

**MATERIAL RECYCLING OF WASTES – PAST, PRESENT AND FUTURE**

**MATERIÁLOVÁ RECYKLÁCIA ODPADOV – MINULOSŤ, PRÍTOMNOSŤ, BUDÚCNOSŤ**

Tomáš Havlík<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> *Technická univerzita v Košiciach, Hutnícka fakulta, Katedra neželezných kovov a spracovania odpadov, Centrum spracovania odpadov*

\* *Corresponding author: e – mail: tomas.havlik@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2428, Technická univerzita v Košiciach, Hutnícka fakulta, Katedra neželezných kovov a spracovania odpadov, Centrum spracovania odpadov, Letná 9, 042 00 Košice, Slovensko*

**Abstract**

Waste creation is normal effect in each industrial society. The waste must be eliminated according to law; however, this is oftentimes taken as valuable secondary raw material. There are some advantages comparing to primary raw materials when material recycling of metal bearing wastes is applied. Metal content is usually higher and energy requirements lower when wastes are treated comparing to primary raw materials processing. The following waste hierarchy shall apply as a priority order in waste prevention and management legislation and policy: (a) prevention, (b) preparing for re – use, (c) recycling, (d) other recovery, e.g. energy recovery; and (e) disposal. This means, that according to law we have forced discipline for maximum exploitation of waste constituent before its disposal. Although raw materials are essential for the EU economy, their availability is increasingly under pressure. It was decided to identify a list of critical raw materials at EU level represented by forty one minerals and metals and relative concept of their criticality was determined. The strategy of European Union is based on three pillars, namely: (1) Ensure level playing field in access to resource in third countries, (2) Foster sustainable supply from European sources, and (3) Boost resource efficiency and recycling. Slovakia has good background for second pillar as previously produced antimony and gallium, and has reach sources for magnesium. Also achievement of the third pillar target in Slovak conditions is realistic as good background in research for recycling of rare earth metals, platinum group metals, precious metals, magnesium, cobalt gallium, indium and germanium is created.

**Keywords:** material recycling, EU raw material policy, critical metal, perspective

**Abstrakt**

Každá industriálna spoločnosť je zákonite sprevádzaná tvorbou odpadov. V zmysle zákona je každý povinný odpad sa zbaviť, avšak tento je často krát cennou druhotnou surovinou. Materiálová recyklácia kovových a kovonosných odpadov býva zvyčajne výhodnejšia voči výrobe kovov z primárnych surovín. Obsah úžitkového kovu býva zvyčajne vyšší a energetické náklady bývajú nižšie v porovnaní s primárnymi surovinami. Navyše legislatíva priamo ukladá hierarchiu odpadového hospodárstva, ktorej podstatou je maximálne využitie všetkých zložiek odpadov pred jeho uložením na skládku. Súčasný nedostatok surovín sa premietol do oficiálnej politiky Európskej únie, kde sa stanovilo štrnásť kritických surovín potrebných pre Európsku úniu, z ktorých dvanásť sú kovy. Pre získanie týchto kovov je potrebné podmieniť stratégiu členských štátov EÚ, založenú na troch pilieroch lepšieho prístupu k zdrojom nerastných surovín. Z tohto pohľadu má Slovensko ako členský štát EÚ isté možnosti a perspektívy.

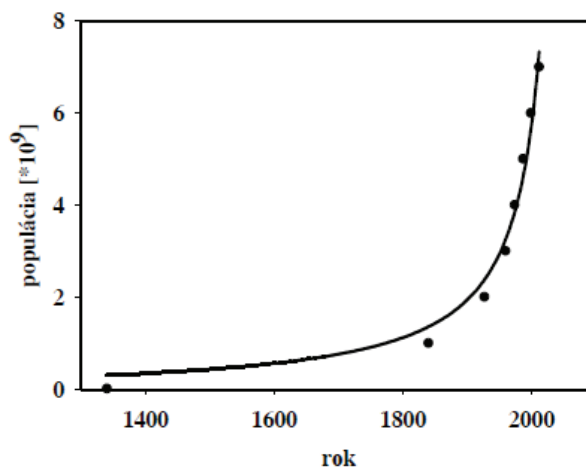
**Kľúčové slová:** materiálová recyklácia, surovinová politika EÚ, kritický kov, perspektívy

Podľa definície Programu Spojených národov pre životné prostredie UNEP je odpad látka alebo predmet, ktorý bol alebo má byť odstránený pre jeho nepotrebnosť, alebo musí byť odstránený podľa vnútroštátnych predpisov. Výklad tejto definície sa transformoval do národných zákonov a na Slovensku je odpad definovaný zákonom 223/2001 Z.z. o odpadoch, kedy sa v § 2 Vymedzenie základných pojmov píše “Odpadom je hnuiteľná vec uvedená v prílohe č. 1, ktorej sa jej držiteľ zbavuje, chce sa jej zbaviť alebo je v súlade s týmto zákonom alebo osobitnými predpismi povinný sa jej zbaviť.” Takáto definícia zrejme vyplynula z faktu nepotrebnosti alebo nepoužiteľnosti danej hmotnej entity a tiež z faktu možného obsahu škodlivých látok, ktoré pri expozícii na živé organizmy vyvolajú jeho poškodenie. Prítom tieto látky nemusia byť á priori nebezpečné, často dokonca živé organizmy bez nich nemôžu existovať, napríklad niektoré ťažké kovy, ale o tom, či spôsobia nejakú újmu na zdraví rozhoduje forma ich prítomnosti a hlavne ich množstvo. Problém môže nastať pri nesprávnej manipulácii alebo nesprávnom nakladaní. Napríklad, kovová meď je neškodná látka, kdežto jej zlúčeniny sú jedovaté.

Odpad je prirodzenou súčasťou každej civilizácie, avšak jeho kvalita a množstvo sa s časom zásadne menili a menia. V minulosti to bol prakticky jedine popol zo spaľovania fosílnych palív, nejaké zvyšky keramiky, prípadne stavebný odpad. Na jeho uskladnenie slúžili odpadové jamy, zriadené v blízkosti obcí. Množstvo odpadov je priamo úmerné populácii., ako to ilustruje Tab.1 a zároveň, populácia vzrastá exponenciálne, Obr.1.

Tab. 1: Svetová populácia

| rok  | svetová populácia    |
|------|----------------------|
| 1340 | 70 miliónov (Európa) |
| 1804 | 1 miliarda           |
| 1927 | 2 miliardy           |
| 1960 | 3 miliardy           |
| 1974 | 4 miliardy           |
| 1987 | 5 miliárd            |
| 1999 | 6 miliárd            |
| 2012 | 7 miliárd            |



Obr. 1 Graf vzrastu svetovej populácie

Významné zvýšenie množstva odpadov, ako aj postupnú zmenu kvality možno zaznamenať po prvej priemyselnej revolúcii po roku 1760 a tento trend trvá až do dnešnej doby.

Odpad sa môže samozrejme vyskytovať vo všetkých troch skupenstvách, ale z hľadiska materiálovej recyklácie je zaujímavé práve tuhé skupenstvo, nehľadiac na to, že čistením odpadov alebo odpadových vôd a roztokov vzniká zase len tuhý odpad.

Podľa miesta vzniku možno tuhé odpady zaradiť do troch veľkých skupín: tuhé odpady priemyselne, tuhé odpady energetické a tuhé odpady komunálne. Na Slovensku pripadá najviac odpadov ročne na priemyselne odpady, predovšetkým rezort hutníctva a strojárstva, poľnohospodárstva a výživy a chemického priemyslu. Druhou najväčšou skupinou sú odpady energetické, ktoré však tak isto možno zaradiť k priemyselným odpadom, a na treťom mieste sú odpady komunálne. Pre porovnanie, v roku 2011 bolo na Slovensku umiestnených na trh 10835785 ton odpadu, z toho bolo komunálneho odpadu 1766990 ton, čo predstavuje necelých 16 % [1]. Komunálnemu odpadu, najmä zložkám separovaného zberu sa však venuje obzvláštna pozornosť, hoci oproti celkovému množstvu priemyselného odpadu sú množstvá separovaného zberu relatívne nízke. Pritom priemyselný odpad nie je menej nebezpečný, alebo "chudobnejší" ako bude pojednané v ďalšom. Dôvod, prečo je tomu tak, je zakotvený v samotnej legislatíve, ktorá definuje, kedy a za akých okolností je odpad odpadom. V každom prípade, celkové množstvá odpadu vzrastajú a potreba zbaviť sa ho je čoraz náročnejšia.

Každá industriálna spoločnosť závisí od prísunu surovín a energie. Súčasný stav, a to v globálnom meradle, je poznamenaný minimálne dvomi fundamentálnymi problémami – nedostatkom energie a nedostatkom surovín, čo vyvoláva na všetkých svetových a aj lokálnych fórach hlboké diskusie o klimatických zmenách, budúcej energetickej politike, ako aj udržateľnom rozvoji spoločnosti. Otázka znie do akej miery reálne tieto fenomény ohrozujú súčasný stav.

Najkriminalizovanejším skleníkovým plynom je zrejme oxid uhličitý. Jeho množstvo v atmosfére je však len na úrovni 0.015 %, avšak za 30 % skleníkového efektu zodpovedá vodná para, ktorej obsah v atmosfére je na úrovni 5 – 6 %, čo je viac ako 300-násobok množstva CO<sub>2</sub>. Zároveň si treba uvedomiť, že ak by sme aj predpokladali zvýšenie teploty, bude to mať za následok zvýšené odparovanie vody. Vodná para sa adiabaticky rozpína a pritom ochladzuje. Po ochladení na teplotu rosného bodu sa začnú vo vzduchu vytvárať drobné kvapôčky vody, ktoré tvoria oblak. Po dosiahnutí stavu nasýtenia začne pršať a vodné kvapky dažďa v sebe rozpúšťajú plyny vrátane CO<sub>2</sub> za vzniku slabšej kyseliny uhličitej, ktorá okrem iného vylúhuje aj vápnik a odnáša ho do mora. Zjednodušene povedané, zmenou vonkajších podmienok sa vyzráža karbonát vápenatý CaCO<sub>3</sub>, ktorý sám o sebe je látkou stabilnou a samovoľne neuvolňuje CO<sub>2</sub> do atmosféry. Tento kolobeh už pretrváva mnoho stoviek miliónov rokov. Preto sú tézy o alarmujúcom stave, zapríčinenom oxidom uhličitým prinajmenšom diskutabilné.

Oblúbeným celosvetovým diskusným fórom je tiež energetická kríza. Overené množstvá však hovoria o tom, že svetové zásoby ropy zatiaľ vystačia najmenej na 250 rokov [2], uhlia najmenej na 164 rokov [3] a zemného plynu na 250 rokov [4], nehovoriac o novoobjavovaných zásobách ropy napríklad v Severnom mori, Brazílii, Vietname, Izraeli a ďalších. Významným energetickým zdrojom sú tiež jadrové elektrárne. Zároveň nemalú úlohu tu hrajú alternatívne zdroje energie, ako slnečná, veterná a vodná a geotermálna energia, ktoré sú v zásade nevyčerpatelné. Takže tak isto, debaty o nedostatku energie sú najmenej pre súčasné obdobie prakticky irelevantné.

Ďaleko dramatickejšia situácia je v nedostatku nerastných surovín, pričom sa to prejavuje najmä nedostatkom kovov. Kvalifikované odhady celosvetových zásob niektorých kovov v otvorených náleziskách sú alarmujúce. Tab. 2 zobrazuje celosvetové zásoby primárnych surovín niektorých kovov vzhľadom na celosvetové ťažené náleziská

Tab. 2 Celosvetové súčasné zásoby niektorých kovov v ťažených náleziskách [5]

| Kov | celosvetové zásoby<br>v rokoch |
|-----|--------------------------------|
| Sb  | 10.65                          |
| Pb  | 18.9                           |
| Sn  | 18.97                          |
| As  | ~ 20                           |
| Zn  | 20.16                          |
| Ag  | 22.27                          |
| Cu  | 42.85                          |
| Ni  | 44.44                          |
| Mn  | 45.00                          |
| Hg  | 48.18                          |

Ukazuje sa, že energetická kríza a klimatické zmeny sú v danom momente len papierový tiger a v súčasnosti priamo neohrozia civilizačným kolapsom. Otázkou je, komu takáto psychóza prospieva – automobilová a náväzná lobistická skupiny, ako ropná, gumárska, asfaltová a podobne skupiny budú vytvárať katastrofické scenáre za účelom zvyšovania svojich ziskov. Nič nebráni napríklad tomu, aby sa ako palivo využíval podstatne lacnejší propán, alebo zemný plyn, nič nebráni tomu, aby sa na automobilové karosérie používal hliník, ktorý je približne tri razy ľahší ako oceľ, čím by celková hmotnosť vozidla významne poklesla, následkom čoho by poklesla aj spotreba paliva. Navyše, hliníkové karosérie nekorodujú, čím by odpadli súčasné problémy s používaním zinku na povrchovú antikoroziu úpravu. Zinok zvyšuje hmotnosť karosérie, je drahý a spôsobuje environmentálne a technologické problémy pri recyklácii vyradených automobilov. Toto však nezapadá do scenára ziskov silných automobilových korporácií.

Nič to však nemení na fakte, že skutočným a akútnym problémom sa stáva čoraz väčší nedostatok kovov, ktoré pre svoje unikátne vlastnosti ani nie je možné nahradiť. Keďže na rozdiel od energetických zdrojov, kovy nie je možné nahradiť, je nutné hľadať spôsob ako šetriť prírodné zdroje primárnych surovín kovov. Toto ponúkajú druhotné suroviny kovov, reprezentované kovovými a kovonosnými odpadmi. Je samozrejmé, že bez primárnych surovín nemôžu existovať odpady, teda druhotná surovina, ale ich dôslednou recykláciou sa šetria primárne zdroje a predlžuje udržateľný rozvoj.

Pri podrobnejšom skúmaní sa ukazuje, že spracovanie druhotných surovín kovov – ich recyklácia – nesie so sebou radu výhod. Okrem samotného faktu šetrenia vyčerpávajúcich sa zdrojov primárnych surovín je veľkou výhodou veľká úspora energie pri ich recyklácii.

Výroba kovov s primárnych surovín je sprevádzaná niekoľkými základnými problémami. Obsah kovov v ich primárnych surovinách je relatívne nízky a v prípade neželezných kovov značne nízky. Tab. 3: uvádza prehľad množstva niektorých kovov, nachádzajúcich sa v ich rudách v členení ich mineralogickej prítomnosti a kvantitatívneho zastúpenia kovu v rude.

Po vytážení sa ruda musí podrobiť uprávrenským procesom, pozostávajúcimi z drvenia, mletia, koncentrácie, prípadne aglomerácie, alebo inej úpravy pred samotným procesom. Toto sú extrémne energeticky náročné procesy, zvyčajne pozostávajúce z fyzikálnych operácií. Samotná výroba kovov sa deje cestou fyzikálno – chemických alebo chemických operácií, ako tavenie, rafinácia, odlievania v prípade pyrometalurgických a elektrometalurgických operácií, alebo cestou lúhovania, čistenia roztoku, selektívneho získavania kovov z roztoku a finálneho pretavovania v prípade hydrometalurgických operácií. Všetky tieto procesy sú sprevádzané veľkou spotrebou tepelnej a elektrickej energie, pričom sú sprevádzané tvorbou škodlivých látok a teda sú potenciálne nebezpečné pre životné prostredie.

**Tab. 3** Prehľad prítomnosti niektorých kovov v ich rudách

| kov | bežná forma prítomnosti v rude   | obsah kovu v rude [%] |
|-----|--|-----------------------|
| Fe  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeCO <sub>3</sub>   | 20 – 60               |
| Cu  | CuFeS <sub>2</sub>   | > 1                   |
| Zn  | ZnS  | 2 – 10                |
| Pb  | PbS  | 3 – 10                |
| Al  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · nH <sub>2</sub> O   | ~ 20                  |
| Ni  | NiS, NiO, (Ni <sub>3</sub> Mg) <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> | 2.5                   |
| Sn  | SnO <sub>2</sub>   | 1                     |
| Co  | (Ni,Co,Mg) <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>                     | 0.05                  |
| Au  | Au   | 5.10 <sup>-7</sup>    |

Recykláciou kovov z ich odpadov – druhotných surovín veľká väčšina spomenutých problémov odpadá, pretože tomu boli podrobené v primárnej výrobe. Kovy sa v odpadoch v zásade nachádzajú v dvoch formách, a to ako nulmocné (čisté kovy, alebo zliatiny) a ich obsah je významný, rádovo v desiatkach percent. Tieto sú zvyčajne dobre navzájom oddeliteľné, čím ich možno priamo použiť na taviace procesy. Takýto materiál sa bežne nazýva šrot a v prípade železa, meď, hliníka a ich zliatin je ich recyklácia pomerne dobre zvládnuteľná.

Iná forma prítomnosti kovov v ich odpadoch je vo forme ich zlúčenín, v závislosti od histórie ich vzniku napríklad vo forme oxidov, sulfidov, síranov, komplexných zlúčenín, prípadne aj v kovovej forme, ale v nízkom zastúpení (ppm až jednotky percent) a/alebo v mnohokomponentnej zmesi alebo matrici. Zároveň sa môže vyskytovať v tuhej alebo kvapalnej forme, a tiež aj s vysokým obsahom vody. Takýto odpad sa zvyčajne nazýva kovonosný. Tento odpad sa spracováva obtiažnejšie. Podobne, ako v prípade primárnych surovín, je nutné aplikovať rôzne metódy úpravy a separácie zložiek, alebo aplikácie rôznych fyzikálno – chemických, alebo chemických pochodov.

V každom prípade existuje mnoho prípadov, ktoré dokumentujú významnú úsporu energie a nákladov pri výrobe kovov z druhotných surovín pri porovnaní s výrobou z primárnych surovín tak, ako to dokumentuje Tab. 4. a Tab. 5

Z uvedeného vyplýva, že recyklácia odpadov ponúka všetky výhody pre opätovné získanie a použitie kovov. Otázka znie: prečo sa teda táto možnosť mohutne nevyužíva? Úplná odpoveď na túto otázku nie je jednoduchá a závisí od viacerých faktorov, ale pravdepodobne existujú tri problematické miesta, ktoré spomaľujú spracovanie odpadov, a to legislatívne, technické a mentálne hľadisko, podporované všeobecnou spoločenskou klímou.

Spracovanie odpadov z legislatívneho hľadiska podmieňujú národné legislatívne normy, ktoré sú poväčšine odvodené z európskej legislatívy. Základnou slovenskou normou je zákon č. 223/2001 Z.z. o odpadoch, ktorý bol postupne novelizovaný a prešiel viacerými zmenami. Poslednou novelou je zákon 343/2012 Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon 223/2001 Z.z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Táto posledná novela bola vynútená najmä Smernicou Európskeho parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpade a o zrušení určitých smerníc. Z hľadiska materiállovej recyklácie kovových odpadov je veľmi významným nariadenie Rady EÚ č. 333/2011, ktorým sa ustanovujú kritériá na určenie toho, kedy určité druhy kovového šrotu prestávajú byť odpadom podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2008/98/ES.

Tab. 4 Prehľad prítomnosti niektorých kovov v ich rudách a odpadoch

| Ruda                 | obsah kovu [%] | komplexný odpad   | obsah kovu [%]            | šrot            | obsah kovu [%]       | Index       |
|----------------------|----------------|-------------------|---------------------------|-----------------|----------------------|-------------|
| železa               | ~ 40           | troska            |                           | oceľový šrot    | 95 – 98              | 2           |
| medi                 | 0.7 – 1        | OOEZ kaly         | ~ 16<br>~ 30              | mosadz, bronz   | 40 – 60              | 15<br>60    |
| olova                | 4 – 6          | spájka            | ~4                        | akušrot         | 95                   | 1<br>25     |
| niklu                | ~ 2            | kaly              | 10 – 20                   |                 |                      | 20          |
| zinku                | ~ 6            | úlety, kaly       | 3 – 30                    | mosadz          | 40 – 50              | 5<br>10     |
| cínu                 | ~ 1            | OOEZ              | ~ 3                       | bronz           | 40 – 60              | 3<br>60     |
| hliníka              | ~ 30           | stery             | 30 – 50                   | zliatinový šrot | 80 – 90              | 2<br>3      |
| zlata                | 0.0001         | OOEZ anódové kaly | 0.03<br>0.1 – 1.3         | zlomkové        | čisté, podľa karátov | do<br>10000 |
| striebra             | ~ 0.01 – 0.1   | OOEZ anódové kaly | 0.05<br>2 – 30            | zlomkové        | ~ 100                | do<br>10000 |
| prvky vzácnych zemín | Ce             | 0.001 – 6         | použité elektrické články | 50 – 55         |                      | do<br>50000 |
|                      | La             |                   |                           | 18 – 28         |                      | do<br>30000 |
|                      | Nd             |                   |                           | 12 – 18         |                      | do<br>18000 |
|                      | Pr             |                   |                           | 4 – 6           |                      | do<br>6000  |

Tab. 5 Úspory pri recyklácii niektorých kovov

| Recyklácia              | Úspory   |
|-------------------------|--|
| 1 kg oceľového šrotu    | 2 kg uhlia, 4 kg rudy, 61 % energie            |
| 1 kg odpadovej medi     | 142 kg rudy, 80 % energie na výrobu z rudy     |
| 1 kg odpadového hliníku | 95 % energie oproti výrobe z prvotnej suroviny |
| 1 kg odpadového zinku   | 95 % energie                                   |

V právnych predpisoch a politikách, ktoré sa týkajú predchádzania vzniku odpadu a nakladania s odpadom, sa ako poradie priorit uplatňuje táto hierarchia odpadového hospodárstva:

- predchádzanie vzniku;
- príprava na opätovné použitie;
- recyklácia;
- iné zhodnocovanie, napr. energetické zhodnocovanie;
- zneškodňovanie,

pričom sa ale dôraz kladie predovšetkým na podporu možností, ktoré poskytujú najlepší celkový environmentálny výsledok, čo nemusí byť zlučiteľné s ekonomickými aspektmi. V zmysle platnej legislatívy však niektorý špecifický odpad prestáva byť odpadom ak prejde činnosťou zhodnocovania vrátane recyklácie a spĺňa osobitné kritériá, v súlade nasledovnými podmienkami:

- látka alebo vec sa bežne používa na špecifické účely;
- pre túto látku alebo vec existuje trh alebo je po nej dopyt;
- látka alebo vec spĺňa technické požiadavky na špecifické účely a spĺňa existujúce

- právne predpisy a normy uplatniteľné na výroby;
- d) použitie látky alebo veci nepovedie k celkovým nepriaznivým vplyvom na životné prostredie alebo zdravie ľudí.

Z technického hľadiska spomaľujú recykláciu odpadov najmä nasledovné faktory:

- relatívne nízka úroveň vedeckého poznania;
- nízka úroveň analytických metód a vzorkovania;
- nevyužívanie najvhodnejších technológií;
- roztrieštenosť výrobných kapacít;
- relatívne malé možnosti konečného spracovania poloproduktov alebo separovaných zložiek druhotných surovín alebo uplatnenia samotných produktov spracovania odpadov;
- nevhodná logistika.

Oproti mnohotisročnej histórii primárneho hutníctva a jeho neustáleho rozvoja je história materiálovej recyklácie kovových a kovonosných odpadov krátka a často jednostranná. S istými obmedzeniami vzhľadom najmä na zloženie zliatin, sa pomerne úspešne darí recyklácia kovov na báze železa, hliníka, medi a olova. Ostatné kovy sa recyklujú s veľkými obtiažami v podstate z dôvodu ich komplexného kvalitatívneho aj kvantitatívneho zastúpenia v odpadoch. Vzhľadom na krátku históriu materiálovej recyklácie obrovské množstvo druhov odpadov a zároveň na ich neustálu obmenu jednoducho nebolo možné prepracovať optimálne postupy ich recyklácie.

S tým idú ruka v ruke aj zatiaľ nezvládnuté analytické postupy kvalitatívnej a kvantitatívnej chemickej a fázovej analýzy jednotlivých odpadov. Predovšetkým, prakticky každá takáto analýza je založená na používaní štandardných metód, to jest porovnávaním nameraných sledovaných veličín s tými istými na štandardných krivkách, vytvorených s presne definovaných množstiev sledovaných prvkov, alebo fáz. Samozrejme, do analýz vstupujú také parametre, ako matrix efekt alebo príprava vzorky. Z tohto hľadiska v princípe “štandardné vzorky odpadov” neexistujú a ani ich nemožno pripraviť. Samozrejme, komplexný charakter odpadov často vylučuje použitie prepracovaných metód, napr. zmes anorganických a organických zložiek v podstate neumožňuje ich dokonalé rozpustenie v anorganických kyselinách a následnú aplikáciu napríklad metódy AAS.

Z tohto istého dôvodu ani nemožno aplikovať optimálne metódy vzorkovania, ktoré sú absolútne nevyhnutné nielen pre reprezentatívnu analýzu, ale aj obchodné vzťahy. V princípe je nemožné urobiť priemernú reprezentatívnu vzorku starého vozidla alebo vyradeného počítača, nehľadiac na to, že sa jednotlivé výrobky jednotlivých firiem od seba líšia aj v závislosti od značky a dátumu výroby.

Výroba a spracovanie kovov z primárnych surovín je proces náročný a komplikovaný. Vyžaduje mimoriadne veľké množstvo operácií, čo úhrnom predstavuje mimoriadne náročné investičné a prevádzkové náklady. Z hľadiska ich návratnosti sa potom procesy plánujú a realizujú pre desiatky alebo až stovky rokov existencie prevádzky. Na takú dlhú dobu musia pochopiteľne existovať aj suroviny, čo sa v prípade primárnych rudných surovín v zásade aj dosahuje a s úspechom využíva.

Nanešťastie, aplikácia tejto základnej axiómy v prípade odpadov je komplikovaná, alebo nemožná. Vývoj nových výrobkov a tiež faktorov, ovplyvňujúcich vznik odpadov je veľmi rýchly a zapríčiňuje rýchlu zmenu v kvalitatívnom aj kvantitatívnom zložení odpadov, čo sa pochopiteľne odráža aj na odpadoch, ktoré slúžia ako druhotné suroviny. Jednoducho povedané, v prípade materiálovej recyklácie často nie je možné plánovať dlhodobý výrobný cyklus s veľkými investičnými nákladmi, čo významne obmedzuje ich recykláciu. Samozrejme, o čo je spracovávaný odpad komplexnejší, o to sa ťažšie recykluje. Výsledkom potom je aj to, že sa

často nevyužívajú najvhodnejšie technológie na spracovanie odpadov. Aplikácia odpadov do jestvujúceho výrobného postupu často prináša viac škody ako osohu.

Na tomto základe sa potom budujú menšie a/alebo malé prevádzky, zamerané na predúpravu alebo úpravu odpadov a ich premenu na surovinu, ktoré sa potom ďalej spracovávajú na kov, alebo požadované produkty v špecifických, často veľkokapacitných zariadeniach. Výsledkom je však roztrieštenosť výrobných kapacít, ktoré má za následok jednak vysoké náklady a malú návratnosť, jednak tvorbu ďalších, druhotných odpadov a logistické problémy. Pritom sa často stáva, že získaný sekundárny produkt má relatívne malé možnosti uplatnenia na trhu, keďže často nie je možné dosiahnuť požadované parametre ako pri produkcii z primárnej výroby.

Katastrofálny nedostatok nerastných surovín si už uvedomujú aj orgány Európskej únie. Analýza súčasných požiadaviek na nerastné suroviny, potrebných pre ďalší rozvoj európskej ekonomiky, vedie okrem iného ku stanoveniu nových zásad jednotnej surovinovej politiky členských štátov EÚ. Nová surovinová politika Európskej únie vychádza z troch základných pilierov lepšieho prístupu k zdrojom nerastných surovín s cieľom zvýšiť konkurencieschopnosť európskeho kontinentu v globálnej ekonomickej súťaži, a to:

- vytvorenie spolupráce s krajinami, ktoré majú relatívny dostatok nerastných surovinových zdrojov a zaistenie nediskriminačného prístupu k týmto surovinám;
- vytvorenie vyššej miery využívania európskych surovinových zdrojov;
- využívanie materiálovo šetrných technológií a zvyšovanie miery recyklácie [6].

Na základe kritickej analýzy a ekonomickej dôležitosti sa určilo 41 kritických materiálov v globálnom meradle, pričom pre potreby Európskej únie ako celku sa určilo 14 kritických surovín pre Európsku úniu nasledovne (v abecednom poradí): antimón, berýlium, gálium, germánium, grafit, horčík, indium, kazivec, kobalt, niób, platinové kovy, prvky vzácnych kovov, tantal, volfrám. Tu sa v plnej miere preukázal deficit kovov, keďže až na grafit a kazivec, ktoré sú nekovy a germánium a antimón, ktoré sú polokovy, sú všetky deficitné materiály suroviny kovov.

Aj potenciálny nedostatok energie prinútil vrcholové európske orgány zaoberať sa týmto problémom, čoho výsledkom je prijatie Plánu strategických energetických technológií pre najbližšie obdobie, tzv. SET – plan, ktorý preferuje využitie zelených energií bez využívania fosílnych zdrojov [7]. Pre rozvoj a uplatnenie týchto energií sa definovalo 14 kritických kovov, nevyhnutných pre ich prevádzku. Týchto 14 kovov, v poradí ich nedostatku sú telúr, indium, cín, hafnium, striebro, dysporzium, gálium, neodým, kadmium, nikel, molybdén, vanád, niób a selén.

Požiadavky na tieto kovy vyplývajú z potrieb pre použitie v moderných technológiách, ako je uvedené v Tab. 6.

Riziko dodávok kritických materiálov vyplýva hlavne z nemožnosti krajín EÚ kontrolovať ich výrobu a produkciu. Väčšinu svetovej produkcie kritických materiálov kontroluje Čína (antimón, kazivec, gálium, germánium, grafit, indium, horčík, PVZ, volfrám), Rusko (platinové kovy), Kongo (kobalt, tantal) a Brazília (niób a tantal). Táto koncentrácia výroby je v mnohých prípadoch úroveň veľmi nízkou nahraditeľnosťou a nízkou recykláciou.

Riziká deficitu kritických nerastných surovín pre krajiny Európskej únie sú zobrazené na Obr. 2. [8]

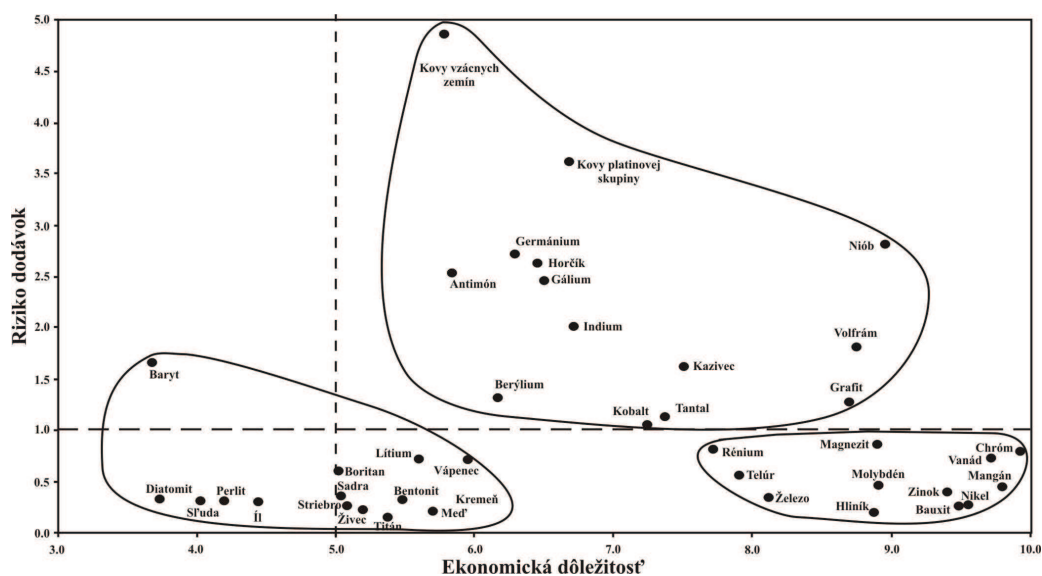
Na základe troch hlavných pilierov Európskej únie lepšieho prístupu k zdrojom nerastných surovín stanovených pre najbližšie obdobie možno pre Slovenskú republiku odvodiť hlavné smerovania pre získavanie kritických materiálov.

Z Obr. 2 vyplýva, že medzi najkritickejšie materiály okrem iných patria aj antimón, gálium, a horčík. Toto je dobrá štartovacia pozícia pre Slovensko, keďže ZSNP Žiar nad Hronom, závod Vajsková vyrábala pyrometalurgický antimón až do roku 1990 z domácich surovín. Navyše, tieto obsahujú aj ušľachtilé kovy v pomerne vysokých koncentráciách.



Tab. 6 Aplikácia niektorých kritických kovov a polokovov

| kritická surovina/kov | niektoré aplikácie                           |
|-----------------------|--|
| antimón               | nanomateriály ATO, mikroelektronika          |
| cín                   | spájka, elektronika                          |
| gálium                | fotovoltaika, polovodiče                     |
| germánium             | optické vlákna, IČ optické technológie       |
| indium                | obrazovky, fotovoltaika                      |
| kobalt                | lítiové elektrické články, syntetické palivá |
| neodým (PVZ)          | permanentné magnety, laserové technológie    |
| niób                  | mikroelektronika, ferozliatiny               |
| paládium              | katalyzátory, odsoľovanie morskej vody       |
| platina               | palivové články, katalyzátory                |
| tantal                | mikroelektronika, medicínske technológie     |



Obr. 2 Riziká deficitu kritických nerastných surovín pre krajiny Európskej únie

Slovenské ložiská kryštalického magnezitu patria k najväčším a najvýznamnejším v Európe. V minulosti slúžil magnezit najmä na výrobu žiaruvzdorným stavív a kovový horčík sa z neho nevyrábala. Vzhľadom na požiadavky je však v súčasnosti vhodná doba prehodnotiť tento stav a pre Slovensko z toho vyplýva tak isto dobrá pozícia.

V ZSNP, n. p. Žiar nad Hronom sa vyrábalo gálium, ktoré sa nachádzalo v bauxite a jeho produkcia dosiahla maximum v osemdesiatych rokoch minulého storočia na úrovni 3500 kg Ga/rok, čo znamenalo, že Československo sa v tomto období stalo významným svetovým producentom, keďže v roku 1985 bola svetová výroba gália 35 ton.

Z uvedeného vyplýva, že jestvujúce skúsenosti, know – how a materiállová báza ponúka významnú možnosť naplniť druhý pilier EÚ prístupu k zdrojom surovín v slovenských podmienkach minimálne v oblasti antimónu, horčíka a gália.

Tretí pilier, založený na maximálnej recyklácii odpadov obsahujúcich kritické kovy evokuje budúcnosť materiállovej recyklácie odpadov na Slovensku. Existujúce štúdie a dosiahnuté výsledky recyklácie v laboratórnom a poloprevádzkovom meradle v rámci laboratória CENSO [9] ponúkajú dobrú šancu na významný príspevok Slovenska minimálne v niekoľkých oblastiach kritických kovov pre EU, Tab. 7.

**Tab. 7** Súčasný stav riešenia materiálovej recyklácie kritických kovov

| kritický kov              | odpad                                 |
|---------------------------|---------------------------------------|
| prvky vzácnych zemín      | magnety, NiMH akumulátory, luminofóry |
| platinové/ušľachtilé kovy | katalyzátory, OEEZ                    |
| horčík                    | AlMg zliatiny                         |
| kobalt                    | Li akumulátory                        |
| gálium, indium, germánium | fotovoltaické panely                  |

### Záver

Aktuálna spotreba niektorých kovov a ekonomiky jednotlivých štátov Európskej únie vyústili do kritického nedostatku ich surovín. Prakticky jedinou možnosťou ich zabezpečenia bez potreby importu je sofistikovaná materiálová recyklácia odpadov s obsahom týchto kovov. Tento prístup má nepochybne niekoľko významných výhod, najmä:

1. umožňuje vyrábať kovy, pre ktoré v danej krajine neexistujú prirodzené zásoby,
2. recyklácia kovov z odpadov extrémnym spôsobom šetrí energiu a životné prostredie,
3. aj malé vyrábané množstvá zabezpečia výrobu s vysokou pridanou hodnotou,
4. relatívne nízke investičné a prevádzkové náklady, keďže aj globálne vyrábané množstvá sú relatívne nízke, zvyšuje sa konkurencieschopnosť malých krajín,
5. podpora hospodárskeho rastu v krajine a EÚ (automobilový, elektronický, chemický, ... priemysel)
6. rozvoj mozgového potenciálu a zamestnanosti.

### Pod'akovanie

Táto práca sa vykonala v rámci riešenia grantu VEGA MŠ SR 1/0293/14 a za jeho finančnej podpory, ako aj pri riešení projektu Centra excelentnosti v rámci operačného programu Výskum a vývoj, číslo ITMS 26220120017.

### Použitá literatúra

- [1] Správa o stave životného prostredia slovenskej republiky v roku 2011. [online]. Dostupné na <[http://www1.enviroportal.sk/pdf/spravy\\_zp/2011-sk/svk11s.pdf](http://www1.enviroportal.sk/pdf/spravy_zp/2011-sk/svk11s.pdf)>.
- [2] Svetové zásoby ropy vystačia ešte na 250 rokov. [online]. Dostupné na <<http://www.etrend.sk/trend-archiv/rok-/cislo-J%C3%BA/svetove-zasoby-ropy-vystacia-este-na-250-rokov.html>>.
- [3] Oceliarstvo. [online]. Dostupné na <<http://docs.capitalmarkets.sk/editor/File/IDdok/Analyzy/Uhlie%20ocel%20final.pdf>>.
- [4] Zmný plyn 2011. [online]. Dostupné na <[http://docs.capitalmarkets.sk/editor/File/IDdok/Analyzy/2011/ZEMNY%20PLYN\\_2011.pdf](http://docs.capitalmarkets.sk/editor/File/IDdok/Analyzy/2011/ZEMNY%20PLYN_2011.pdf)>.
- [5] Mineral Commodity summaries 2012, U.S. Geological Survey, [online]. Dostupné na <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf>>.
- [6] Nowakowska M.: Defining Critical Raw Materials in the EU: Information Gaps and Available solutions, US-EU Workshop on Mineral Raw Material Flows & Data, Brussels, September 2012
- [7] Technology & Inovation. [online]. Dostupné na <[http://ec.europa.eu/energy/technology/set\\_plan/set\\_plan\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm)>.
- [8] Raw materials. Defining "critical" raw materials. [online]. Dostupné na <[http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm)>.
- [9] Centrum spracovania odpadov. [online]. Dostupné na <[www.censo.sk](http://www.censo.sk)>.