, a současně modeluje přínosy recyklace k dosažení strategické soběstačnosti a resilience EU v oblasti kritických surovin. Zpráva bude obsahovat rovněž doporučení pro státní správu, průmysl a vzdělávací instituce k efektivnímu využití výsledků a k implementaci v souladu s legislativou EU (CRM Act, PPWR, Green Deal).

6.2.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě

Výsledky plánovaných činností v oblasti recyklace lithium iontových baterií (LIB) jsou využitelné pro průmyslové partnery i pro veřejnou správu. Pro průmyslové partnery přinesou ověřené metodiky a funkční vzorky pro kvalitní předúpravu a čištění black mass a pro následný materiálový zisk kritických prvků (Li, Co, Ni) v parametrech vhodných pro další využití ve výrobě bateriových materiálů. Na straně státní správy budou výstupy sloužit jako datově podložené podklady pro strategické plánování, povolovací řízení a monitoring plnění cílů podle evropské legislativy, včetně navrhování účinných nástrojů podpory a kontroly.

A) Přímý aplikační dopad ve firmách a u průmyslových partnerů

- Metodiky předúpravy a čištění black mass: Ověření a optimalizace fyzikálně mechanických a termických postupů (mletí, klasifikace, pyrolýza, flotace; vč. vlivu typu drcení a vybíjení) s cílem dosáhnout stabilní kvality black mass pro přímou regeneraci katod/anod či pro hydrometalurgii. Výstupem budou standardizované protokoly a návrhy procesních parametrů pro různé typy baterií (NMC/NCA, LCO, LFP).
- Funkční vzorky recyklovaných materiálů: Příprava funkčního vzorku katodového a anodového materiálu jako průkaz průmyslové proveditelnosti a kvality recyklátu pro „battery grade“ aplikace.
- Procesní návrhy a škálování: Návrh technologických schémat a hmotnostních bilancí recyklačních linek včetně návrhů zařízení pro zvětšování měřítka.

B) Potenciál pro využití ve státní správě.

- Monitoring plnění evropské legislativy v oblasti plnění cílů nařízení o bateriích a národních a evropských klimatických cílů.
- Digitální pasy baterií a ESG/CSRD: Návrh zapojení výsledků LCA/MFA a kvality recyklátů do digitálních pasů baterií a do ESG/CSRD reportingu podniků podpoří standardizované vykazování a sledovatelnost recyklovaného obsahu v praxi.
- Odborná doporučení pro státní správu a průmysl v oblasti podpory recyklace, integrace principů ekodesignu a rozvoje cirkulární ekonomiky v souladu s legislativou EU.
- Podklady pro strategické materiálové plánování ČR (soběstačnost, resilience, krizové scénáře).

6.2.5 Harmonogram řešení

Níže je uveden Ganttův diagram řešení WP4.2 a klíčové milníky řešení.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP4.2													
T4.2.1.	VA4.2./1												
	VA4.2./2												
	VA4.2./3												
	VA4.2./4												
T4.2.2.	VA4.2./5												
	VA4.2./6												
	VA4.2./7												
	VA4.2./8												
	VA4.2./9												
	VA4.2./10												
Výstupy													

Milníky:

- M4.2/1 – 12/2026 – vytvořen návrh analytických metod pro charakterizaci vstupních a výstupních materiálů a pro vyhodnocení účinnosti zkoumaných procesů.
- M4.2/2 – 06/2027 – identifikovány postupy pro předúpravu odpadních baterií s cílem získání vstupní suroviny pro flotační experimenty.
- M4.2/3 – 12/2027 – otestována čidla a podmínky pro flotační experimenty a navrženy parametry procesů pro získání materiálů vysoké kvality.
- M4.2/4 – 06/2027 – zpracovány dílčí výsledky LCA/MFA a návrh scénářů dekarbonizace.

7 WP5 Surovinová bezpečnost, materiálové toky a cirkularita strategických a kritických surovin (SRM+CRM)

Vedoucí WP: Pavel Kavina, ČGS.

Další řešitelé včetně organizace: Karolína Jindřiška Nová, CENIA; Vladimír Kočí, VŠCHT; Martin Pavlas a Radovan Šomplák, VUT v Brně; Kamila Pokorná, VŠB–TUO; Pavel Sokol, Asociace stavebních alternativních materiálů (ASAM); Pavel Dalecký, TVAR COM spol. s r.o.; Jozef Vlček, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Dalibor Mašek, ČGS, Michal Šyc, ÚCHP AVČR.

Cíle řešení

Evropský kontinent, a spolu s ním i Česká republika, se z hlediska své surovinové bezpečnosti v současnosti nachází ve velmi nekonformní a nesnadné situaci.

V průběhu “surovinově bezstarostných” 70., 80., a 90. let 20. století docházelo v Evropě k postupné uzavírce mnoha těžných ložisek nerostných surovin a tím i k poklesu objemu domácí evropské produkce řady nerostných surovin. V té době, kdy byl na světovém trhu dostatek snadno dostupných a relativně levných nerostných komodit, se takový postup zdál jako správné řešení, které evropskému kontinentu přinese snížení znečištění životního prostředí. Díky této politice však současně postupně rostla závislost evropských zemí na dovozech mnoha druhů nerostných surovin.

Po změně principů fungování světového trhu nerostných surovin, ke kterému docházelo v první a druhé dekádě 21. století v souvislosti s rozsáhlou modernizací a průmyslovým rozvojem mnoha někdejších rozvojových zemí, docházelo k přesunu produkce naprosté většiny nerostných komodit mimo evropský kontinent a Evropa se stala vysoce dovozně závislou na celém spektru často velmi specifických a mnohdy velmi strategických nerostných komodit. V kombinaci se systematickým budováním čínské dominance v produkci širokého spektra nerostných komodit (dle posledního vydání prestižní mezinárodní statistické ročenky Welt Bergbau Daten 2025 je Čína monopolním, dominantním nebo alespoň největším světovým producentem 28 nerostných komodit) je evropský kontinent reálně ohrožen na své nezávislosti, má nebezpečně vysokou dovozní závislost na příliš širokém spektru surovin a je díky tomu vydíratelný. Ukazuje se, že se zajištění odpovídající surovinové bezpečnosti státu stává čím dál tím více součástí národní bezpečnosti evropských zemí, tedy i ČR. Tato pro Evropu nevýhodná situace je dále umocněna faktem, že i u komodit, kde Čína není dominantním producentem primární suroviny, ovládá zpravidla dominantně rafinaci či vlastní výrobu dané komodity.

Pro Evropu a tím i pro Českou republiku z toho vyplývá řada nových výzev, mimo jiné také nutnost situaci na světovém trhu nerostných surovin velice pečlivě sledovat, situaci dobře rozumět a správně analyzovat nově vznikající trendy, které z logiky věci v naprosté většině vznikají mimo evropský kontinent. To je způsobeno faktem, že ačkoliv je Evropa jako kontinent stále poměrně významným spotřebitelem nerostných surovin, je v naprosté většině případů jejich nevýznamným producentem. Tato dysbalance pak vede k tomu, že

nové trendy v surovinovém průmyslu logicky vznikají především v zemích někdejšího třetího světa, často např. v Asii.

Evropská komise si je tohoto ohrožení vědoma a v posledních letech sílí snahy posílit surovinovou bezpečnost EU. Velmi inspirativní jsou pro evropská opatření aktivity a strategie některých mimoevropských, zejména asijských zemí, které zajištění přiměřené surovinové bezpečnosti považují dlouhodobě za svoji bezpečnostní prioritu (např. Japonsko se této problematice systémově věnuje více než 65 let, Jižní Korea více než 35 let). Inspirována těmito postupy a výše popsány ohroženími, přijala Evropská komise již v roce 2008 strategický materiál Raw Materials Initiative (RMI) a na jaře 2024 také první legislativní dokument Critical Raw Materials Act (CRMA), ze kterých vyplývá jasná priorita pro opatření, která zvýší surovinovou bezpečnost EU, sníží vysokou dovozní závislost evropského kontinentu na dodávkách strategických surovin a sníží riziko zneužití dominance některých zemí na světovém trhu s nerostnými komoditami. CRMA přímo ukládá členským státům EU do roku 2030 jednotlivé povinnosti, mezi nimi i fakt, že z každé jedné třetí země nesmí pocházet více než 65 % roční potřeby EU každé jedné strategické suroviny v jakékoli relevantní fázi zpracování. Pro dosažení tohoto cíle je nezbytné co nejpřesněji identifikovat materiálové toky jednotlivých zájmových komodit, a to jak přeshraniční (pokrývá WP5.1), tak i vnitrostátní (WP5.2).

Součástí řešení této části bude zpracování rozsáhlých, dosud systematicky nezpracovávaných souborů dat, jejich interpretace a tvorba analýz, které poskytnou stakeholderům relevantní informace pro možné budoucí využívání strategických a kritických surovin z primárních i sekundárních zdrojů. Součástí části WP5.3 bude zpracování sady scénářů různého vývoje české surovinové bezpečnosti. Pro dosažení dalších závazných cílů CRMA (nejméně 10% spotřeby CRM pokrývat pomocí domácí (evropské) těžby; nejméně 40% spotřeby CRM zpracovávat na teritoriu EU a nejméně 25% spotřeby CRM pokrývat pomocí recyklace) je třeba řady vzájemně provázaných dílčích opatření, která budou v rámci řešení projektu navrženy v části WP5.3. V této části budou také hodnoceny výstupy doporučení ostatních dílčích částí projektu (ostatních WP) z hlediska jejich potenciálu zvýšit surovinovou bezpečnost ČR. Přechozí WP1 až WP4 se soustředí na konkrétní ložiska, lokality nebo specifické odpadové toky a identifikují spektrum SRM a CRM v České republice potenciálně dostupné. WP5 na problém nahlíží perspektivou konkrétní suroviny a informace integruje do celku.

Cílem řešení WP5 je tedy zmapovat podrobně materiálové toky jednotlivých strategických a kritických surovin, a to jak přeshraniční materiálové toky kritických nerostných dovnitř ČR, přeshraniční materiálové toky z ČR, tak i vnitrostátní materiálové toky kritických nerostných surovin s cílem pokusit se kvantifikovat skutečnou spotřebu jednotlivých CRM a identifikovat co nejpřesněji jejich dodavatelské řetězce. V návaznosti na to identifikovat možné scénáře surovinové bezpečnosti naší země a navrhnout účinná a co nejvíce efektivní opatření pro zvýšení surovinové bezpečnosti České republiky. Tyto scénáře budou zahrnovat výsledky řešení předchozích WP1 až WP4.

7.1 WP5.1: Analýza přeshraničních materiálových toků strategických a kritických surovin (SRM+CRM)

Vedoucí WP5.1: Pavel Kavina, ČGS.

Další řešitelé včetně organizace: Martin Pavlas a Radovan Šomplák VUT v Brně; Karolína Jindřiška Nová, CENIA.

Cíle řešení

Cílem řešení WP5.1 je detailní zmapování a komplexní analýza přeshraničních materiálových toků strategických a kritických nerostných surovin (SRM+CRM), včetně vybraných souvisejících polotovarů těchto komodit za reprezentativní časový úsek posledních 10 let (např. údaje za roky 2016 až 2025), a to jak na straně dovozu (importu), tak na straně vývozu (exportu, případně reexportu). Pro možnost zpracování takových analýz, včetně určení zdrojových teritorií českého importu SRM+CRM, správné identifikace nepravých zdrojových teritorií, stejně jako zmapování cílových teritorií českého exportu, resp. reexportu SRM+CRM, musí dojít ke správnému přiřazení jednotlivých SRM+CRM (dle posledního dostupného seznamu, který vydala Evropská komise v roce 2023) k odpovídajícím položkám celního sazebníku v členění HS4, HS6, resp. HS8. Posledním cílem řešení WP5.1 je kvantifikace české dovozní závislosti pro jednotlivé SRM+CRM a kvantifikace dovozní závislosti na dominantních teritoriích, včetně zpracování metodiky těchto výpočtů.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI5.1/1 Do analýzy dovozu budou zahrnuty údaje za celní položky popisující přeshraniční materiálové toky nejméně 26 z 34 (více než 75 %) SRM+CRM komodit (přednostně SRM+CRM relevantní pro českou surovinovou bezpečnost) dle seznamu vydaného EK v roce 2023.
- KPI5.1/2 Do analýzy vývozu (reexportu) budou zahrnuty celní položky popisující přeshraniční materiálové toky nejméně 26 z 34 (více než 75 %) SRM+CRM komodit (přednostně SRM+CRM relevantní pro českou surovinovou bezpečnost) dle seznamu vydaného EK v roce 2023.

7.1.1 Popis současného stavu

Současná situace v oblasti přeshraničních materiálových toků kritických nerostných surovin do / z ČR ukazuje na velmi silnou provázanost tuzemského hospodářství s globálními dodavatelskými řetězci. ČR (podobně jako většina ostatních evropských zemí) těží sama jen omezené spektrum nerostných surovin (zejména nerudní a stavební suroviny) a naprostá většina strategických a kritických surovin (SRM+CRM) se do země dostává formou

dovozu, a to buď přímo z mimoevropských zemí původu, nebo prostřednictvím distribučních uzlů v rámci EU. Z této skupiny komodit jsou do ČR ve významnějších objemech dováženy např. grafit, fluorit, hořčík, titan, mangan, wolfram, kobalt, molybden, tantal, některé vzácné zeminy, platinové kovy či antimon. Tyto materiály jsou nezbytné např. pro výrobu baterií, polovodičů, katalyzátorů, magnetů či speciálních slitin, a tedy i pro klíčová odvětví českého průmyslu – automobilový, elektrotechnický a chemický sektor. Dovozy přes distribuční uzly na území EU či přes sousední země, a to i v případech, kdy je původ surovin prokazatelně vázán na mimoevropské země, mohou být v některých případech dezinterpretovány a hrát roli tzv. nepravých zdrojových teritorií, což může vést k nesprávným výpočtům skutečné dovozní závislosti jednotlivých členských států EU, včetně ČR. Český průmysl je tedy vystaven rizikům spojeným s geopolitickou nestabilitou a koncentrací dodávek v několika málo zemích.

Na vývozní straně ČR nefiguruje zpravidla jako významný dodavatel primárních surovin, ale má silnou pozici v oblasti exportu průmyslových výrobků s vysokou přidanou hodnotou. Do zahraničí proudí především automobily, elektronika a strojírenské výrobky, jejichž výroba je přímo závislá na dovozu speciálních komodit, často ze skupiny strategických či kritických surovin. Z hlediska materiálových toků tak ČR funguje jako transformátor – dováží suroviny a polotovary a vyváží finální produkty.

Specifickou oblastí jsou druhotné suroviny a odpadní toky. ČR produkuje rostoucí množství vyřazených baterií, elektronického odpadu či katalyzátorů, které obsahují strategické a kritické kovy. Domácí kapacity pro jejich komplexní zpracování jsou však nedostatečné. Významná část tohoto materiálu proto směřuje přes hranice, zejména do Německa a Rakouska, kde existují pokročilé recyklační linky, často však až na asijský kontinent. Tento vývoj snižuje možnost uzavírat materiálové cykly na národní úrovni a zvyšuje závislost na zahraničních partnerech i v oblasti recyklace.

Celkově lze shrnout, že ČR je v současnosti čistým příjemcem přeshraničních toků strategických a kritických surovin a její pozice je vysoce závislá na vnějších dodavatelích, partnerských zemích EU, ale především partnerských vztazích mimo EU. Do budoucna bude zásadní posílit recyklační kapacity, diverzifikovat obchodní vztahy a aktivně se zapojovat do evropských iniciativ zaměřených na posílení bezpečnosti dodávek. Jen tak lze snížit rizika spojená s geopolitickou závislostí a zároveň zajistit stabilní fungování klíčových odvětví českého hospodářství.

7.1.2 Metody a postup řešení

Práce na části WP5.1 budou realizovány metodou zpracování a interpretace údajů Celní správy a Českého statistického úřadu o Pohybu zboží přes hranice, které jsou dostupné v elektronické podobě. Jako podpůrný a kontrolní datový zdroj budou využity údaje z vybraných databází EUROSTATu, v případě druhotných surovin a odpadů také výsledky dotazníkového šetření ČSÚ a odpadové databáze ISOH. Půjde tedy o zpracování, následnou analýzu dat, identifikaci hlavních trendů, výpočty a interpretaci velmi rozsáhlých datových souborů, což vyžaduje patřičné nástroje a know-how. V takto rozsáhlém objemu

a záběru se zaměřením na SRM+CRM nebyla tato data dosud zpracována a identifikována. Činnosti budou řešeny v jednom pracovním úkolu (T5.1) ve třech hlavních výzkumných aktivitách (VA5.1./1 až VA5.1./3), které budou odděleny dosaženými milníky M1 až M3:

VA5.1./1 Datová příprava (ČGS, VUT, CENIA) 1/2026–8/2026.

Cíl: Příprava dat týkajících se importu a exportu SRM a CRM pro následné analýzy

- Ztotožnění zájmových SRM+CRM s položkami celního sazebníku v kategoriích HS4, HS6, HS8.
- Identifikace vhodných statistických postupů pro zpracování vzniklé rozsáhlé datové sady. Předpokládá se následující charakter dat: údaje o dovozu / vývozu v objemovém vyjádření, dovozu / vývozu ve finančním vyjádření, vše v členění dle dovozních / vývozních zemí.

VA5.1./2 Analýza dat o importu a exportu SRM a CRM (VUT, ČGS, CENIA) 9/2026–8/2027.

Cíl: Připravit vhodné nástroje a s nimi následně provést komplexní analýzu dovozu a vývozu SRM a CRM a polotovarů obsahujících SRM a CRM

- Komplexní analýza dovozu SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM do ČR za poslední desetiletí (2016-2025), včetně identifikace hlavních trendů.
- Identifikace zdrojových teritorií do ČR dovážených SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM, včetně identifikace nepravých zdrojových teritorií.
- Komplexní analýza vývozu (včetně reexportu) SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM z ČR za poslední desetiletí (2016-2025), včetně identifikace hlavních trendů.
- Identifikace teritorií, do kterých směřuje CZ vývoz (reexport) SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM.

VA5.1./3 Dovozní závislost ČR (ČGS, VUT) 9/2027–10/2028.

Cíl: Na základě zpracovaných dat vyhodnotit dovozní závislost ČR pro jednotlivé SRM+CRM.

- Výpočet dovozní závislosti ČR pro jednotlivé SRM+CRM a výpočet závislosti na jednotlivým dominantních teritoriích v souladu s nařízením Critical Raw Materials Act. Identifikace zranitelných míst.
- Zpracování seznamu komodit a teritorií, která představují pro ČR nejvyšší geopolitická rizika. Vypracování konkrétních návrhů opatření na lepší diverzifikaci dodávek SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM a návrhů opatření vedoucích ke snížení dovozní závislosti.

7.1.3 Výsledky a jejich uplatnění

Činnosti ve WP5.1 jsou převážně analýzy nad sesbíranými daty pomocí vytvořených nástrojů, tvorba výstupů ve formě výzkumných zpráv. Tomu odpovídá také zvolená struktura a typy výsledků, které byly rozděleny na výsledky hlavní a výsledky vedlejší.

Hlavní výsledky v rámci WP5.1 tedy budou tyto:

WP5.1.-1 Workshop “Přeshraniční materiálové toky strategických a kritických surovin ve vztahu k povinnosti reportingu vůči Evropské komisi v rámci Critical Raw Materials Act” (10/2026), typ výsledku: ostatní výsledky (W).

Uspořádání workshopu pro pracovníky relevantních ústředních orgánů státní správy (Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo průmyslu a obchodu, Ministerstvo zahraničních věcí, Správa státních hmotných rezerv) na téma využití údajů o přeshraničních materiálových tocích strategických a kritických surovin ve vztahu k povinnosti reportingu vůči Evropské komisi v rámci Critical Raw Materials Act a o potenciálu důsledné implementace principů cirkularity pro posílení surovinové bezpečnosti České republiky (ČGS, VÚT Brno, CENIA, VŠCHT).

WP5.1/2 “Komplexní analýza dovozu strategických a kritických surovin do ČR za období 2017 až 2026”, (8/2027), typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Výzkumná zpráva – analytická studie ke stavu a vývoji dané oblasti: Komplexní analýza dovozu strategických a kritických surovin (SRM+CRM) a polotovarů obsahujících SRM+CRM do České republiky za poslední desetiletí, identifikace a kvantifikace hlavních trendů, identifikace zdrojových teritorií do ČR dovážených SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM, včetně identifikace nepravých zdrojových teritorií (ČGS, VÚT Brno, CENIA).

WP5.1/3 “Komplexní analýza vývozu / reexportu strategických a kritických surovin z ČR za období 2017 až 2026”, (10/2027), typ výsledku: ostatní výsledky (O)

Výzkumná zpráva – analytická studie ke stavu a vývoji dané oblasti: Komplexní analýza vývozu / reexportu strategických a kritických surovin (SRM+CRM) a polotovarů obsahujících SRM+CRM z České republiky za poslední desetiletí, identifikace a kvantifikace hlavních trendů, identifikace zdrojových teritorií, do kterých směřuje český vývoz / reexport SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM (ČGS, VÚT Brno, CENIA).

WP5.1/4 “Dovozní závislost České republiky v oblasti strategických a kritických surovin ve smyslu Critical Raw Materials Act”, (10/2028), typ výsledku: ostatní výsledky (O)

Analytická studie ke stavu a vývoji dané oblasti: Analýza hodnotící vypočtené hodnoty dovozní závislosti ČR pro jednotlivé SRM+CRM, vypočtené závislosti na jednotlivých dominantních teritoriích v souladu s nařízením CRMA, zahrnující popis a charakteristiku zranitelných míst, seznam komodit a teritorií, která představují pro ČR nejvyšší rizika i konkrétní opatření na lepší diverzifikaci dodávek SRM+CRM a polotovarů obsahujících SRM+CRM (ČGS, VÚT Brno, CENIA).

Další výsledky, které vzniknou v rámci WP5.1 budou:

WP5.1/5 Interní metodika pro sledování přeshraničních toků SRM+CRM, 5/2027, typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Detailní metodický rámec pro ztotožnění kritických surovin s položkami celního sazebníku (HS4, HS6, HS8).

WP5.1/6 Výpočtový nástroj pro jednotný a opakovatelný monitoring obchodních přeshraničních toků SRM+CRM, 8/2027, typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Jedná se o speciálně vyvinutý software/výpočtový nástroj pro zpracování velkých objemů dat, který by umožnil snadnější jednotný a opakovatelný opakovaný monitoring přeshraničních toků SRM+CRM. Řešitelé se domnívají, že výsledek nebude splňovat přísná kritéria výsledku typu R-Software. Proto je výsledek zařazen do typu O-Ostatní.

WP5.1/7 Datové sady a analytické zprávy o dovozech a vývozech SRM+CRM (2016–2025), 10/2028, typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Souhrnné časové řady objemů a hodnot dovozů, vývozů a reexportů.

Přehled hlavních trendů, zdrojových a cílových teritorií včetně identifikace nepravých zdrojů.

7.1.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě

Státní správa: Výsledky WP5.1 budou sloužit nejen jako datový a analytický podklad pro navazující balíčky WP5.2 a WP5.3, ale mohou být následně využity jako náměty pro aktualizaci platné státní surovinové politiky ČR (MPO), klimatické a energetické strategie (MPO, MŽP) a implementaci CRMA (MPO, MŽP). Návrhy na opatření pro lepší diverzifikaci zdrojů CRM budou rovněž sdíleny s ekonomickými diplomaty MZV pro využití v rámci surovinové diplomacie a dále s pracovníky Správy státních hmotných rezerv (SSHR), která v návaznosti na CRMA bude připravovat rozšíření spektra držení strategických zásob o nové položky.

Průmyslová sféra: Firmy získají relevantní informace o zranitelnosti konkrétních dodavatelských řetězců, o možných opatřeních pro lepší diverzifikaci a bezpečnější dodávky SRM+CRM, o možnostech efektivnějšího využití SRM+CRM a o přínosech integrace principů oběhového hospodářství a cirkularity do výrobních procesů.

Výzkum a vzdělávání: Rozsáhlé datové sady, identifikované trendy i interní metodiky a výpočtové nástroje budou využitelné pro další výzkumné projekty, predikce a odbornou výuku.

Evropský kontext: Výsledky budou využity pro povinnost každoročního hlášení EK o plnění 4 hlavních cílů CRMA a rovněž přispějí do diskusí v rámci European Raw Materials Alliance a dalších platform EU, čímž posílí pozici ČR.

Veřejná komunikace: Výsledky analýz a návrhy opatření budou srozumitelně prezentovány i veřejnosti, což zvýší povědomí o strategickém významu CRM a nutnosti šetrného a hospodárného zacházení s cennými přírodními zdroji a jejich oběhového využívání.

7.1.5 Harmonogram řešení

Níže je uveden Ganttův diagram řešení WP5.1 a klíčové milníky řešení.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP5													
T5.1	VA5.1/1												
	M5.1/1												
	VA5.1/2												
	M5.1/2												
	VA5.1/3												
	M5.1/3												
Výstupy													

Milníky

- M5.1/1 – 8/2026: Ztotožnění zájmových SRM+CRM s položkami celního sazebníku v kategoriích HS4, HS6 a HS8 dokončeno. Identifikace vhodných statistických postupů pro zpracování rozsáhlých datových řad dokončena.
- M5.1/2 – 8/2027: Komplexní analýza přeshraničních materiálových toků strategických a kritických surovin na straně dovozu i vývozu za reprezentativní časové období 10 let dokončena. Identifikace zdrojových teritorií SRM+CRM dokončena stejně jako identifikace teritorií, do kterých směřuje CZ vývoz (reexport) SRM-CRM.
- M5.1/3 – 10/2028: Výpočet dovozní závislosti ČR pro jednotlivé SRM+CRM i výpočet závislosti na jednotlivých dominantních teritoriích v souladu s nařízením SMR+CRM dokončen. Přehled komodit a teritorií, která představují pro ČR nejvyšší geopolitická rizika zpracován. Návrhy opatření na lepší diverzifikaci dodávek SRM+CRM a opatření pro snížení dovozní závislosti ČR v tomto segmentu formulovány.

7.2 WP5.2: Analýza vnitrostátních materiálových toků strategických a kritických nerostných surovin (SRM+CRM)

Vedoucí WP5.2: Martin Pavlas, VUT v Brně.

Další řešitelé včetně organizace: Pavel Kavina, ČGS; Radovan Šomplák, VUT v Brně; Karolína Jindřiška Nová, CENIA; Vladimír Kočí, VŠCHT; Dalibor Mašek, ČGS; Pavel Dalecký, TVAR COM spol. s r.o.; Jozef Vlček, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.; Pavel Sokol, Asociace stavebních alternativních materiálů (ASAM); Michal Šyc, ÚCHP AV ČR.

Cíle řešení

WP5.2 navazuje na WP5.1. Cílem řešení je rozšířit získané informace o importu a exportu SRM+CRM o detailní zmapování a komplexní analýzy vnitrostátních materiálových toků vybraných strategických či kritických nerostných surovin (SRM+CRM), včetně vybraných souvisejících polotovarů těchto SRM+CRM, a to včetně odpadních či druhotných materiálů obsahujících SRM+CRM. Vzhledem k minimální primární těžbě SRM+CRM v ČR mohou být odpadové toky zajímavým národním zdrojem CRM+SRM.

Cílem tedy je:

- Mapovat vnitrostátní toky SRM a CRM na území ČR poté, co byly importovány
- Mapovat vnitrostátní toky SRM a CRM na území ČR vázané na odpady a druhotné suroviny.
- Propojit informace o importu a exportu a určit tzv. zdánlivou domácí spotřebu ((dovoz + domácí produkce) - vývoz).
- Formulovat návrhy opatření na zefektivnění materiálových toků hodnocených CRM.
- Analýza bude provedena za stejný reprezentativní časový úsek jako ve WP5.1, tj za posledních 10 let (např. údaje za roky 2016 až 2025).

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI5.2/1 Do mapování toku Cu se podaří zahrnout nejméně 80% zdánlivé spotřeby.
- KPI5.2/2 Do mapování toku Ti se podaří zahrnout nejméně 65% zdánlivé spotřeby.
- KPI5.2/3 Do mapování toku W se podaří zahrnout nejméně 65% zdánlivé spotřeby.

V druhé fázi projektu, tj. v roce 2029 a dále se předpokládá vedle analýz dalších SRM a CRM také další zpřesnění datové základny, úpravu výpočtových nástrojů s cílem zvýšit KPI platné pro první období.

7.2.1 Popis současného stavu

Současná situace v oblasti vnitrostátních materiálových toků kritických nerostných surovin v ČR je charakteristická silnou závislostí na dovozech, ale zároveň rostoucím důrazem na využití domácích zdrojů. Slabinou národního materiálového toku je nedostatek domácích zpracovatelských kapacit. Stejně tak recyklace baterií a dalších zdrojů kritických kovů je v rané fázi, i když oběhové hospodářství patří mezi deklarované priority státu i EU.

Z hlediska průmyslového využití směřují SRM+CRM zejména do automobilového průmyslu, energetiky, obranného průmyslu a elektroniky. Toky materiálů do těchto odvětví jsou ovšem silně závislé na globálních dodavatelských řetězcích, což vytváří zranitelnost vůči geopolitickým a cenovým šokům.

Na rozdíl od přeshraničních materiálových toků SRM a CRM, pro které existuje dostatek relevantních dílčích údajů a dat, jsou existující informace o vnitrostátních materiálových tocích SRM+CRM v české ekonomice limitované, nekomplexní, či spíše dílčí, což činí záměr dosud neexistujícího, ale velmi potřebného podrobného zmapování materiálových toků složitější. Tento problém není specifický jen pro ČR – podobně i na úrovni EU a jednotlivých členských států existují výrazná omezení v dostupnosti a konzistenci dat, jak ukazují studie (Manfredi a Goralczyk 2013; Kulczycka a kol., 2020; Sileryte a kol., 2022). Mezi hlavní problémy patří zejména dvojí započítávání, odlišná úroveň agregace mezi daty a nedostatečná integrace reportů. Nedostatky v datech byly identifikovány také v širším kontextu odpadového hospodářství – např. v oblasti reálného času a prediktivních modelů (Hannan a kol., 2015; Johnson a kol., 2017).

V oblasti toků, které spadají do režimu zákona o odpadech, existuje rozsáhlá datová sada o produkci a nakládání s jednotlivými druhy odpadů, které jsou členěny dle tzv. Katalogu odpadů (vyhláška č. 8/2021 Sb.). Každý tzv. nadlimitní původce odpadu a provozovatelé zařízení pro nakládání s odpady musí dle zákona o odpadech vést průběžnou evidenci a podávat roční souhrnné hlášení. Tato data jsou shromažďována v systému ISOH2, který spravuje konsorciální partner CENIA. VUT a CENIA se dlouhodobě věnují problematice vytěžování dat z ISOH2, resp. její pracovní verze PDISOH2. V rámci projektu CEVOOH byl vytvořen nástroj REVEDATO pro modelování toků odpadů na území ČR, který je založen na původním matematickém optimalizačním modelu. Výsledky výzkumu byly publikovány v článku Pluskal a kol. (2023), kde byl vyvinutý nástroj testován na kálech z ČOV (kat. č. 19 08 05). Pro sledování toků v potřebném detailu je nezbytné znát parametry jednotlivých úprav odpadu. Při zpracování jednoho katalogového čísla totiž obvykle vzniká více nových kategorií (tzv. sekundární produkce odpadů). Protože v jednom zařízení bývá současně upravováno více druhů odpadů, kvalitní popis transformací mezi katalogovými čísly vyžaduje sofistikovaný matematický aparát. Ten byl vyvinut na pracovišti VUT a popsán v článku Šomplák a kol. (2025). Další aplikace nástroje umožňuje analyzovat celý řetězec toku odpadu – od producenta přes úpravu až po finální zpracování – viz Němcová a kol. (2025). Po provedených úpravách je nástroj vhodný pro aplikaci na toky s potenciálním obsahem SRM a CRM, nicméně jeho plnohodnotné využití pro modelování těchto toků bude vyžadovat rozsáhlejší vývoj navázaný na výsledky WP5.1.

Významným metodickým východiskem je využití přístupů hodnocení materiálového toku (MFA), které se osvědčily při mapování plastů, elektroodpadu nebo odpadních toků v těžebním sektoru (Brunner a Rechberger 2016; Wath a kol., 2010; Mehta a kol., 2022). Jejich aplikace však naráží na značnou heterogenitu dostupných dat a potřebu jejich sladění a validace (Laner a kol., 2014; Cencic 2016). Právě metodiky data reconciliation, rozpracované i v nedávných studiích (Zhu a kol., 2019; Šomplák a kol., 2022), představují důležitý směr, jak propojit různé zdroje informací a odstranit rozpory v reportovaných údajích. Pro SRM a CRM, kde jsou data obzvláště fragmentovaná, je tento přístup zásadní.

V rámci projektu CEVOOH se tým VUT a CENIA podílel na komplexních datových analýzách pro přípravu nového Plánu odpadového hospodářství (POH) na období 2025 až 2035, který vláda ČR schválila dne 23. července 2025. Jedná se tedy o jeden z nejnovějších strategických dokumentů relevantních pro předkládaný projekt. V POH se nutně odráží legislativní dokumenty EU v oblasti SRM a CRM. Problematika SRM+CRM se v POH prolíná a lze ji sledovat v analytické části, závazné i směrné části. V analytické části se POH věnuje stručnému zhodnocení současného stavu produkce a nakládání s odpadovými toky, které jsou svázány s výskytem SMR+CRM, tj. těžební odpady, minerální odpady, výrobky s ukončenou životností – odpadní elektrozařízení a odpadní baterie, průmyslové odpady a odpady z energetiky. POH ale detailně nemapuje tok SRM a CRM. Pracuje na úrovni hmotnostních odpadových toků, které obvykle agregují několik druhů odpadů. Např. pro těžební odpady POH rozlišuje těžební odpady na odpady z těžby (přímé odpady u těžby), odpady z úpravy (odpady vznikající při zpracování vytěžených rud či materiálů) a vytěženou jalovou horninu a hlušinu (odpad vznikající především při stavební činnosti – inženýrské sítě či dopravní infrastruktura). V odpadech z energetiky dominuje podskupina 10 01 Odpady z elektráren a jiných spalovacích zařízení, které jsou také součástí toků odpadů z tepelných procesů. Do odpadů z tepelných procesů patří také z pohledu SRM+CRM zajímavé odpady z metalurgie 10 02. POH ČR pro každý hodnocený tok vedle produkce analyzuje také způsoby nakládání dle hierarchie nakládání s odpady. Postupy použité při zpracování POH ČR a v POH ČR prezentované výsledky jsou pro účely analýzy toku SRM a CRM nevhodné a nepoužitelné. Komplexní analýzy toku SRM a CRM v odpadech vyžadují pohled jinou optikou, kde základem je systém přiřazení SRM + CRM k jednotlivým odpadovým tokům. To vyžaduje provázat informace z více zdrojů (literatura, výstup projektu – předchozí pracovní balíčky, znalosti klíčových hráčů v celém hodnotovém řetězci).

Zdrojem SRM a CRM vedle odpadů mohou být také druhotné suroviny. Dle zákona 541/2022 Sb. se druhotnou surovinou rozumí vedlejší produkty nebo odpady, které přestaly být odpadem poté, co splnily podmínky a kritéria pro ukončení odpadového režimu. Pokud druhotná surovina opustí odpadový režim, je její tok obtížně sledovatelný. Z tohoto důvodu obnovil v roce 2025 ČSÚ dotazníkové šetření zaměřené na druhotné suroviny. Respondenti byli dotazováni na množství vyprodukované druhotné suroviny (celkem a v režimu odpadů), množství druhotné suroviny dovezené ze zahraničí a vyvezené do zahraničí a množství druhotné suroviny spotřebované v členění číselníku CZ-PRODCOM za rok 2024. Dotazníkové šetření se má v budoucnu opakovat. Jedná se o relevantní informační zdroj.

Seznam použité literatury:

- Brunner P.H., Rechberger H. 2016. Handbook of material flow analysis, CRC Press. DOI: 10.1201/9781315313450
- Cencic O. 2016. Nonlinear data reconciliation in material flow analysis with software STAN, Sustainable Environment Research, 26, 291–298. DOI: 10.1016/j.serj.2016.06.002
- Hannan M.A., Abdulla Al Mamun Md., Hussain A., Basri H., Begum R.A. 2015. A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges, Waste Management, 43, 509–523. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.05.033
- Johnson N.E., Ianiuk O., Cazap D., Liu L., Starobin D., Dobler G., Ghandehari M. 2017. Patterns of waste generation: a gradient boosting model for short-term waste prediction in New York City, Waste Management, 62, 3–11. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.01.037
- Kulczycka J., Dziobek E., Szmiłyk A. 2020. Challenges in the management of data on extractive waste—the Polish case, Mineral Economics, 33, 341–347. DOI: 10.1007/s13563-019-00203-5
- Laner D., Rechberger H., Astrup T. 2014. Systematic evaluation of uncertainty in material flow analysis, Journal of Industrial Ecology, 18, 859–870. DOI: 10.1111/jiec.12143
- Manfredi S., Goralczyk M. 2013. Life cycle indicators for monitoring the environmental performance of European waste management, Resources, Conservation and Recycling, 81, 8–16. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.09.004
- Mehta N., Cunningham E., Doherty M., Sainsbury P., Bolaji I., Firoozi-Nejad B., Smyth B.M. 2022. Using regional material flow analysis and geospatial mapping to support the transition to a circular economy for plastics, Resources, Conservation and Recycling, 179, 106085. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106085
- Ministerstvo životního prostředí Plán odpadového hospodářství České republiky na období 2025–2035, prosinec 2025, dostupné z: mzp.gov.cz/system/files/2025-06/OCEO-POH_CR_2025_2035_MPR-20250609.pdf&ved=2ahUKEwiejN_dp86PAxX09gIHHcJ1AGAQFnoECBwQAQ&usg=AOvVaw2wgdu3AzDZkzjL7UqOgQzG
- Němcová L., Pluskal J., Šomplák R., Kůdela J. 2025. Towards efficient waste management: identification of waste flow chains in micro-regional detail through monitored data, Optimization and Engineering, 26(2), 805–826. DOI: 10.1007/s11081-024-09897-1
- Pluskal J., Šomplák R., Němcová L., Valta J., Pavlas M. 2023. Mathematical modelling of waste flows and treatment based on reconstruction of historical data: Case of wastewater sludge in Czech Republic, Journal of Cleaner Production, 420, 138393. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138393
- Sileryte R., Sabbe A., Bouzas V., Meister K., Wandl A., van Timmeren A. 2022. European waste statistics data for a circular economy monitor: opportunities and limitations from

the Amsterdam metropolitan region, *Journal of Cleaner Production*, 358, 131767. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131767

Šomplák R., Pluskal J. 2025. Modelling secondary waste composition using optimization and machine learning techniques: Case of the Czech Republic, *Waste Management*, 205, 115019. DOI: 10.1016/j.wasman.2025.115019

Šomplák R., Smejkalová V., Kúdela J. 2022. Mixed-integer quadratic optimization for waste flow quantification, *Optimization and Engineering*, 23, 2177–2201. DOI: 10.1007/s11081-022-09762-z

Wath S.B., Vaidya A.N., Dutt P.S., Chakrabarti T. 2010. A roadmap for development of sustainable E-waste management system in India, *Science of the Total Environment*, 409, 19–32. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.09.030

Zhu Y., Syndergaard K., Cooper D.R. 2019. Mapping the annual flow of steel in the United States, *Environmental Science & Technology*, 53, 11260–11268. DOI: 10.1021/acs.est.9b01016

7.2.2 Metody a postup řešení

Velkou výzvou pro řešení problematiku bude fakt, že datové zdroje o vnitrostátních tocích SRM+CRM ve formě čistých SRM+CRM, jejich sloučenin či polotovarů z nich vyrobených jsou kvůli zrušení (ke kterému došlo cca 2010) dříve existujících specifických statistických výkazů, pokrývajících alespoň zčásti tyto toky, velmi omezené, neúplné, resp. dílčí. Prvotním úkolem řešitelů v tomto segmentu bude tedy soustředit maximum údajů o tocích vybraných SRM+CRM v hodnoceném období z různých zdrojů. Jiná situace je u odpadních materiálů, se kterými je nakládáno v souladu se zákonem o odpadech. U odpadů informace o tocích existují a jsou dostupné, a to i pro časové období předchozí dekády. Od roku 2025 jsou dále data u některých odpadů dostupná v ještě větším detailu (položky na 4. místě dle katalogu odpadu). Existující data o tocích těchto odpadních materiálů však nebyla dosud systematicky zpracovávána z pohledu SRM a CRM, čímž dosud ani nebyl pro ČR komplexně zpracován potenciál SRM a CRM v odpadech při jejich cirkulárním využití. Projektový tým tak disponuje v tomto segmentu datovou a informační základnou a expertními pracovníky, kteří mohou identifikovat zdroje a vnitrostátní materiálové toky sekundárních SRM+CRM.

S ohledem na výše uvedená fakta, je v první fázi řešení balíčku WP5.2 (tj. do roku 2028 včetně) navrhováno zmapovat tři vybrané SRM+CRM, které prokazatelně vstupují do české ekonomiky v nezanedbatelných objemech: měď (velmi široké spektrum průmyslových odvětví, včetně přenosu elektrické energie, elektrotechniky, elektroniky, stavebnictví, výroby slitin aj.) titan (široké spektrum průmyslových odvětví, včetně výroby titanové běloby, vstupů do leteckého, chemického, potravinářského průmyslu či zdravotnictví aj.), wolfram (např. obranný průmysl, letecký průmysl, elektrotechnika, kompozitní materiály, slinuté karbidy aj.). Volba těchto SRM (měď) a CRM (titan a wolfram) souvisí s jejich významem pro hospodářství ČR, zaměřením projektu a očekávanými dopady na snížení celkové závislosti

na dovozu dané SRM a CRM při potvrzení hypotéz projektu jako celku (např. Ti je zájmovou SRM, která se řeší ve většině WP). Zohledněno bylo také metodické hledisko, kdy se postupně zvyšuje komplexnost úlohy řešení pro jednotlivé komodity a tím také nároky na výpočtové nástroje. Cu je v tomto kontextu považována za lépe sledovatelnou komoditou, na které budou testovány existující nástroje a postupy a hledán rozsah vývojových prací s cílem nastavit metodiky zpracování pro další výrazně náročnější SRM a CRM.

Další SRM + CRM (předběžně grafit, antimon a další, které jsou relevantní v českém kontextu) budou předmětem řešení v druhé polovině projektu, tzn. v roce 2029 a dále na základě priorit stanovených dosaženými výsledky činností WP1 až WP4. Přitom budou využity postupy, a nástroje vzniklé v první fázi řešení WP5.

Postup prací bude následující:

WP5.2 bude řešen v jednom pracovním úkolu (T5.2), který se člení do výzkumných aktivit (VA). U každé aktivity jsou uvedeni partneři, kteří se jí účastní.

VA5.2/1 Data pro mapování toku CRM a SRM na území ČR (VUT, ČGS, CENIA, ASAM) 01/2026-3/2027.

Cíl: Na základě volně dostupných veřejných dat, literatury a dat spravovaných partnery konsorcia (zejména CENIA) a dalšími dotčenými organizacemi (např. ČSU) připravit základní datovou sadu pro následné modelování.

- Sběr, centralizace dostupných dat z různých zdrojů pro mapování toku CRM a SRM na území ČR.
- Jednání se správci datových sad, organizace pracovních setkání, organizace workshopu.
- Jednání s průmyslovými podniky a zpracovateli materiálových toků.
- Hrubé zpracování a příprava dat pro následné modelování.
- Důkladná analýza informačních zdrojů o výskytu SRM a CRM v odpadních proudech (mimo elektroodpady, které řeší WP4).
- Potvrzení zájmových SRM+CRM pro první fázi analýzy vnitrostátních materiálových toků SRM+CRM v ČR na základě dostupných informací a kvality shromážděných dat.
- Tvorba výzkumné zprávy a výstupních materiálů.

VA5.2/2 Analýza toku CRM a SRM na území ČR (VUT, CENIA, ČGS, MMV, ÚCHP, VŠB) 10/2026-6/2028

Cíl: Popsat tok mědi a titanu, wolframu na území ČR. Připravit nástroje a metodické postupy pro analýzy dalších SRM a CRM v dalších fázích projektu

- vytipování odpadních toků a druhů odpadů, které jsou nebo v budoucnu mohou být významným zdrojem SRM+CRM.
- analýza produkce a způsobu nakládání s odpady, které jsou potenciálními zdroji SRM+CRM v ČR

- Komunikace s ostatními WP. Úzká spolupráce bude probíhat zejména s WP4 (Elektroodpady a Li-On baterie), WP3 aktivity 3.2 (Odpady z metalurgie) a WP3.3 (Produkty z tvrdokovů) a to v oblasti inventarizace toků a obsahu SRM a CRM.
- Analýza toku vybraných SRM a CRM.
- Vývoj a testování výpočtových nástrojů pro modelování toku SRM a CRM.
- Propojení informace z WP5.1 (Import a Export), tj. surovinové vstupy obsahující SRM+CRM do výrob.
- Výpočet tzv. zdánlivé domácí spotřeby zájmových SRM+CRM.
- Zhodnocení současné praxe v nakládání s odpady s cílem identifikovat příležitosti pro záchyt SRM a CRM na území ČR, analýza toků a tvorba MFA, zhodnocení ušlého potenciálu.
- Zhodnocení komplexnosti dodavatelsko-odběratelských řetězců.
- Tvorba výstupů – zprávy a publikačních výsledků.

Analýza bude provedena pro SRM (měď) a CRM (titan, wolfram). V průběhu řešení bude uspořádán odborný workshop.

VA5.2/3 Mapování existující vnitrostátní infrastruktury (CENIA, VUT, TVARCOM, ÚCHP, ČGS, MMV, VŠB) 6/2027–12/2028.

Cíl: Zhodnocení dostatečnosti existující vnitrostátní infrastruktury pro zpracování odpadů obsahujících vybrané SRM+CRM.

- Mapování existující vnitrostátní infrastruktury pro zpracování odpadů obsahujících vybrané SRM+CRM
- Příprava dat o odpadových zařízeních na základě dat z Registru zařízení ISOH a dalších zdrojů
- Analýza reálných toků CRM a CRM vybranými zařízeními
- Zmapování existující infrastruktury pro zpracování vybraných SRM+CRM v sousedních zemích
- Specifikace doporučení pro koncepční dokumenty v dané oblasti

7.2.3 Výsledky a jejich uplatnění

Činnosti ve WP5.2 jsou převážně analýzy nad sesbíranými daty pomocí vytvořených nástrojů, tvorba výstupů ve formě výzkumných zpráv, popř. odborných článků. Tomu odpovídá také zvolená struktura a typy výsledků, které byly rozděleny na výsledky hlavní a výsledky vedlejší.

Hlavní výsledky v rámci WP5.2 tedy budou tyto:

WP5.2/1 Výskyt SRM a CRM v odpadních proudech (6/2027), typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Výzkumná zpráva, která shrne výsledky průzkumu informačních zdrojů o výskytu SRM a CRM v odpadních proudech, bude obsahovat výsledky analýzy produkce a způsobu

nakládání s odpady, které jsou zdroji SRM+CRM v ČR a vytipování odpadních toků a druhů odpadů, které jsou nebo v budoucnu mohou být významným zdrojem SRM+CRM.

WP5.2/2 Potenciál SRM a CRM v odpadech v podmínkách ČR, jejich ztráty a opatření pro zefektivnění toků (6/2028), typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Výzkumná zpráva, která zhodnotí potenciálu SRM a CRM v odpadech na základě inovativního výpočtového přístupu. Zpráva bude obsahovat návrhy opatření na zefektivnění vnitrostátních toků SRM+CRM a návrhy na ochranu kritických surovin ve formě omezení vývozu odpadů obsahujících kritické suroviny.

WP5.2/3 Zhodnocení dostatečnosti existující vnitrostátní infrastruktury pro zpracování odpadů obsahujících vybrané SRM+CRM (6/2028), typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Výzkumná zpráva, která se zaměřuje na zhodnocení dostatečnosti a stavu stávající domácí infrastruktury určené pro zpracování odpadů obsahujících vybrané druhotné a kritické suroviny (SRM+CRM). Zpráva detailně posoudí, zda současná síť zařízení a technologií v České republice odpovídá potřebám efektivního využití těchto cenných materiálů. Součástí zprávy je také komplexní zmapování a analýza infrastruktury v sousedních zemích. Cílem je identifikovat a popsat nejlepší postupy a dostupná zařízení v zahraničí, což poslouží jako srovnávací základ a inspirace pro budoucí rozvoj domácího zpracovatelského řetězce. Zpráva tak poskytne ucelený přehled o stavu a potenciálu zpracování kritických surovin v regionu.

Další výsledky, které vzniknou v rámci WP5.2 budou:

WP5.2/4 Workshop na téma postup a cíle modelování toku CRM na území ČR (6/2027), typ výsledku: ostatní výsledky (O, W).

Organizace odborného workshopu pro zástupce státní správy a dalších klíčové subjekty, na kterém bude diskutován metodický rámec prováděných analýz, upřesněny cíle a očekávané výstupy analýz, posouzena možnost rozšíření datové základny pro další analytické práce

WP5.2/5 Podklady pro zapracování do strategických dokumentů WP5.2 (12/2028), typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Existuje silný předpoklad, že návrhy a výsledky uvedené mezi hlavními výsledky WP5.2 se v průběhu řešení projektu promítnou do aktualizací koncepcí s celostátní působností jako je např. Politika druhotných surovin České republiky. Dosažení výsledku typu H_{konc} (výsledky promítnuté do schválených strategických a koncepčních dokumentů orgánů státní nebo veřejné správy) bude s ohledem na časovou nepředvídatelnost procesu přípravy a schvalování koncepčních dokumentů plánován až v druhé fázi projektu, tzn. v roce 2029 a dále. Do 12/2028 je plánováno vytvoření podkladů využitelných pro strategické dokumenty na základě výstupů WP5.2/1 až WP5.2/3.

WP5.2/6 – Jimp (12/2028), typ výsledku: Publikace v impaktovaném časopise (Jimp)
Výzkumná publikace shrnující výsledky přístup a metodiku modelování toku SRM a CRM s případovou studií zaměřenou na ČR a jeden vybraný SRM/CRM.

7.2.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě

Využití výsledků WP5.2 se předpokládá následující:

- Státní správa: Výsledky WP5.2 budou sloužit jako datový a analytický podklad pro aktualizaci platné státní surovinové politiky ČR (MPO), Politiky druhotných surovin (MPO) a implementaci CRMA (MPO, MŽP). Návrhy zaměřené na optimalizaci vnitrostátních toků SRM+CRM budou sloužit jako podklad pro aktualizaci a revizi směrnic a nelegislativních předpisů v oblasti odpadového hospodářství.
- Průmyslová sféra: Firmy budou moci sdílet návrhy opatření pro zodpovědnější a efektivnější hospodaření s cennými přírodními zdroji, které obsahují SRM+CRM a budou je moci využít v rámci implementace BAT či opatření společenské odpovědnosti.
- Výzkum a vzdělávání: Datové sady, analýzy a zprávy budou využitelné pro další výzkumné projekty, predikce a odbornou výuku.
- Evropský kontext: Výsledky budou využity pro povinnost každoročního hlášení EK o plnění 4 hlavních cílů CRMA a rovněž přispějí do diskusí v rámci European Raw Materials Alliance a dalších platform EU, čímž posílí pozici ČR.
- Veřejná komunikace: Výsledky analýz a návrhy opatření budou srozumitelně prezentovány i veřejnosti, což zvýší povědomí o strategickém významu SRM+CRM a nutnosti šetrného a hospodárného zacházení s cennými přírodními zdroji a jejich oběhového využívání.

7.2.5 Harmonogram řešení

Níže je uveden Ganttův diagram řešení WP5.2 a klíčové milníky řešení.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP5													
T5.2.	VA5.2/1												
	VA5.2/2												
	M5.2/1												
	M5.2/2												
	M5.2/3												
	VA5.2/3												
	M5.2/4												
Výstupy													

Milníky

- M5.2/1 – 1/2027: Dokončen sběr, centralizace základní datové sady pro modelování toků SRM a CRM na území ČR, navržen princip jejich propojení a integrovaného zpracování – datová sada je připravená pro testovací výpočty a dokončení vývoje výpočtových nástrojů.
- M5.2/2 – 8/2027: dokončen vývoj nástrojů pro modelování toku SRM a CRM na území ČR, nástroje jsou funkční a použitelné.
- M5.2/3 – 3/2028: Dokončena analýza toku pro Cu a Ti, W.
- M5.2/4 – 12/2028: Podklady pro zapracování do strategických dokumentů jsou připraveny.

7.3 WP5.3: Scénáře a návrhy opatření pro zvýšení surovinové bezpečnosti ČR

Vedoucí WP3: Kamila Pokorná, VŠB–TUO.

Další řešitelé včetně organizace: Michal Šyc, ÚCHP; Pavel Kavina, ČGS; Martin Pavlas, Ph.D., VUT v Brně; Karel Dvořák, VUT v Brně; Vladimír Kočí, VŠCHT; Nguyen Hong VU, VŠCHT; Jan Nečas, VŠB-TUO; Pavel Sokol, Asociace stavebních alternativních materiálů (ASAM); Jiří Valta a Karolína Jindřiška Nová, CENIA; Jozef Vlček, MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o.; Kateřina Skotnicová, VŠB-TUO.

Cíle řešení

Riziko ohrožení surovinové bezpečnosti ČR, potažmo celé EU, je poměrně vysoké a může být způsobeno jak cíleně (např. nepřátelskou mocí), tak zneužitím dominantního, oligopolního či v případě některých komodit dokonce monopolního postavení na světovém trhu některým významným aktérem nebo k němu může docházet postupně, např. evolučním vyřazením evropského kontinentu ze skupiny významných globálních hráčů. Aby k tomu nedošlo, je třeba stav surovinové bezpečnosti průběžně vyhodnocovat a přijímat opatření, která ji budou posilovat.

Celé WP5 a zejména jeho závěrečná část, závěrečný balíček WP5.3 je jednotícím aspektem celého návrhu projektu a v průběhu řešení projektu bude zásadní platformou, kde bude komplexně hodnocen přínos jednotlivých dílčích závěrů z částí WP.1, WP2, WP3 a WP4. Komplexnost hodnocení budoucí reálné využitelnosti dílčích závěrů bude spočívat v hodnocení jejich potenciálu posílit zásadním způsobem surovinovou bezpečnost České republiky.

Hlavním cílem řešení WP5.3 je proto identifikovat mezi dílčími výsledky předchozích WP realistická opatření, která mají potenciál významným způsobem posílit v segmentu strategických a kritických surovin (SRM+CRM) surovinovou bezpečnost ČR, tedy posílit strategickou odolnost naší země vůči rizikům spojeným s nedostatkem některé pro českou ekonomiku důležité, ať už strategické (SRM) či kritické (CRM) suroviny nebo s nedostatkem celé skupiny těchto surovin, nezbytných pro řadu high tech průmyslových odvětví, mezi nimi

i pro transformaci energetiky, obranný průmysl, elektroniku, digitalizaci či další odvětví moderního průmyslu. Předkladatelé návrhu projektu jsou si plně vědomi faktu, že zabezpečení bezpečných dodávek SRM a CRM pro potřeby evropského, tedy i českého průmyslu má přímou vazbu na ztrátu nebo uchování pozice průmyslově vyspělé země.

Identifikace vhodných (realistických) opatření bude probíhat modelací různých scénářů, v nichž budou přínosy jednotlivých relevantních opatření maximalizovány a scénáře následně podrobeny komplexnímu posouzení, které bude mimo jiné zahrnovat jejich technickou realizovatelnost, ekonomickou rentabilitu a environmentální udržitelnost, včetně posouzení očekávaných dopadů na životní prostředí, jak je uvedeno podrobněji v části Metody a postup řešení.

Cílem druhé části řešení projektu (2029 až 2032) bude formulovat vybraná opatření s reálným potenciálem posílit významně surovinovou bezpečnost ČR a napomoci rozvoji cirkulární ekonomiky v ČR do podoby konkrétních doporučení pro úpravu relevantních strategických dokumentů: H_{konc} – výsledky promítnuté do schválených strategických a koncepčních dokumentů orgánů státní nebo veřejné správy.

Pro měření úspěšnosti naplnění jednotlivých výše uvedených cílů projektu byly stanoveny následující klíčové indikátory výkonnosti (KPI). Tyto indikátory umožní vyhodnocení pokroku v řešení a zároveň poskytnou podklady pro rozhodování o další realizaci. Jedná se o tyto KPI:

- KPI5.3/1 Za účelem identifikace vhodných (realistických) opatření pro posílení surovinové bezpečnosti ČR bude připraveno nejméně 6 rozdílných scénářů ve struktuře 1 základní scénář (business as usual) a 5 až 6 alternativních.
- KPI5.3/2 Pro komplexní posouzení každého ze scénářů budou vybrány právě dvě rozdílné hodnotící metody.

7.3.1 Popis současného stavu

Vlády České republiky se dlouhodobě, a lze říci, že v zásadě i systematicky, věnují problematice energetické bezpečnosti, a to jak v oblasti technické, kterou koncepčně pokrývá sekce energetiky českého Ministerstva průmyslu a obchodu, tak v oblasti mezinárodně politické, kde je tato agenda dokonce centrálně řízena z pozice zvláštního zmocněnce Ministerstva zahraničních věcí pro otázky energetické bezpečnosti. V oblasti energetické bezpečnosti tak byla v minulosti přijata celá řada strategicky správných opatření, která českou energetickou bezpečnost bezpochyby posílila.

Naproti tomu oblasti české surovinové bezpečnosti, která je bezesporu neméně důležitá, není zatím pozornost věnována v takové míře, a to přesto, že čeští experti stáli aktivně u samého zrodu první evropské surovinové strategie Raw Materials Initiative (RMI), která se otázkami surovinové bezpečnosti v evropském kontextu poprvé zabývala již v roce 2008. V českém kontextu je pak oblast surovinové bezpečnosti zčásti řešena v platné státní surovinové politice přijaté v červnu 2017 pod názvem Surovinová politika ČR v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů, do níž byly implementovány principy RMI. Intenzivní

zájem o surovinovou bezpečnost (jehož jsme svědky dnes) začal v českém prostředí až po přijetí evropského Aktu o kritických surovinách (Critical Raw Materials Act, CRMA), který vstoupil v platnost v květnu 2024.

Základní výchozí charakteristiky segmentu SRM a CRM v ČR z pohledu surovinové bezpečnosti:

- 1) Minimální domácí produkce: Z posledního seznamu strategických a kritických surovin EU (z roku 2023) jsou aktuálně na teritoriu ČR těženy pouze živcové suroviny a černé koksovatelné uhlí, jehož domácí těžba by však měla v roce 2026 skončit;
- 2) Existující potenciál primárních zdrojů u části SRM+CRM: ČR má z CRM ověřené významnější primární zásoby koksovatelného uhlí, živců a lithia, menší zásoby a potenciální zdroje W, Mn, FT, GT, BA; malá ložiska (zásoby) a nevýznamné zdroje SRM: Cu a Ni;
- 3) K těžbě jsou připravována ložiska: Li Cínovec (odkaliště i primární) a Mn Chvaletice (Řečany) (3 odkaliště)
- 4) Nadějně, ale dosud málo ověřené jsou primární zdroje Nb, Ta, Rb, Cs mohou doprovázet rudy Sn-W-Li (získávání Nb a Ta je však zatím spíše hypotetické), zdroje Zr, Hf, Nb, REE rudy U (získávání Zr, Hf, případně dalších kovů je zcela závislé na obnově těžby U), ale i dalších kovů (např. Mo) a dokonce i GT (REE); nacházejí se tedy v různém množství i v odpadech (haldy, odkaliště) po těžbě rud z minulosti;
- 5) Využití potenciálních primárních zdrojů Ge (+Be, As?) je vázáno na hypotetickou těžbu nekvalitního uhlí, případné získávání In (+Ga?) na nepravděpodobné obnovení těžby Zn rud;
- 6) ČR nemá geologické podmínky pro nalezení významnějších primárních zdrojů některých SRM+CRM, např. As, Be, Bi, Ga, PGM, REE, Sc, Sr, Ti, V, bauxitu, borátů, fosfátů;
- 7) Nedostatečné zpracovatelské kapacity SRM+CRM na teritoriu ČR;
- 8) Nedostatečná recyklace SRM+CRM, které se dostávají na teritorium ČR;
- 9) Nedostatečné využívání potenciálních sekundárních zdrojů SRM+CRM: odpady (např. popílký, šrot, použité baterie, elektronický odpad apod.) jsou využívány nedostatečně;
- 10) Vysoká importní závislost: ČR je v oblasti SRM+CRM silně závislá na dovozech, často z politicky nespolehlivých či geopoliticky rizikových zemí, u kterých není jistota, že svoji dominanci na světovém trhu či pozici významného dodavatele nezneužijí (např. Čína, Rusko);
- 11) Dosud neexistující krizové zásoby SRM+CRM v systému státních hmotných rezerv.
- 12) Implementace progresivních evropských kroků a opatření v oblasti surovinové bezpečnosti do českého prostředí a do české legislativy v posledních letech zpomalila (např. CRMA).

7.3.2 Metody a postup řešení

K dosažení vytyčených cílů části WP5.3 bude v první fázi zpracována podrobná SWOT analýza surovinové bezpečnosti ČR, ve které budou identifikovány a detailně popsány silné stránky, slabé stránky, příležitosti a rizika. Následně bude zpracováno 7 scénářů možného budoucího vývoje surovinové bezpečnosti v ČR: scénář S (business as usual = setrvalý stav bez zásadních změn) a 6 scénářů, které vždy záměrně akcentují významné posílení či výrazné zlepšení pouze jedné ze složek, které ovlivňují českou surovinovou bezpečnost. Cílem takového postupu je nalézt nejefektivnější, a přitom ekonomicky realizovatelnou cestu, jak surovinovou bezpečnost ČR v horizontu příštích 10 let významně posílit. Charakteristika jednotlivých scénářů může být upřesněna či modifikována ve vazbě na dílčí výsledky ostatních částí projektu v rámci částí WP1 až WP4.

Seznam a stručná charakteristika navrhovaných scénářů:

- Scénář S – Setrvalý stav: scénář popisující vývoj situace bez podstatných změn (business as usual)
- Scénář A – Aktivace domácích přírodních zdrojů: scénář popisující vliv rychlé a úspěšné realizace obou českých projektů, které získaly statut evropských strategických projektů CRMA (těžba lithia na Cínovci a získávání manganu bateriové kvality ve Chvaleticích) v souladu s ochranou životního prostředí a využití dalších domácích zdrojů, jejichž identifikaci a předpokládaný potenciál vzejde z řešení částí WP1 a WP2.
- Scénář B – Bezpečná a intenzivní diverzifikace dovozů: scénář popisující vliv intenzivního hledání nových alternativních dodavatelů vybraných SRM+CRM mimo dominantní trhy ve smyslu využití výsledků a závěrů řešení WP5.1.
- Scénář C1 – Cirkulární ekonomika: scénář popisující vliv masivního rozvoje recyklace širokého spektra materiálů, které obsahují SRM+CRM, tedy zejména baterií, elektroodpadu a průmyslových vedlejších produktů (popílký, strusky) ve smyslu maximálního využití výsledků, které přinese řešení částí WP3, WP4 a rovněž WP2.5.
- Scénář C2 – Cirkulární řešení pro využití zbytkových produktů: scénář popisující možnosti využití zbytkových produktů podle principů cirkulární ekonomiky (zbytkový produkt jako nový materiál, regenerativní prvky, systémová inovace). Scénář kombinuje materiálové, environmentální i sociální aspekty a posiluje národní i evropskou surovinovou bezpečnost prostřednictvím využití dosud opomíjených zdrojů. Soustředí se na přeměnu zbytků na nové materiály, jejich zapojení do průmyslu, na regenerativní funkce revitalizovaných území a na vytváření inovačních platforem a komunitních projektů.
- Scénář D – Dostatečné strategické zásoby: scénář popisující vliv rychlého vytvoření státních či evropských strategických rezerv vybraných kovů (včetně některých komodit ze skupiny SRM+CRM) v odpovídající výši.
- Scénář E – Extrémní podpora technologické substituce: scénář popisující vliv intenzivní podpory výzkumu alternativních materiálů a náhrad s cílem významně snížit poptávku pro některých SRM+CRM.

Jednotlivé scénáře budou podrobeny komplexnímu posouzení, které bude mimo jiné zahrnovat jejich technickou realizovatelnost, ekonomickou rentabilitu a environmentální udržitelnost, včetně posouzení očekávaných dopadů na životní prostředí.

Komplexnost posouzení jednotlivých scénářů bude zajištěna využitím více hodnotících metod:

- Analýzy nákladů a přínosů (CBA – Cost-Benefit Analysis): metoda porovnává náklady jednotlivých scénářů s jejich přínosy a používá pro posouzení, zda přínosy hodnoceného scénáře převyšují jeho náklady. Metoda primárně hodnotí finanční aspekty (rentabilitu), ale může hodnotit i faktory nefinanční, je ale nezbytné je kvantifikovat.
- Analýza PESTLE (Political, Economic, Social, Technological, Legal, Environmental): metoda umožňuje posoudit jak různé externí faktory (politické, ekonomické, technologické, právní a environmentální) mohou ovlivňovat dané scénáře. Metoda se často používá při hodnocení rizik, které scénáře mohou ovlivňovat nebo ohrožovat v dlouhodobém horizontu. LCA zde poskytne podrobné environmentální vstupy a scénářové modelování založené na výsledcích LCA, které umožní propojit technologické varianty s dopady na životní prostředí a začlenit je do širšího PESTLE rámce.
- Vícekriteriální rozhodování (MDCA – Multicriteria Decision Analysis): metoda se používá při porovnání scénářů podle více kritérií, která mohou být jak kvantitativní, tak kvalitativní. Využívá postupy Analytic Hierarchy Process (AHP) nebo Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). LCA bude hrát klíčovou roli při přípravě environmentálních kritérií, jejich kvantifikaci a normalizaci na základě výsledků LCA, čímž umožní férové srovnání jednotlivých scénářů nejen z hlediska technického a ekonomického, ale i z pohledu environmentální udržitelnosti.

Postup prací bude následující:

- 1) Zpracování vstupní SWOT analýzy surovinové bezpečnosti ČR (identifikace silných stránek, slabých stránek, příležitostí a rizik). 1/2026-6/2026; M5.3/1
- 2) Zpracování základního scénáře S (Setrvalý stav – business as usual). Konzultace s průmyslovými partnery a dotčenými ministerstvy. 7/2026-2/2027; M5.3/2
- 3) Zpracování skupiny alternativních scénářů (ve výše navrženém spektru, resp. v modifikované, upřesněné či doplněné podobě) tak, aby jednotlivé scénáře plně pokrývaly všechny významné faktory, které mohou surovinovou bezpečnost ČR významně ovlivnit, s využitím maxima dílčích výsledků řešení WP1, WP2, WP3, WP4, WP5.1 a WP5.2. Konzultace s průmyslovými partnery a dotčenými ministerstvy. 1/2027-6/2028; M5.3/3
- 4) Výběr dvou nejvhodnějších metod posouzení scénářů. 7/2028-12/2028; M5.3/4
- 5) Posouzení každého ze scénářů 2 rozdílnými metodami. 1/2029-12/2030; M5.3/5

- 6) Vyhodnocení posouzení a seřazení scénářů dle schopnosti ovlivnit významným způsobem posílení surovinové bezpečnosti ČR v horizontu příštích 15 let. Konzultace s průmyslovými partnery a dotčenými ministerstvy. 1/2031-6/2031; M5.3/6
- 7) Implementační rámec a závěrečná fáze bude zahrnovat tyto aktivity (7/2031-6/2032; M5.3/7):
 - A. Formulace sad doporučení pro budoucí aktualizaci věcně souvisejících strategických koncepčních dokumentů státu (Surovinová politika ČR, Politika druhotných surovin, Plán odpadového hospodářství ČR, Operační programy SFŽP (příprava dotačních programů pro podporu zpracovatelského průmyslu pro získávání SRM+CRM z odpadů), Bezpečnostní strategie ČR, Hospodářská opatření pro krizové stavy či dvouleté plány Vytváření a udržování státních hmotných rezerv k zajištění bezpečnosti ČR).
 - B. Vypracování roadmap pro posílení surovinové bezpečnosti ČR na následujících 10 let.
 - C. Návrh státních investičních nástrojů.
 - D. Specifikace požadavků pro státní strategické zásoby CRM+SRM.
 - E. Závěrečná zpráva a předání výsledků státní správě.
 - F. Vnitrostátní i mezinárodní prezentace výsledků (EU, OECD, ERMA).

Činnosti budou tedy řešeny v jednom pracovním úkolu (T5.3) v sedmi hlavních výzkumných aktivitách, z nichž prvé čtyři (VA5.3./1 až VA5.3./4) budou řešeny v první časové fázi projektu (2026-2028) a budou odděleny dosaženými milníky M1 až M4:

VA5.3/1 SWOT analýza současného stavu surovinové bezpečnosti ČR (ČGS, HGF VŠB, VUT, CENIA) 1/2026–6/2026.

Cíl: Posoudit objektivně současný stav surovinové bezpečnosti České republiky metodou SWOT

- Důkladný popis silných i slabých stránek; důkladná identifikace možných příležitostí i hrozících rizik.

VA5.3/2 Základní scénář S ("Setrvalý stav" - Business as usual) (ČGS, HGF VŠB, VUT, CENIA); 7/2026–12/2026.

Cíl: Zpracovat referenční scénář pravděpodobného vývoje v oblasti surovinové bezpečnosti ČR v případě, že bude přetrvávat současný stav, nebudou podniknuta žádná národní ani celoevropská opatření zásadního charakteru a vše se bude ubírat cestou pozvolné ztráty významu evropského průmyslu i vlivu evropského kontinentu.

- Základní referenční scénář bude zpracován na období 15 let do roku 2040.
- Scénář bude postihovat predikci předpokládaného vývoje širokého spektra faktorů, které ovlivňují surovinovou bezpečnost České republiky.

VA5.3/3 Alternativní scénáře (ČGS, HGF VŠB, VUT, VŠCHT, CENIA + spolupráce celého konsorcia) 1/2027–6/2028.

Cíl: Zpracovat skupinu alternativních scénářů různého vývoje v oblasti surovinové bezpečnosti ČR.

- V tuto chvíli je uvažováno vypracování šesti alternativních scénářů (s pracovním označením A, B, C1, C2, D a E), v průběhu řešení projektu může dojít v odůvodněných případech k úpravě počtu scénářů i úpravě jejich charakteristiky.
- Scénář A: “Aktivace domácích zdrojů; Scénář B: “Bezpečná a intenzivní diverzifikace dovozů”, Scénář C1: “Cirkulární ekonomika”, Scénář C2: “Cirkulární řešení pro využití zbytkových produktů”, Scénář D: “Dostatečné strategické zásoby”, Scénář E: “Extrémní podpora technologické substituce”.
- Také alternativní scénáře budou zpracovány na období 15 let do roku 2040.

VA5.3/4 Výběr metod posouzení (ČGS, HGF VŠB, VUT, VŠCHT, CENIA + spolupráce celého konsorcia) 7/2028–12/2028.

Cíl: Vybrat nejvhodnější metodu porovnávání a posuzování scénářů při strategickém plánování

- Jednotlivé scénáře budou podrobeny komplexnímu posouzení, které bude mimo jiné zahrnovat jejich technickou realizovatelnost, ekonomickou rentabilitu a enviromentální udržitelnost, včetně posouzení očekávaných dopadů na životní prostředí.
- Komplexnost posouzení jednotlivých scénářů bude zajištěna využitím více hodnotících metod, např. analýzy nákladů a přínosů, analýzy PESTLE či vícekritériálním rozhodováním.

S ohledem na syntetický charakter balíčku WP5 a zejména části WP5.3., ve které se budou koncentrovat výsledky a návrhy z ostatních částí projektu (WP1, WP2, WP3, WP4, WP5.1 a WP5.2), je v následující části nastíněn i návrh pokračování aktivit WP5.3 i pro období let 2029 až 2032, kdy budou navazující činnosti řešeny nadále v jednom pracovním úkolu (T5.3) v dalších třech hlavních výzkumných aktivitách, které budou odděleny dosaženými milníky M5 až M7:

1/2029–12/2030 - Posouzení každého ze scénářů 2 rozdílnými metodami.; M5.3/5

1/2031–06/2031 - Vyhodnocení posouzení a seřazení scénářů dle schopnosti ovlivnit významným způsobem posílení surovinové bezpečnosti ČR v horizontu příštích 10 let.; M5.3/6

7/2031-06/2032 - Implementační rámec a závěrečná fáze:

- A. Formulace jednotlivých doporučení pro budoucí aktualizaci strategických koncepčních dokumentů státu (Surovinová politika ČR, Politika druhotných surovin, Plán odpadového hospodářství ČR, Operační programy SFŽP (příprava dotačních programů pro podporu zpracovatelského průmyslu pro získávání SRM+CRM z odpadů, Bezpečnostní strategie ČR, Hospodářská opatření pro krizové stavy či dvouleté Plány vytváření a udržování státních hmotných rezerv k zajištění bezpečnosti ČR);

- B. Vypracování roadmap pro posílení surovinové bezpečnosti ČR na následujících 15 let;
- C. Návrh státních investičních nástrojů;
- D. Specifikace požadavků pro státní strategické zásoby CRM+SRM;
- E. Závěrečná zpráva a předání výsledků státní správě;
- F. Vnitrostátní i mezinárodní prezentace výsledků (EU, RMW, OECD, ERMA); 5.3/7.

7.3.3 Výsledky a jejich uplatnění

Činnosti ve WP5.3 se sestávají převážně ze SWOT analýzy, tvorby scénářů, jejich vzájemného porovnání a vyhodnocování, syntézy výsledků předcházejících částí, hodnocení jejich využitelnosti, strategického plánování, formulace doporučení pro národní koncepční dokumenty a tvorby road map realizace navržených opatření. Většina výsledků této syntetické finální části je logicky plánována ve druhé části řešení projektu (2029-2032). Tomu odpovídá také zvolená struktura a typy výsledků, které byly rozděleny na výsledky hlavní a výsledky vedlejší.

Hlavní výsledky v rámci WP5.3 (v první fázi řešení 2026–2028) tedy budou tyto:

WP5.3./1 Výzkumná zpráva “Variantní scénáře vývoje surovinové bezpečnosti ČR do 2040” (6/2028), typ výsledku: ostatní výsledky (O).

Analytická studie ke stavu a vývoji dané oblasti: SWOT analýza výchozího stavu surovinové bezpečnosti ČR k roku 2026 (VA5.3./1), základní scénář “S” (Setrvalý stav – business as usual) vývoje surovinové bezpečnosti ČR do roku 2040 (VA5.3./2), alternativní variantní scénáře (A, B, C1, C2, D, E) vývoje surovinové bezpečnosti ČR do roku 2040 (VA5.3./3); (ČGS, VŠB, VÚT, CENIA, VŠCHT, spolupráce celého konsorcia).

WP5.3./2 Konference na téma Surovinová bezpečnost ČR – jak dál? (12/2028), typ výsledku: ostatní výsledky (M).

Uspořádání výroční konference, kde by byla představena kompletní sada scénářů dalšího možného vývoje surovinové bezpečnosti ČR a potenciálu zavádění cirkulární ekonomiky v ČR.

Současně budou prezentovány dosavadní výsledky části WP5 za období 2026-2028 a představen další navrhovaný postup řešení úkolu během druhé části (2029-2032) (ASAM, ČGS, VŠB, VÚT Brno, CENIA, VŠCHT, spolupráce celého konsorcia).

Vedlejší výsledky v rámci WP5.3 (v první fázi řešení 2026-2028) tedy budou tyto:

WP5.3./3 Workshop “Surovinová bezpečnost ČR – očekávaný vývoj”, (11/2026), typ výsledku: ostatní výsledky (W).

Uspořádání workshopu pro průmyslové partnery (Svaz průmyslu a dopravy, Hospodářská komora, oborové asociace a významné firmy z oblasti primárních i sekundárních surovin, recyklace a cirkulární ekonomiky) a pro pracovníky relevantních ústředních orgánů státní správy (MPO, MŽP, MZV, SSHR) na téma základní scénář “S” (Setrvalý stav – business as

usual) vývoje surovinové bezpečnosti ČR v příštích 15 letech bez proaktivních zásahů, který bude vypracován v rámci VA5.3/2. (ČGS, VŠB, VÚT, CENIA, VŠCHT).

Odborné veřejnosti budou představeny i výsledky VA5.3/1 (SWOT analýza)

WP5.3./4 Workshop “Surovinová bezpečnost ČR – alternativní scénáře”, (11/2027), typ výsledku: ostatní výsledky (W).

Uspořádání workshopu pro průmyslové partnery (Svaz průmyslu a dopravy, Hospodářská komora, oborové asociace a významné firmy z oblasti primárních i sekundárních surovin, recyklace a cirkulární ekonomiky) a pro pracovníky relevantních ústředních orgánů státní správy (MPO, MŽP, MZV, SSHR) na téma alternativní variantní scénáře vývoje surovinové bezpečnosti ČR v příštích 15 letech při využití proaktivních opatření.

Scénáře budou modelovány v rámci VA5.3./3, vždy za předpokladu intenzivní proaktivní podpory některého z faktorů, které mají potenciál významnou mírou ovlivnit další vývoj surovinové bezpečnosti ČR (ČGS, VŠB, VÚT, CENIA, VŠCHT, spolupráce celého konsorcia).

Ve druhé části řešení projektu (2029 až 2032) se v rámci splnění cíle formulovat opatření s reálným potenciálem posílit významně surovinovou bezpečnost ČR a napomoci rozvoji cirkulární ekonomiky v ČR do podoby konkrétních doporučení pro úpravu relevantních strategických dokumentů: H_{konc} – výsledky promítnuté do schválených strategických a koncepčních dokumentů orgánů státní nebo veřejné správy se za WP5 předpokládají mimo jiné 3 výsledky tohoto typu ($3 \times H_{konc}$).

7.3.4 Aplikační potenciál a potenciál pro využití ve státní správě

Státní správa: Výstupy řešení syntetické shrnující části WP5 mohou být využity pro budoucí aktualizaci zásadních koncepčních dokumentů státu v kompetenci resortů MŽP a MPO, zejména se jedná o Surovinovou politiku ČR, Politiku druhotných surovin, Plán odpadového hospodářství ČR, Operační programy SFŽP (příprava dotačních programů pro podporu zpracovatelského průmyslu při získávání SRM+CRM odpadů). Výstupy projektu napomohou podpořit rozvoj cirkulární ekonomiky v ČR. Výstupy řešení budou pro státní správu rovněž z části využitelné při aktualizaci zásadních koncepčních dokumentů státu v kompetenci MZV a SSHR (zmíněno podrobněji níže v části Bezpečnostní politika). Výstupy řešení WP5 pomohou státní správě realizovat opatření pro posílení surovinové bezpečnosti státu (součástí druhé fáze řešení bude i vypracování Roadmap opatření pro posílení surovinové bezpečnosti ČR na následujících 15 let).

Průmyslová praxe: Surovinový průmysl je specifický v tom, že má vekou multiplikační schopnost a umí na sebe umí navázat další investice a výroby. Technologický a průmyslový výzkum v oblasti SRM+CRM, tedy surovin, které směřují do technologicky nejvyspělejších odvětví, dává českému průmyslu šanci vybudovat, resp. posílit v ČR nový průmyslový sektor, jehož důležitost pro udržení si vysoké průmyslové vyspělosti stále narůstá. Průmysloví partneři budou zapojeni formou konzultací a průběžné komunikace zejména do

částí WP5.2 a WP5.3 a z řešení obdrží výstupy, které budou moci využít pro své firemní strategie. Obdobně průmyslový sektor využije doporučení pro zajištění stabilních dodávek vstupních surovin a pro investice do recyklace.

Mezinárodní spolupráce: Různé aktivity směřující k využití technologického potenciálu SRM+CRM, vč. využití jejich netradičních zdrojů s cílem posílit národní surovinovou bezpečnost probíhají v současné době v mnoha zemích světa. Lídry v tomto oboru jsou asijské země, zejména Japonsko, Jižní Korea či Taiwan, v Evropě pak zejména skandinávské země, ale např. i PT, ES, PL. Velmi aktivní je v této oblasti EK. Řešení projektu a jeho výsledky mohou sloužit k navázání bližší mezinárodní spolupráce a také jako platforma pro větší zapojení ČR do mezinárodních aktivit či evropských aliancí, např. ERMA, kde je dosud zapojeno jen 5 CZ subjektů z celkového počtu mnoha set členů.

Bezpečnostní politika: Výsledky budou využity jako podklad pro aktualizaci koncepčních dokumentů pro oblast bezpečnostní politiky (Bezpečnostní strategie ČR). Výsledky budou využity pro tvorbu odpovídajících strategických zásob CRM+SRM v rámci státních hmotných rezerv, podklad pro tvorbu krizových plánů v případě narušení dodavatelských řetězců a rovněž pro aktualizaci koncepčních dokumentů SSHR (HOPKS, Plány vytváření a udržování státních hmotných rezerv k zajištění bezpečnosti ČR).

Inovace a výzkum: Podpora vývoje technologií získávání SRM+CRM z primárních, sekundárních či netradičních zdrojů, mapování materiálových toků SRM+CRM či modelování a vyhodnocování různých scénářů v oblasti surovinové bezpečnosti státu skýtá potenciál pro další rozvoj této vědní disciplíny, vybudování odpovídajících personálních kapacit a expertních týmů a větší zapojení jak do národních, tak i celoevropských projektů a programů v oblasti inovací a výzkumu SRM+CRM.

7.3.5 Harmonogram řešení

Níže je uveden Ganttův diagram řešení WP5.3 a klíčové milníky řešení.

Úkol / výzkumná aktivita		2026				2027				2028			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP5													
T5.3.	VA5.3/1												
	M5.3/1												
	VA5.3/2												
	M5.3/2												
	VA5.3/3												
	M5.3/3												
	VA5.3/4												
	M5.3/4												
Výstupy													

Milníky

- M5.3/1 – 6/2026: Zpracování vstupní SWOT analýzy surovinové bezpečnosti ČR, včetně identifikace silných stránek, identifikace slabých stránek, identifikace příležitostí i identifikace možných rizik dokončeno.
- M5.3/2 – 12/2026: Zpracování základního scénáře S (Setrvalý stav – business as usual) dokončeno. Konzultace s průmyslovými partnery a dotčenými ministerstvy realizována.
- M5.3/3 – 6/2028: Zpracování skupiny alternativních scénářů v takové podobě, aby jednotlivé scénáře plně pokrývaly všechny významné faktory, které mohou surovinovou bezpečnost ČR významně ovlivnit, s využitím maxima dílčích výsledků řešení WP1, WP2, WP3, WP4, WP5.1 a WP5.2 dokončeno. Konzultace s průmyslovými partnery a dotčenými ministerstvy realizována.
- M5.3/4 – 12/2028: Výběr dvou nejvhodnějších metod pro posouzení připravených scénářů dokončen.

Orientační milníky pro druhou fázi řešení (2029 až 2032)

- M5.3/5 – 12/2030: Posouzení každého ze scénářů dvěma rozdílnými metodami dokončeno.
- M5.3/6 – 6/2031: Vyhodnocení realizovaných posouzení všech hodnocených scénářů dokončeno. Seřazení hodnocených scénářů dle schopnosti ovlivnit významným způsobem posílení surovinové bezpečnosti ČR v horizontu příštích 15 let dokončeno. Konzultace s průmyslovými partnery a dotčenými ministerstvy realizována.
- M5.3/7 – 6/2032: Formulace sad doporučení pro budoucí aktualizaci jednotlivých strategických koncepčních dokumentů státu (Surovinová politika ČR, Politika

druhotných surovin, Plán odpadového hospodářství ČR, Operační programy SFŽP (příprava dotačních programů pro podporu zpracovatelského průmyslu pro získávání SRM+CRM z odpadů, Bezpečnostní strategie ČR, Hospodářská opatření pro krizové stavy či dvouleté plány Vytváření a udržování státních hmotných rezerv k zajištění bezpečnosti ČR) dokončeno. Vypracování roadmap pro posílení surovinové bezpečnosti ČR na následujících 15 let dokončeno. Návrh státních investičních nástrojů realizován. Specifikace požadavků pro státní strategické zásoby CRM+SRM dokončena. Závěrečná zpráva zpracována předání výsledků státní správě provedeno. Vnitrostátní i mezinárodní (EU, RMW, OECD, ERMA) prezentace výsledků uskutečněna.

8 Spolupráce se státní správou

8.1 Identifikace adresátů podkladů vzniklých z SVA

Problematika, která bude řešena v předkládaném projektu, tedy oblast cirkulární ekonomiky a surovinové bezpečnosti, zasahuje dle zákona č. 2/1969 Sb., o zřízení ministerstev a jiných ústředních orgánů (kompetenční zákon), v aktuálním znění, do kompetencí několika ústředních orgánů státní správy. Hlavní působnost připadá Ministerstvu životního prostředí a Ministerstvu průmyslu a obchodu. Menší měrou pak zasahuje daná problematika do oblasti působnosti Správy státních hmotných rezerv, Ministerstva zahraničních věcí, Ministerstva financí, Ministerstva vnitra, Českého báňského úřadu a Státního fondu životního prostředí.

Ministerstvo životního prostředí (MŽP) se v rámci svých kompetencí a zaměření projektu zabývá výkonem státní geologické služby, ochranou horninového prostředí, včetně ochrany nerostných zdrojů a podzemních vod, oblastí geologických prací, environmentálním dohledem nad těžbou, odpadovým a oběhovým hospodářstvím a posuzováním vlivů průmyslových činností a jejich důsledků na životní prostředí, včetně těch, které přesahují státní hranice.

V tomto kontextu zajišťuje legislativu, strategické plánování a realizaci jak státní politiky životního prostředí, tak politik pro odpadové hospodářství a cirkulární ekonomiku. Kompetence MŽP zahrnují stanovování priorit v nakládání s odpady, podporu recyklace a materiálového využití odpadů jako druhotných surovin, podporu budování recyklační infrastruktury a řešení problematiky environmentálních rizik spojených s odpady včetně starých zátěží. Z výše uvedené vyplývá, že výstupy SVA budou z významné části určeny pro tento resort a mohou najít uplatnění jako komplexní podkladové materiály pro budoucí aktualizace strategických dokumentů resortu, zejména Plán odpadového hospodářství a další aktivity MŽP, které budou v rámci agendových procesů (např. IPPC, EIA/SEA, apod.) uplatněny v rozhodovací a povolovací praxi.

V rámci organizační struktury MŽP platné ke dni podání projektu budou hlavními partnery pro řešitelský tým projektu Odbor cirkulární ekonomiky a odpadů (výstupy průřezově všemi WP projektu), Odbor geologie a Odbor environmentálních rizik a ekologických škod (výstupy zejména z WP1, WP2 a WP5) ze Sekce ochrany životního prostředí. S pracovníky zmíněných útvarů MŽP jsou členové řešitelského týmu v pravidelném kontaktu a konzultovali s nimi vhodnost zařazení jednotlivých témat řešení. Zástupce odboru geologie bude členem Rady projektu, což umožní průběžnou koordinaci mezi požadavky a prioritami resortu MPO a řešitelským týmem.

Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) má na starosti tvorbu a realizaci jednotné surovinové politiky, což zahrnuje mimo jiné dohled nad využíváním nerostného bohatství, těžbou, úpravou a zušlechťováním surovin. Dále, krom jiného, zajišťuje oblast výroby stavebních hmot, stavební výrobu, sběrných surovin a kovového odpadu. Do kompetencí

MPO dále přísluší oblast technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví. V neposlední řadě MPO přispívá k průmyslovému výzkumu a rozvoji techniky a technologií.

Cílem MPO, souvisejícím s řešením projektu, je zajištění přístupu k surovinám pro průmysl a ekonomiku ČR. MPO v minulosti připravilo dvě celostátní koncepce, Surovinovou politiku ČR v oblasti nerostných surovin (2017) a Politiku druhotných surovin (2019), na které řešené téma přímo navazuje. Z toho také vyplývají dva útvary, které budou patřit mezi hlavní adresáty podkladů vzniklých z SVA: Odbor hornictví a surovinové politiky a Odbor průmyslové ekologie, oba ze sekce hospodářství. S pracovníky obou útvarů jsou členové řešitelského týmu dlouhodobě v průběžném kontaktu. Pro resort MPO budou určeny výstupy z převážné většiny částí projektu, zejména WP1, WP3, WP4 a WP5. Zástupce odboru hornictví a surovinové politiky bude členem Rady projektu, což umožní průběžnou koordinaci mezi požadavky a prioritami resortu MPO a řešitelským týmem.

Resorty Ministerstva životního prostředí a Ministerstva průmyslu a obchodu jsou ve vzájemné spolupráci věcně příslušné v oblasti implementace EU dokumentů Raw Materials Initiative (RMI, 2008) a Critical Raw Materials Act (CRMA, 2024), které oblast surovinové bezpečnosti explicitně řeší z celoevropského pohledu. Je evidentní, že výstupy SVA jsou v souladu s principy CRMA a zapracování výstupů SVA (části WP1, WP2, WP3, WP4 a WP5) do českých koncepčních dokumentů přímo napomůže implementaci CRMA v českém prostředí. Kromě toho výstupy z části WP5, zejména WP5.1 a WP5.2 umožní plnění povinnosti pravidelného reportingu vůči Evropské komisi ve věci implementace CRMA.

Specificky je předpokládaným adresátem podkladů z SVA Státní fond životního prostředí České republiky (SFŽP ČR), který spravuje finanční prostředky určené na ochranu a zlepšování životního prostředí, a i ve střednědobém výhledu představuje hlavní finanční nástroj pro ekologickou politiku a výstavbu nových technologií. Realizace politiky využívání domácích zdrojů SRM a CRM bude vyžadovat významné objemy investičních prostředků. Projekt a jeho výsledky tak mohou přispět k nastavení pravidel, požadavků a hodnotících kritérií v případě vzniku dotačních výzev. V rámci řešení projektu uvažujeme o zapojení SFŽP do nabídky odběru výsledků a spolupráci v úrovni konzultací.

S agendou řešenou Ministerstvem zahraničních věcí (MZV) souvisí surovinová bezpečnost ve dvou rovinách. Otázky bezpečnosti dodavatelských řetězců a surovinové bezpečnosti jsou zahrnuty do resortního koncepčního dokumentu Bezpečnostní strategie ČR (2023), která stanovuje nástroje k jejich prosazování a definuje potenciální hrozby, mezi které patří i ohrožení energetické a surovinové bezpečnosti státu. V řešitelském týmu jsou zastoupeni experti, kteří se na zpracování této kapitoly podíleli. Mimo to se MZV v rámci ekonomické diplomacie zaměřuje, zejména v posledních letech, také na oblast surovinové diplomacie, tj. např. na diplomatickou podporu mezinárodní spolupráce oblasti nerostných surovin či na podporu českých firem při hledání náhradních dodavatelů surovinových vstupů. Rovněž s pracovníky věcně příslušného Odboru ekonomické diplomacie jsou členové řešitelského týmu dlouhodobě v kontaktu. Pro resort MZV budou využitelné výsledky řešení částí WP5.1 a WP5.3.

V neposlední řadě souvisí problematika surovinové bezpečnosti s agendou Správy státních hmotných rezerv (SSHR), tedy ústředním orgánem státní správy, který je zodpovědný za hospodářská opatření v krizových stavech (kterým může být i přerušení dodávek strategických surovin) a rovněž zodpovědný za tvorbu, ochranu, financování a kontrolu státních hmotných rezerv, mezi něž patří i surovinové komodity. SSHR zvažuje budoucí doplnění spektra držených komodit i vybranými strategickými či kritickými surovinami (SRM+CRM) a v tomto smyslu pro ni budou využitelné výstupy z řešeného projektu, zejména závěrečný syntetický balíček WP5, např. části týkající se přeshraničních surovinových toků SMR+CRM (WP5.1), vnitrostátních surovinových toků SRM+CRM a zdánlivé domácí spotřeby (WP5.2) a porovnání scénářů surovinové bezpečnosti (WP5.3).

Okrajově zasahuje řešená problematika do kompetencí Ministerstva financí (MF), které zajišťuje hospodaření s majetkem státu a privatizaci majetku státu. V rámci těchto agend hradí MF sanační závazky Fondu národního majetku (FNM) na základě zákona č. 178/2005 Sb., který FNM zrušil, a MF má povinnost tyto závazky, včetně nákladů na odstraňování staré ekologické zátěže (SEZ), krýt. MF dohlíží na odstraňování starých ekologických zátěží a zajišťuje finanční prostředky na tento proces. Průnik plánovaných aktivit projektu a agend MF předpokládáme zejména u WP1, WP2, WP3 a WP5. V průběhu řešení předpokládáme zapojení MF.

S ohledem na možné přesahy plánovaného řešení projektu do oblastí pokrývaných agendami civilního nouzového plánování a krizového řízení, je dalším potenciálním odběratelem podkladů vzniklých z SVA je Ministerstvo vnitra (MV), které je příslušným ústředním orgánem státní správy. V případě identifikace potenciálů využití výsledků projektu bude MV osloveno.

Výzkum v pracovních balíčcích WP1, WP2, WP 3 a WP 5 bude zasahovat do agend zajišťovaných Českým báňským úřadem (ČBÚ), který provádí vrchní dozor nad hornickou činností, činností prováděnou hornickým způsobem, nakládáním s těžebním odpadem a provádí kontrolu ochranou a využívání ložisek nerostů, bezpečností provozu, zajištění chráněných objektů a zájmů před účinky hornické činnosti. Dále stanovuje dobývací prostory, vydává povolení/oprávnění k hornické činnosti, činnosti prováděné hornickým způsobem a k nakládání s výbušninami (v civilním sektoru), ověřování odborné způsobilosti a vydávání přísl. osvědčení a průkazů, vedení evidencí či správa úhrad z dobývacích prostor a z vydobytých nerostů. Výstupy WP1, WP2, WP 3 a WP 5 mohou být využity k činnostem ČBÚ. V průběhu řešení projektu předpokládáme dílčí zapojení ČBÚ formou konzultací a případného odběru výsledků.

V rámci výkonu státní správy v oblasti odpadového a oběhového hospodářství působí Krajské úřady, odbory životního prostředí. Zejména v povolovací a kontrolní činnosti. Agenda je upravena zákony č. 541/2020 Sb., o odpadech a souvisejících předpisech a č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci. V rámci těchto agend vydávají integrovaná nebo složková povolení k provozu zařízení pro nakládání s odpady (např. skládky, spalovny, zařízení na úpravu, využití nebo odstranění odpadů). Zároveň v určitých případech zajišťují dle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivu na ŽP.

V rámci řešení projektu předpokládáme distribuci výsledků směrem ke krajským úřadům prostřednictvím nástrojů metodického vedení MŽP (metodické pokyny, školení, semináře), prostřednictvím Fóra pro výměnu informací o BAT spolupořádaného MŽP a MPO.

Komplexní záměr navrhovaného projektu a široké konsorcium partnerů s erudovanými odborníky jsou zárukou toho, že do navrhovaných technologií a řešení budou promítnuty poznatky a technická řešení minimálně na úrovni dnešního state-of-the art. Samozřejmostí je návrh takových technologických výstupů, které budou splňovat podmínky BAT. Protože oblast získávání SRM a CRM z domácích zdrojů (a se zaměřením na odpady) dosud na území ČR nebyla řešena v potřebné míře, může projekt představovat platformu poskytující informace pro systematické vzdělávání v této oblasti.

Projekt tak může přispívat také představitelům samospráv a obcí, na jejichž katastrálním území budou projekty plánovány a v budoucnu realizovány. Součástí projektových činností jsou také analýzy posuzování životní cyklus (Life-cycle assessment, LCA), která umožní identifikovat místa v navržených konceptech generující environmentální zátěže a přispět k jejich mitigaci.

8.2 Popis očekávaných podkladů vzniklých z SVA

Mezi finální výstupy SVA, které bude řešení SVA logicky zahrnovat zejména ve své druhé části (roky 2029 až 2032), budou vedle technologicky orientovaných výsledků jako jsou postupy pro získávání kritických surovin z jílovitých vrstev, polymetalických rud, těžebních deponií, odpadů z metalurgie a energetiky, technologie pro získávání CRM z různých typů elektroodpadů či technologie pro zpracování a purifikace black mass z baterií patřit rovněž podklady a doporučení pro budoucí aktualizaci strategických a koncepčních dokumentů výše uvedených orgánů státní správy, do jejichž kompetence spadá oblast cirkulární ekonomiky a surovinové bezpečnosti. Návrh projektu očekává tento typ výsledků zejména ve WP5, který je chápán jako zastřešující pracovní balík, ve kterém se soustřeďují klíčové informace z jednotlivých WP.

Konkrétně se bude jednat o následující celostátní strategické a koncepční dokumenty, které se alespoň částečně týkají problematiky, která je součástí SVA:

- Surovinová politika ČR v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů (2017)
- Politika druhotných surovin (2019)
- Plán odpadového hospodářství (2025)
- Bezpečnostní strategie ČR (2023)
- Koncepce Hospodářská opatření pro krizové stavy (2020)
- Plány vytváření a udržování státních hmotných rezerv k zajištění bezpečnosti ČR

Vytvořené podklady a doporučení budou předány věcně příslušným útvarům jednotlivých ministerstev s nabídkou veškeré potřebné součinnosti a odborné podpory při přípravě aktualizací příslušných strategických dokumentů. V první fázi projektu budou podklady reprezentovány výsledky typu –O – výzkumnými zprávami.

V průběhu řešení projektu připravuje dále řešitelský tým různé workshopy na dílčí témata týkající se cirkulární ekonomiky, surovinové bezpečnosti či důležitosti strategických a kritických surovin pro moderní průmyslová odvětví pro pracovníky ústředních orgánů státní správy s cílem průběžně předávat výstupy z řešeného projektu státním decision makerům.

8.3 Spolupráce s veřejnou správou po ukončení řešení projektu

Cílem projektu je kromě dosažení příslibených výsledků také rozvoj spolupráce mezi konsorciálními partnery, ale také s výše identifikovanými úřady a dalšími organizacemi, tj. systematická tvorba expertní sítě odborníků a jejich pracovišť, která se bude dále rozvíjet prostřednictvím spolupráce na dalších dílčích národních a mezinárodních projektech, připravovaných výzkumných centrech v navazujících výzvách Programu prostředí pro život 2 a dalších. Členové řešitelského týmu jsou připraveni se přímo podílet na přípravě a realizaci aktualizace konkrétních strategických dokumentů a na implementaci připravených tezí, podkladů a doporučení. Obdobně jsou členové řešitelského týmu připraveni se podílet na průběžném vzdělávání zaměstnanců v oblasti cirkulární ekonomiky, surovinové bezpečnosti, efektivního a šetrného nakládání s přírodními zdroji atd.