

# Environmentálne technológie v hutníctve železa a ocele

Legemza, J., Miškufová, A., Havlík, T.: *Environmental Technologies in the Iron and Steel Industry*. Životné prostredie, 2018, 52, 3, p. 152 – 163.

*Metallurgy, including the iron and steelmaking segments has extremely important roles in the world economy, and this creates a higher business profile for the Slovak Republic. The integral part of all business and human activities should be the ultimate protection of the environment, and this environmental protection should be independent of all society's production and social activities. This paper identifies the current and intended environmental activities and the goals of the European Union, industry and research and development sectors, and it focuses especially on metallurgical and environmental interaction. Our aim is to bring the current status and trends of iron and steel metallurgy to the closer attention of the scientific community, and therefore we examine these trends in relationship to iron and steel metallurgy and the environmental protective aspects in technology and innovation.*

*Key words: metallurgy, iron, steel, environment, environmental technologies*

Environmentálne otázky dnes zohrávajú pre priemysel a rozvoj spoločnosti omnoho väčšiu úlohu ako kedykoľvek predtým. V súčasnosti sa pozornosť svetových ekonomík orientuje najmä na energiu (energetickú efektívnosť technológií), suroviny a inovácie a, samozrejme, ľudské zdroje. Zároveň si môžeme všimnúť aj fenomén prepájania ekonomickej a environmentálnej politiky. V spoločnosti rezonujú tiež čoraz viac pojmy, ako udržateľný rozvoj, cirkulárna ekonomika, recyklácia, kritické suroviny, environmentálne technológie, ekológia, ekodizajn a pod. Spoločnosť si stále viac uvedomuje a zdôrazňuje potrebu energie, surovín, ich efektívneho využívania a zároveň ochrany životného prostredia. Tieto aspekty sa dotýkajú všetkých sfér života, nielen priemyslu. Ruka v ruke s týmito aktivitami sa vyvíja aj legislatívny tlak a celkové smerovanie a orientácia priemyselnej výroby, a tým aj výskumu a vývoja. Ťažobný priemysel a hutníctvo sa nachádza v ťažkej pozícii, keďže je na začiatku výrobného reťazca v spoločnosti a širšia verejnosť ho často nevníma alebo vníma viac negatívne alebo skreslene aj prostredníctvom médií. Zároveň má však silnú pozíciu, nakoľko dnes viac ako inokedy má vo vyspelej spoločnosti nezastupiteľnú úlohu vďaka rozvoju vyspelých technológií. Hutnícky priemysel má na Slovensku bohatú tradíciu a korene a v najväčšej miere sa podieľa na tvorbe HDP tejto krajiny. V súčasnej dobe, kedy rezonuje nedostatok energie a surovín, neefektívne hospodárenie so zdrojmi a znečistenie životného prostredia, je viac ako žiaduce, aby sa nielen odborná, ale aj celá spoločnosť oboznámila s významom potreby surovín, šetrenia zdrojmi, efektívneho využívania energie a surovín, výroby a spracovania kovov a recyklácie. Tieto aspekty sú tiež základnými piliermi stratégie EÚ a ostatných krajín sveta v oblasti surovínovej

politiky. Spoločnosť si zvykla na využívanie vyspelých technológií, ale tie nebudú fungovať bez kovov, a teda bez surovín a ich ťažby a hutníctva. Vyspelé ekonomiky sveta sú v prvom rade priemyselne silné krajiny s orientáciou na zabezpečenie dostatku surovín, výrobu kovov a produktov z nich s vyššou pridanou hodnotou. Cieľom tohto príspevku je poukázať na súčasné a plánované aktivity EÚ, priemyselnej sféry a výskumu v oblasti životného prostredia a zároveň popísať súčasný stav a trendy v hutníctve železa a ocele najmä vo vzťahu k environmentálnym technológiám.

## Legislatívna podpora zavádzania environmentálnych technológií

Environmentálne technológie sú v *Akčnom pláne pre environmentálne technológie* (ETAP – *Environmental Technologies Action Plan*; EC, 2004) definované ako všetky technológie, ktorých použitie je menej škodlivé pre životné prostredie ako využívanie zodpovedajúcich alternatívnych technológií. ETAP predstavuje jeden z podporných prostriedkov v rámci Lisabonskej stratégie (od roku 2000) a predsavzatie EÚ vytvoriť jednu z najdynamickejších, konkurencieschopných a poznatkovo orientovaných ekonomík sveta. ETAP bol prijatý Európskou komisiou (EK) v januári 2004 a následne potvrdený na zasadnutí Európskej rady 25. – 26. marca 2004. Hlavným cieľom ETAP sa stal rozvoj ekonomiky zavádzaním najmodernejších technológií a ekoinovácií, ktoré sú ohľaduplné k životnému prostrediu.

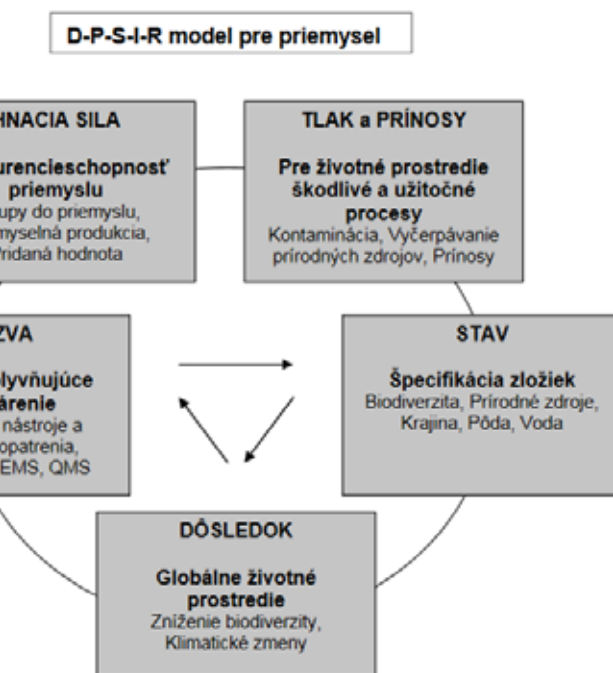
EK v oznámení z roku 2005 po prvýkrát určila integrovaný prístup k priemyselnej politike založený na konkrétnom pracovnom programe horizontálnych a odvetvových iniciatív. Táto politika, ktorá bola dôle-

žitým pilierom Lisabonskej stratégie, je zakotvená v úsilí EÚ o zaistenie riadne fungujúceho vnútorného trhu, ako aj otvorených a konkurencieschopných trhov v celosvetovom meradle a v snahe reagovať na environmentálne výzvy. Nová priemyselná politika bola potvrdená v roku 2007 v oznámení EK (*Strednodobé hodnotenie priemyselnej politiky: Príspevok k stratégii EÚ pre rast a zamestnanosť*; EK, 2007). V roku 2010 bola schválená stratégia *Európa 2020: Stratégia na zabezpečenie inteligentného, udržateľného a inkluzívneho rastu* (EK, 2010a). V oblasti priemyslu bola prijatá iniciatíva *Integrovaná priemyselná politika vo veku globalizácie: Konkurencieschopnosť a udržateľnosť v popredí záujmu* (EK, 2010b), ktorej cieľom je priniesť novú priemyselnú politiku a prispôbiť výrobné procesy a produkty nízkouhlíkovému hospodárstvu. Hlavným cieľom priemyselnej politiky EÚ je presadzovať integráciu trvalo udržateľného rozvoja s činnosťami podporujúcimi súťaživosť v rámci EÚ, ako sú napr. podnikanie a inovácie. Environmentálne výzvy sú priamo prepojené s otázkami ekonomického vývoja.

Organizácia pre ekonomickú spoluprácu a rozvoj (OECD) v tejto súvislosti navrhla hodnotiť situáciu v životnom prostredí prostredníctvom environmentálnych indikátorov agregovaných podľa významu do štruktúry: tlak (*pressure* – P) – stav (*state* – S) – odozva (*response* – R). Základné kritériá stanovené OECD pre environmentálne indikátory boli (1) politická relevantnosť, (2) analytická jednoznačnosť a (3) merateľnosť ukazovateľov environmentálnej efektivity. Európska environmentálna agentúra prevzala a ďalej rozpracovala metodológiu hodnotenia stavu životného prostredia prostredníctvom P-S-R štruktúry navrhnujej OECD s tým, že do spomínanej štruktúry zapracovala ukazovatele hnacích síl (*driven forces* – D) a dôsledku (*impact* – I), čím sa vytvoril uzavretý kauzálny reťazec D-P-S-I-R predstavujúci základný metodologický nástroj integrovaného posudzovania životného prostredia (*Integrated Environment Assessment* – IEA) používaný pri posudzovaní stavu životného prostredia, jeho príčin, ako aj predpokladaných tendencií jeho vývoja do budúcnosti.

Model D-P-S-I-R pre sektor priemysel (obr. 1) je zjednodušeným vyjadrením reality. Existujú ďalšie vzťahy a faktory (napr. sociálno-ekonomické) významne ovplyvňujúce životné prostredie, ktoré však v modeli nie sú plne zahrnuté.

Na hodnotenie environmentálnej efektivity výroby v súlade s uvedenými princípmi a zachovaním konkurencieschopnosti EÚ zaviedla súbor šiestich indikátorov, ktorý sa týka priemyselnej výroby v členských krajinách EÚ, a to (EC, 2002):



Obr. 1. Základný metodologický nástroj pri hodnotení stavu životného prostredia pre sektor priemysel. Zdroj: Vall (2013)

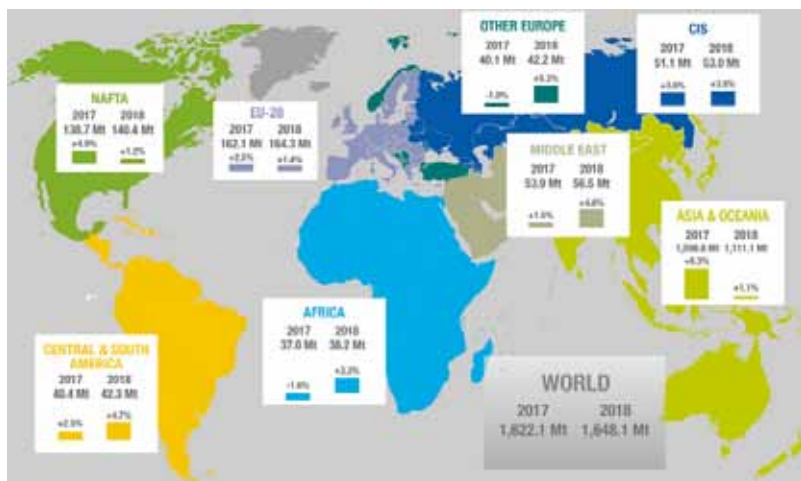
Vysvetlivky: Model D-P-S-I-R: D – hnacie sily, P – tlak, S – stav, I – dôsledok, R – odozva; EMS – systém environmentálneho manažérstva, QMS – systém manažérstva kvality

rencieschopnosti EÚ zaviedla súbor šiestich indikátorov, ktorý sa týka priemyselnej výroby v členských krajinách EÚ, a to (EC, 2002):

1. emisie znečisťujúcich látok z priemyselnej výroby spôsobujúce acidifikáciu ovzdušia (*manufacturing emissions of the acidifying gases*);
2. emisie prekursorov ozónu (*emissions of ozone-predecessors*);
3. emisie skleníkových plynov z priemyslu (*industrial greenhouse gas emissions*);
4. výroba plynov poškodzujúcich ozónovú vrstvu (*production of ozone-depleting gases*);
5. spotreba energie v priemysle (*industrial energy consumption*);
6. spotreba surovín v priemysle (*industrial consumption of raw materials*).

Environmentálna efektivita je vzťah medzi ekonomickou aktivitou a s ňou spojenými negatívnymi vplyvmi na životné prostredie. Hlavným cieľom trvalo udržateľného rozvoja je oddeliť alebo prerušiť toto spojenie. Príslušný sektor ekonomickej činnosti sa stáva environmentálne efektívnym v prípade, ak sa darí zabezpečiť jeho ekonomický rast pri minimalizovaní jeho negatívnych environmentálnych dôsledkov na životné prostredie.

Podľa indikátorovej sektorovej správy o vplyve priemyslu na životné prostredie v roku 2013 nie sú v en-



Obr. 2. Dopyt po oceli v jednotlivých častiach sveta v rokoch 2017 – 2018. Zdroj: WSA (2017a; [www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org))

Vysvetlivky: EU-28 – krajiny Európskej únie, Other Europe – ostatné krajiny Európy, Africa – Afrika, NAFTA – Krajiny severoamerickej dohody o voľnom obchode, Central & South America – Stredná a Južná Amerika, CIS – Spoločenstvo nezávislých štátov (krajiny bývalého Sovietskeho zväzu), Middle East – Stredný Východ, Asia & Oceania – Ázia a Oceánia, World – svet

sku je stále nízka vzhľadom na pomalú reštrukturalizáciu priemyslu, nedostačujúce zavádzanie nových progresívnych technológií, ako aj pretrvávajúcu surovinovú a energetickú náročnosť (Vall, 2013).

Pri analýze potrieb Slovenska sa v rámci ETAP aktivity navrhlo, že pozornosť sa sústreďí najmä na technológie pre oblasti, ako znižovanie energetickej náročnosti výrob a výrobkov, alternatívne zdroje energie a palív, využitie odpadov ako zdroja energie a nové technológie na zhodnocovanie a zneškodňovanie nebezpečných odpadov. Nástupcom ETAP v roku 2011 je *Akčný plán ekologických inovácií*, ktorým sa rozširuje pozornosť EÚ od ekologických technológií do všetkých aspektov ekologických inovácií vrátane produktov a služieb ([www.enviportal.sk](http://www.enviportal.sk)). Výnimkou nie je v tomto prípade ani priemyselná výroba železa a ocele.

Tab. 1. Porovnanie objemu výroby železa a ocele v roku 2016

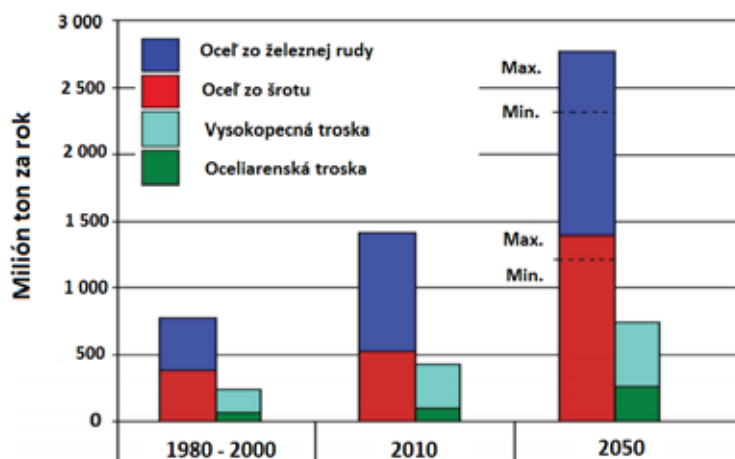
Produkt	Produkcija vo svete (mil. ton)	Produkcija v EÚ (mil. ton)	Produkcija v SR (mil. ton)
Surové železo	1 160	91,31	3,98
Oceľ	1 620	162,02	4,808

Zdroj: WSA (2017b; [www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org)); Huiting, Forssberg (2003); Takáčová, Miškufová (2011)

### Environmentálne aspekty výroby železa a ocele

Železo, resp. oceľ patrí medzi kovy, ktoré sú vyrábané v najväčšom množstve na svete, sú najviac využívané a zároveň recyklované. Produkcia ocele vo svete za posledných desať rokov vzrástla o viac ako 30 % ([www.ironorefacts.com/the-facts/iron-ore-global-markets/](http://www.ironorefacts.com/the-facts/iron-ore-global-markets/); WSA, 2016; WSA, 2017a, b), a to na 1 620 miliónov ton v roku 2016. Produkcia v štátoch EÚ má klesajúci trend, zatiaľ čo produkcia v Číne má trend výrazne stúpajúci pri všetkých typoch ocelí. Najviac ocele sa vyrobí aj spotrebuje v Číne (obr. 2). Porovnanie produkcie železa a ocele vo svete, v EÚ a na Slovensku je v tab. 1. Prognóza výroby železa, ocele a trosky do roku 2050 je na obr. 3.

Oceľ sa vyrába buď spôsobom (1) aglomerácia/peletizácia – koksovanie – vysoká pec – kyslíkový konvertor, kedy sa ako vstupné suroviny používajú uhlie a železná ruda, alebo (2) v elektrickej oblúkovej peci, kde je základom železný šrot a elektrická energia. Na rozdiel od primárnej výroby ocele výroba v oblúkovej peci sa realizuje v menších kapacitách okolo 0,5 miliónov ton (Mt) ročnej kapacity. Výroba v elektrickej oblúkovej peci bude postupne vzrastať, nakoľko v obehu bude stále viac šrotu. Podiel výroby ocele vyrábanej konvertorovým spôsobom tvoril 75 % v roku



Obr. 3. Prognóza produkcie ocele vo svete v roku 2050. Zdroj: Andersson et al. (2013)

vironmentálnej efektívnosti priemyslu Slovenska zrejme zásadnejšie prelomové tendencie, ktoré by signalizovali razantnejšie zavádzanie environmentálnych technológií. Environmentálna efektívnosť priemyslu na Sloven-

skách okolo 0,5 miliónov ton (Mt) ročnej kapacity. Výroba v elektrickej oblúkovej peci bude postupne vzrastať, nakoľko v obehu bude stále viac šrotu. Podiel výroby ocele vyrábanej konvertorovým spôsobom tvoril 75 % v roku

2015 a v oblúkovej peci 25 %, pričom v podmienkach krajín EÚ (EU28) tvorí podiel ocele vyrábanej v konvertore 61 % a v elektrickej oblúkovej peci 39 % (BIR, 2016).

Výroba železa a ocele je materiálovo a energeticky extrémne náročná a vplyvy na životné prostredie sú významné. Produkcia ocele v elektrickej oblúkovej peci použitím 100 % šrotu je menej energeticky náročná (4 – 6 GJ/t ocele) než výroba konvertorovým spôsobom (13 – 14 GJ/t ocele). Pri sledovaní surovínovej (materiálovej) bilancie výroby ocele môžeme dokumentovať nasledovné spotreby základných surovín: na 206 mil. ton ocele je potrebné 126 mil. ton železnej rudy, 5,3 mil. ton plynu a oleja, 17,7 % aditív, 33,2 mil. ton vápna, vápenca, dolomitu, 53,5 mil. ton uhlia vrátane uhlia pre výrobu koksu, 121 mil. ton šrotu (pre kyslíkový konvertor a elektrickú oblúkovú pec). Zároveň sa na uvedené množstvo vyrobenej ocele vyprodukuje 151 mil. ton plyných emisií (odplynov), procesných plynov a tuhých odpadov (okrem odpadových vôd).

Čo sa týka spotreby a manažmentu vôd, samozrejme, závisí to od miestnych pomerov a miery recirkulácie vody pri výrobe. Voda sa využíva najmä pri aglomerácii, na teplej a studenej valcovni, pri chladení a čistení vysokopecných odplynov, pri plynulom odlievaní ocele, pri morení a pokovovaní, čistení odpadových vôd a pod. Na 1 tonu ocele sa spotrebuje 100 až 200 m<sup>3</sup> vody. V prípade intenzívnej integrovanej recirkulácie vody v celom procese výroby tvorí spotreba vody len okolo 2,5 % z tejto hodnoty. Ako kladný príklad manažmentu vôd pri výrobe železa a ocele je možné uviesť bilanciu vody vo vybranom závode v roku 2005, ktorý spotreboval za rok 1,2 mld. m<sup>3</sup> vody. Miera recirkulácie tvorila 97,2 % a len 2,8 % bolo potrebné doplniť čerstvou vodou. Množstvo odpadovej vody bolo 1,2 % a straty tvorili 1,6 %.

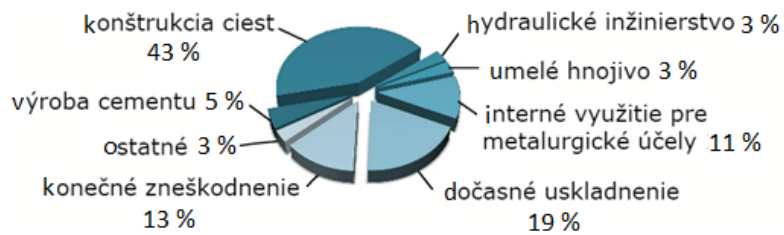
Zhruba polovica materiálových vstupov pri výrobe železa a ocele prechádza vo výstupoch v podobe odchádzajúcich plynov a tuhých odpadov (sekundárnych produktov). Väčšina emisií, ktoré odchádzajú do ovzdušia, pochádza z uhlíkatých palív (uhlie, koks, zemný plyn, ropné produkty). V súčasnosti sme na mnohých miestach sveta (napr. v Číne, Indii, Južnej Amerike) svedkami takého znečistenia, ktoré neohrozuje iba životné prostredie, ale priamo ohrozuje aj zdravie a životy ľudí. Proces „ekologizácie“ metalurgických technológií sa v súčasnosti aktívne (na základe legislatívnych opatrení a prísnych limitov) realizuje iba v Európe, Severnej Amerike, juhozápadnej Ázii a Japonsku. Systematický tlak na výrobcov prináša postupnou modernizáciou metalurgických technológií a zariadení zásadné zlepšenie.

Minimalizáciu emisií a tuhých odpadov je však potrebné riešiť globálne (t. j. aj v regiónoch, kde emisie nie sú zatiaľ prekážkou, keďže sa na nich nevzťahujú prísne limity). V posledných rokoch sa environmentálne technológie pri výrobe železa, ocele a ferozliatin presadzujú aj v Číne a Brazílii, čo je vzhľadom na obrovské kapacity

vyrábaných produktov v týchto krajinách veľmi pozitívne.

Medzi kľúčové environmentálne aspekty výroby železa a ocele pre dva hlavné spôsoby výroby, a to aglomeráciu/peletizáciu – koksovanie – vysokú pec – kyslíkový konvertor a elektrickú oblúkovú pec, môžeme zaradiť (Remus et al., 2013; Gielen, Moriguchi, 2001):

- *aglomerácia a peletizácia* – emisie tuhých znečisťujúcich látok, ťažkých kovov, SO<sub>2</sub>, HCl, HF, polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAH), perzistentných organických polutantov (POPs), najmä polychlórovaných byfenilov (PCB) a polychlórovaných dibenzo-dioxínov/dibenzo-furánov (PCDD/F). Aglomerácia je zodpovedná za približne polovicu emisií tuhých znečisťujúcich látok vyprodukovaných v celom procese výroby. Okrem znižovania emisií v procese aglomerácie a peletizácie je rovnako dôležitým aspektom pri riešení environmentálnych otázok aj efektívne využívanie tepla a tuhých odpadov alebo vedľajších produktov z týchto procesov, príp. spracovanie odpadových vôd z peletizácie;
- *koksovanie* – emisie z prípravných operácií uhlia na koksovanie, emisie priamo z procesu koksovania, rozptylové emisie z netesnosti pecí, vsádzkovačích a výstupných otvorov pri vsádzaní a vyberaní koksu z pecí a pod., z chladenia a úpravy koksu, manipulácie, transportu a skladovania. Koksovanie je významným zdrojom plyných organických polutantov, hoci moderné koksárenské batérie s uzavretým vodným systémom chladenia už tieto emisie vo väčšom množstve neprodukurujú. Z koksárenských batérií sa môžu vyskytovať fugitívne emisie prchavých organických látok (*volatile organic compounds*, VOC), amoniaku a benzén-toluén-xylénu (BTX). Emisie tuhých znečisťujúcich látok a SO<sub>2</sub> sú generované v prípade používania koksárenského plynu ako paliva. V tomto prípade je potrebné odsírovanie plynu. Manažment vôd patrí k významným prioritám tohto procesu. Rovnako využitie koksárenského plynu vedie k významným úsporám energie v integrovanom procese výroby železa a ocele;
- *vysokopecný proces výroby železa* – významné emisie do ovzdušia vôd a produkcia tuhých odpadov. Proces spotrebuje najviac energie z celého integrovaného procesu oceliarskej výroby. Hlavným environmentálnym aspektom sú tuhé znečisťujúce látky, odpadové vody z čistenia vysokopecného plynu, emisie zo spracovania trosky ako sú SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S a tvorba zápachu, prachu a kalov;
- *výroba ocele v kyslíkovom konvertore* – emisie pochádzajú najmä z operácií, ako primárne a sekundárne odprašovanie, predúprava tekutého kovu, sekundárne spracovanie ocele a tuhých zvyškov z procesu. Odpadová voda pochádza buď z mokrého odprašenia spalín (ak sa aplikuje) a kontinuálneho odlievania ocele;



Obr. 4. Podiel využitia oceliarských trosiek v krajinách Európskej únie. Zdroj: <http://www.euroslag.com/PRODUCTS/STATISTICS/2012>

Tab. 2. Porovnanie približnej produkcie trosiek vo svete (vypočítané hodnoty na základe údajov o výrobe železa a ocele za rok 2016)

Produkt	Produkcija vo svete (mil. ton)	Produkcija v EÚ (mil. ton)	Produkcija v SR (mil. ton)
Vysokopecná troska	255,2 – 429,2	20,08 – 33,78	0,8756 – 1,47
Konvertorová troska	178,2 – 194,4	17,82 – 19,44	0,528 – 0,576

Zdroj: Huiting, Forssberg (2003); Takáčová, Miškuřová (2011)

- výroba ocele v elektrickej oblúkovej peci – významné sú emisie do ovzdušia (anorganických oxidov železa a ťažkých kovov, POPs, napr. PCB a PCCD/F) a produkcia tuhých odpadov a vedľajších produktov, ako sú trosky a úlety. Z dôvodu toxicity a perzistencie majú tieto znečisťujúce látky veľmi negatívny vplyv na životné prostredie, zvieratá a človeka.

Oceliarské trosky ako jeden z hlavných predstaviteľov tuhých odpadov z výroby železa a ocele sa môžu zdať menej problematickým druhom odpadu kvôli relatívne vysokej miere recyklácie v niektorých krajinách EÚ (viac ako 90 % napr. vo Francúzsku). Trosky sa po demetalizovaní môžu použiť v stavebníctve alebo cestnom staviteľstve a pod. (obr. 4). Problémom je však najmä produkované množstvo (na 1 tonu surového železa pripadá 220 – 370 kg vysokopecnej trosky, na 1 tonu ocele pripadá 110 – 120 kg oceliarskej trosky, tab. 2) a nedostatočná miera reálneho uplatnenia značnej časti oceliarských trosiek v niektorých krajinách, trosiek z výroby vysoko legovaných a nehrdzavejúcich ocelí alebo z výroby ferozliatin (často aj kvôli prísnej legislatíve). Rôzne klasifikácie trosky spôsobujú obmedzenia v prípade cezhraničnej prepravy, ktoré následne ovplyvňujú dopyt po kúpe alebo využití trosky (EUROSLAG, EUROFER, 2012).

Druhým významným druhom tuhého odpadu z výroby železa a ocele sú úlety a kaly z čistenia plynov (vysokopecných, konvertorových a z elektrickej oblúkovej pece). Tieto odpady patria podľa legislatívy EÚ medzi nebezpečné odpady, kvôli obsahu ťažkých kovov, najmä zinku. Na 1 tonu ocele vyrobenej v elektrickej oblúkovej peci sa vyprodukuje zhruba 15 kg úletov a iba časť úletov (konvertorových) sa efektívne recykluje a využije napríklad opäť pri výrobe peliet/brikiet na výrobu železa. Účinné technológie ich recyklácie vo

svete najmä s ohľadom na zisk neželezných kovov (Zn) stále chýbajú (Turek, Havlík, 2016).

### Emisie v hutníctve železa a ocele

Ako už bolo spomenuté, pri porovnaní výroby ocele v integrovanom hutníckom cykle aglomerácia – vysoká pec – kyslíkový konvertor s hutníckym cyklom *minimill hute* na báze elektrickej oblúkovej pece, vychádza ako energeticky náročnejší prvý zmieňovaný integrovaný cyklus. Z environmentálneho hľadiska je to tiež podobne. V nasledujúcom texte sú uvedené typické modelové príklady emisií štyroch technologických prevádzok v rámci výroby železa a ocele (*www.ippc.cz*; tab. 3).

#### Emisie v aglomeračnom hutníckom cykle

Pre aglomeračný závod je typické, že množstvo a druhy znečisťujúcich látok sú veľmi rôznorodé. Súvisí to s charakterom výroby, keď sa okrem primárnych homogenizovaných prachových rúd (tzv. aglorúd) a koncentrátov spracováva aj veľký počet druhotných železozosných materiálov. Vznikajúci aglomeračný plyn obsahuje hmotné častice (ťažké kovy, hlavne zlúčeniny železa), ale aj ďalšie zlúčeniny (hlavne s obsahom zinku a olova), alkalické chloridy, oxidy síry, oxidy dusíka, HCl, HF, uhľovodíky, CO<sub>2</sub> a CO. Aglomeračný plyn obsahuje aj stopové množstvá PAH a aromatických halogénových zlúčenín, ako sú PCDD/F a PCB. Okrem emisií z odpadového plynu vznikajú pri aglomeračnom procese aj prachové emisie z manipulácie, drvenia, preosievania a prepravy materiálov na výrobu aglomerátu (vrátane uhlíkatých materiálov). Tieto druhotné prachové emisie je možné znížiť optimalizovaním manipulačných a úpravárskych procesov a zavedením sekundárnych odsávacích systémov. Recyklovanie časti odpadového plynu z aglomeračného pásu môže významne znížiť množstvo odpadového plynu (cca o 28 %) a obmedziť emisie znečisťujúcich látok (cca o 20 – 30 %). Súčasne sa týmto postupom znižuje aj spotreba pevného paliva (prachového koksu) cca o 7 – 10 kg/t aglomerátu. Aglomerácia s optimalizáciou emisií sa vyvíja predovšetkým preto, aby sa znížil prietok odpadového plynu a taktiež hmotnostná koncentrácia emisií pevných častíc a PCDD/F. Prídavné odlučovacie zariadenie na ďalšiu úpravu odpadového plynu pred vypustením do atmosféry by spracovávalo menšie objemy za predpokladu úspor finančných a prevádzkových nákladov. Medzi súčasne environmentálne technológie v aglomerácii možno zaradiť aj čiastočnú náhradu (cca 10 – 20 %) prachového koksu odpadovou biomasou (Legemza a kol., 2015). Pri takýchto náhradách sa pri použití niektorých druhov

Tab. 3. Emisie vznikajúce pri výrobe aglomerátu, surového železa a ocele

Parameter	Jednotka SI	Výroba železorudného aglomerátu	Výroba surového železa	Výroba ocele v kyslíkovom konvertore	Výroba ocele v elektrickej oblúkovej peci
Výstupný plyn	Nm <sup>3</sup> /t produktu	1 500 – 2 500	1 200 – 2 000	500 – 1 000	200 – 1 200
Prach	kg/t produktu	0,4 – 15	7 – 40	12 – 23	5 – 30
PM <sub>10</sub>	g/t produktu	66 – 177	–	–	–
NO <sub>x</sub>	g/t produktu	300 – 1 030	30 – 120	5 – 20	120 – 240
SO <sub>2</sub>	g/t produktu	219 – 970	20 – 230	0,4 – 5,5	24 – 130
CO <sub>2</sub>	kg/t produktu	160 – 360	400 – 900	11 – 140	2 – 50
CO	kg/t produktu	9 – 38	300 – 700	7 – 16	0,7 – 4
Uhl'ovodíky	g/t produktu	35 – 400	130 – 300	–	–
VOC	g/t produktu	1,5 – 260	–	–	–
PAH	mg/t produktu	0,2 – 590	–	0,08 – 0,16	3,5 – 70
PCCD	µg/t produktu	0,15 – 16	0,001 – 0,004	0,001 – 0,11	0,07 – 9

Vysvetlivky: VOC – prchavé organické látky, PAH – polycyklické aromatické uhl'ovodíky, PCCD – polychlórované dibenzo-p-dioxíny.  
Zdroj: [www.ipcc.cz](http://www.ipcc.cz)

biomasy znižujú emisie oxidov uhlíka, dusíka a síry o 5 – 40 %.

Pre vysokopecnú výrobu surového železa je charakteristické použitie rôznych redukčných uhlíkatých činidiel: uhlíka (resp. uhl'ovodíkov) v podobe koksu, uhlia, oleja, zemného plynu alebo v súčasnej dobe v niektorých prípadoch aj plastov. Vysoká pec obsahuje tieto plyny: cca 20 – 28 % CO, 17 – 25 % CO<sub>2</sub>, 1 – 5 % vodíka, 50 – 55 % N<sub>2</sub>, oxidy síry, kyanidové zlúčeniny, PAH, polychlórované dibenzo-p-dioxíny a veľké množstvo prachu zo vsádzky. Emisie CO<sub>2</sub> pri výrobe surového železa značne závisia od druhov a množstiev redukčných činidiel (napr. koksu, uhlia, olejov, zemného plynu atď.), ktoré sa používajú vo vysokých peciach. Z tohto dôvodu implementoval hutnícky priemysel množstvo opatrení na celkové zníženie emisií skleníkových plynov, hlavne CO<sub>2</sub>. Technológia vysokopecnej výroby surového železa je v súčasnosti optimalizovaná tak, že potreba redukčných činidiel sa blíži až k minimálnej stechiometrickej potrebe. Spotreba energie sa neustále znižuje zavádzaním energeticky úsporného vybavenia do procesu a zlepšovaním účinnosti zariadení energetickej konverzie. Medzi súčasné technológie, ktoré intenzifikujú vysokopecný proces a znižujú jeho emisné zaťaženie, patrí priama injekcia redukčných činidiel cez výfučné. Znamená to, že časť koksu sa nahradí iným zdrojom uhlíka a uhl'ovodíkov. Tieto uhl'ovodíky môžu byť vo forme ťažkého topného oleja, olejových zvyškov, zrnitého alebo práškového uhlia, zemného plynu, odpadových plastov a biomasy. Táto technológia priamo znižuje spotrebu koksu, celkové znečistenie a znižuje aj spotrebu energie.

Na podobnej myšlienke ako je recyklovanie časti odpadového plynu z aglomeračného pásu sú založené aj výskumy recyklácie vysokopecného plynu. V rámci výskumných projektov ULCOS sa v laboratórnych a poloprevádzkových podmienkach recykluje vysoko-

kopecný plyn naspäť do vysokej pece. Technológia by využívala čistý kyslík (O<sub>2</sub>) a opakovane by sa injektoval plynný oxid uhoľnatý (CO). V druhom stupni čistenia vysokopecného plynu sa zachytený CO<sub>2</sub> stlačí a pripraví na uloženie v geologických útvaroch, napr. v ropných poliach alebo v poliach ťažby zemného plynu, v neľahostopných uhoľných slojoch, v minerálnych uhličitanoch, alebo sa použije na priemyselné účely. Technológia je pripravená na použitie v priemyslovom rozsahu.

Pri výrobe ocele v kyslíkovom konvertore sa fúka kyslík a produktom chemických reakcií v plynenej forme je konvertorový plyn. Proces výroby ocele v kyslíkovom konvertore je zdrojom predovšetkým prachu, tuhých odpadov (trosky) a odpadovej vody. Konvertorový plyn majoritne obsahuje oxid uhoľnatý (CO) a veľké množstvo tuhých častíc (obsahujúcich hlavne oxidy kovov vrátane ťažkých kovov), relatívne malé množstvá oxidov síry (SO<sub>2</sub>) a oxidy dusíka (NO<sub>x</sub>). Okrem toho sa emituje aj veľmi malé množstvo PCDD/F a PAH. V závislosti od kvality použitého ocelového šrotu sa môžu v emisiách z konvertorového plynu objavovať aj ďalšie organické škodliviny, ako napr. PCB a chlórbenzény (olejov, farieb, mazív alebo plastov). Plyny, ktoré sa vytvoria v priebehu fúkania kyslíka (tzv. konvertorový plyn), obsahujú veľké množstvo oxidu uhoľnatého. V mnohých oceliarnach sa prijali opatrenia na rekupeáciu konvertorového plynu a jeho využitie ako zdroja energie. Systémy otvoreného spaľovania zavádzajú do potrubia spalín konvertora vzduch, a dochádza tak k spaľovaniu CO. Pri potlačenom (čiastočnom) spaľovaní sa do potrubia spalín nedostáva vzdušný kyslík a zabraňuje sa tým dopáleniu CO. Spaliny bohaté na CO sa môžu čistiť a skladovať na ďalšie využitie ako palivo. Použitie konvertorového plynu v spojení s vysokopecným a koksárenským plynom (t. j. plynných produktov

troch metalurgických technológií) prináša podstatné výhody, pokiaľ umožňuje náhradu väčšieho množstva primárnych energetických zdrojov, ako napr. zemného plynu. Zvolený typ rekuperácie (čiastočné, resp. úplné spaľovanie) ovplyvňuje emisie. Keď sa použije čiastočné (resp. potlačené) spaľovanie, môže sa dosiahnuť nižšia koncentrácia tuhých častíc (5 – 10 mg/Nm<sup>3</sup>).

Z hľadiska zníženia emisnej záťaže výroby ocele na životné prostredie sú v súčasnosti zaujímavé riešenia v oblasti čistého tvarového odlievania ocele. Táto technológia predstavuje plynulé odlievanie ocele v kombinácii s priamym valcovaním za tepla, chladením a navíjaním pásov bez priebežného ohrevu v peci. Môže byť využitá na výrobu tenkých brám s hrúbkou do 15 mm.

#### Emisie z elektrickej oblúkovej pece

Elektrické oblúkové pece majú v koncepcii moderných oceliarní v súčasnosti významné miesto a do budúcnosti sa predpokladá ďalšie zvýšenie produkcie ocele touto technológiou. Pri výrobe ocele v elektrickej oblúkovej peci vznikajúci plyn obsahuje CO<sub>2</sub>, CO, veľké množstvo tuhých častíc (obsahujúcich hlavne oxidy kovov vrátane ťažkých kovov), relatívne malé množstvá SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>. V závislosti od kvality použitého ocelového šrotu sa môžu v plynných emisiách z elektrickej oblúkovej pece objavovať aj ďalšie organické škodliviny, ako napr. PCB a chlórbenzény z dôvodu tepelného rozkladu organických materiálov (olejov, farieb, mazív alebo plastov). V prípade využitia čierneho uhlia (antracitu) sa môžu pred spálením odplyňovať zlúčeniny, ako napr. benzén.

V posledných rokoch je stále viac nových elektrických oblúkových pecí vybavených systémom pre predhrievanie ocelového šrotu odpadovým plynom s cieľom rekuperovať energiu. Predhrievanie šrotu (pri teplotách cca 800 až 1 000 °C) sa úspešne používa hlavne v krajinách s vysokými nákladmi na elektrickú energiu, napr. v Japonsku. Toto predhrievanie sa realizuje buď v zavážacích košoch šrotu, alebo v zavážacej šachte (šachtovej peci Simetal EAF Quantum) pripojenej k elektrickej oblúkovej peci, alebo na špeciálne navrhnutom systéme prepravy šrotu, ktorý umožňuje realizovať plynulé zavážanie v priebehu procesu tavenia (napr. proces CONSTEEL a ESC). V kombinácii s pokročilou úpravou odpadového plynu zohráva predhrievanie ocelového šrotu významnú úlohu pri optimalizácii výroby ocele v elektrickej oblúkovej peci, a to nielen zvýšenou produktivitou, ale tiež minimalizáciou emisií. Ako vedľajší efekt predhrievania šrotu sa znižujú emisie prachu o cca 20 %, pretože odpadový plyn musí prechádzať šrotom, ktorý pôsobí ako filter. Tým sa zvyšuje obsah zinku v prachu, ktorý sa môže efektívnejšie recyklovať, a zlepšujú sa ekologické parametre výroby ocele v elektrickej oblúkovej peci.

Proces znižovania emisií CO<sub>2</sub> (alebo aspoň spomalenia jeho rastu v spojitosti s neustálym zvyšovaním prie-

myselnej produkcie) je v súčasnosti aktuálny aj v hutníckej prvovýrobe železa a ocele. Táto otázka je však problematická, nakoľko sa v súčasnosti nerieši globálne pre celý sektor metalurgie na svete, ale len pre určité regióny. Dôsledkom tohto stavu by bola delokalizácia hutníckej výroby ocele (napr. z Európy a USA) do krajín, kde emisie CO<sub>2</sub> nie sú zatiaľ prekážkou (napr. India, Čína, krajiny Južnej Ameriky). Aj keď sa za posledných 30 rokov výrazne znížili v metalurgickom sektore v niektorých krajinách emisie CO<sub>2</sub> (až o 40 %), neustále zvyšovanie objemu výroby ocele v celosvetovom meradle bude nútiť tento sektor na ďalšie výraznejšie zníženie CO<sub>2</sub>. To sa dá dosiahnuť v rámci výskumu a vývoja nových technológií alebo reštrukturalizáciou energetickej a surovínovej základne dnešných technológií (Legemza a kol., 2015).

V rámci projektu ULCOS (zníženie emisií CO<sub>2</sub> v hutníctve železa a ocele o 50 %) sa počíta s využitím biomasy, nahradením redukoviadiel na báze uhlíka vodíkom z elektrolýzy vody a zachytávaním (konzervovaním/sekvestráciou CO<sub>2</sub>). Z posúdenia reálne uskutočniteľných projektov vyplýva, že hlavným prostriedkom výraznejšieho zníženia emisií CO<sub>2</sub> v integrovanom cykle hutníctva železa a ocele budú v blízkej budúcnosti technológie, založené na recyklácii energetických zdrojov a druhotných surovín, náhrady koksu uhlím a zemným plynom.

Ďalšou možnosťou je prechod od integrovaných hutníckych cyklov k *minimill* hutiam, ktoré sú založené na recyklácii ocelového šrotu, resp. používaní redukovaných produktov, označovaných DRI – *direct reduced iron* (priamo redukovaného železa) a HBI – *hot briquetted iron* (za horúca briketizovaného železa) v elektrickej oblúkovej peci. Kým v prípade intenzifikačných a reštrukturalizačných opatrení v integrovanom hutníckom cykle výroby železa a ocele nemožno čakať výrazné zníženie emisií CO<sub>2</sub> (max. do 30 % z dôvodu potreby stále veľkého množstva metalurgického koksu v tomto cykle), vývojom nových technológií (napr. produktov DRI, HBI na báze redukcie zemným plynom a uhlím) a prechodom na výrobu ocele v elektrickej oblúkovej peci možno dosiahnuť výraznejšiu redukciu CO<sub>2</sub>. Tieto technológie sú v súčasnosti minoritné, a preto nedokážu výraznejšie znížiť emisie uhlíka v globálnej mierke, nakoľko sa na redukciu používajú uhlíkaté materiály. Preto sa posledných cca pätnásť rokov vyvíjajú technológie, ktoré by znížili množstvo CO<sub>2</sub> o viac ako 50 %. Medzi takéto najdôležitejšie technológie posledných rokov patria ULCOS – BF, Hisarna, ULCORED, ULCOWIN – ULCOLYSIS. Dlhodobu sa skúmajú dva nové bezuhlíkaté procesy výroby ocele: *Molten Oxide Electrolysis* (MOE – tavná oxidová elektrolýza) a *Hydrogen Flash Smelting* (HFS – bleskové vodíkové tavenie). Očakáva sa, že tieto technológie prispievajú k redukcii emisií CO<sub>2</sub> o 30 % v blízkej budúcnosti a o 70 % a viac v dlhodobom výhľade.

Základnou normou súčasnej priemyselnej výroby je čo najúspornejšie využívanie všetkých druhov energií a čo najdokonalejšie zužitkovanie surovín. Súčasným trendom v priemysle je uvádzanie nových, resp. premena existujúcich výrobných procesov na tzv. maloodpadové postupy, ktoré zahŕňujú aj plné zužitkovanie vedľajších produktov výroby. Jedným z vážnych ekologických problémov hutníckych závodov sú jemnozrnné kovonosné materiály. Ich spracovanie v podobe druhotnej suroviny by okrem využitia kovonosnej zložky mohlo vyriešiť aj ekologické problémy a problémy so skladovaním. V minulosti sa už na Slovensku riešili mnohé výskumné úlohy s cieľom spracovať oceliarske kaly a prachy redukčnou alebo chloračnou cestou vo forme peliet alebo metalizovaných aglomerátov. Tieto cesty napriek pozitívnym laboratórnym skúškam prinášali v prevádzkových podmienkach technologické a ekologické problémy, ktoré sa dali vyriešiť len zvýšenými prevádzkovými nákladmi a technicko-konštruktívnymi úpravami existujúcich zariadení, čo majitelia výrobných prevádzok neboli ochotní akceptovať. Súčasnú využívanie druhotných železonosných materiálov je na Slovensku len vo forme pridávania do vstupov aglomeračného, vysokopecného a oceliarskeho procesu, čo v konečnom a dlhodobom dôsledku spôsobuje celý rad technologických a technických problémov. Príklady zo sveta ukazujú, že najvýhodnejším technologickým, ekonomickým a ekologickým riešením je spracovanie a využitie týchto druhotných materiálov v samostatnej metalurgickej technológii (napr. Waelzov proces, Primus, OXYCUP, PLASMAMELT atď.). Na druhej strane z uvedených technológií je reálne najviac rozšírený len Waelzov proces.

### Environmentálne aspekty výroby železa a ocele na Slovensku

Na Slovensku sa za posledných cca dvadsať rokov znížili emisie. Prvým dôvodom absolútneho poklesu emisií znečisťujúcich látok do ovzdušia bol pokles hrubého domáceho produktu, a to najmä priemyselnej produkcie. Ďalšími dôvodmi boli prechod z hnedého uhlia a ťažkej ropy na vysokoakostné fosílné palivá (zemný plyn) a zavedenie vyspelejších technológií (napr. separácie tuhých častíc a odsírovania). Pokles emisií ťažkých kovov spôsobilo taktiež uzavretie zastaraných hutníckych zariadení a zavedenie efektívnych odprašovacích a separačných technológií. Odber vôd priemyslom poklesol z dôvodu úpadku a reštrukturalizácie priemyselnej výroby. Tvorba odpadov z priemyslu však narastala. Nositeľom rastu technologickej úrovne priemyslu na Slovensku bude v nasledujúcich rokoch najmä strojársky priemysel a v jeho rámci automobilový priemysel. V dôsledku poklesu surovínovej a energetickej náročnosti priemyselnej výroby sa výraznejšie zníži i environmentálna záťaž ťažobného a energetického priemyslu.

V metalurgickom priemysle sa na Slovensku v posledných rokoch investovali milióny eur do environmentálnych technológií. V ďalšom texte sú uvedené príklady environmentálnych a ekologických akcií v závodoch na výrobu železa, ocele a ferozliatin:

**Železiarne Podbrezová, a. s.**, v posledných rokoch zrealizovali akcie týkajúce sa zlepšenia životného prostredia, zamerané najmä na:

- modernizáciu skladovacích objektov a zariadení, ako aj na izolačné úpravy skladovacích a manipulačných plôch na zabezpečenie bezpečnej manipulácie so znečisťujúcimi látkami a eliminovanie negatívneho dopadu na životné prostredie pri mimoriadnych udalostiach;
- modernizáciu čistiarní odpadových vôd s cieľom maximálnej redukcie znečisťujúcich látok obsiahnutých vo vypúšťaných odpadových vodách;
- využitie, úpravu, resp. zmenu vlastností produkovaných odpadov a ich preklasifikovanie na surovinu, materiál, resp. výrobok (využitie trosky, okují z výroby ocele a oceľových výrobkov);
- znižovanie energetickej náročnosti zdrojov znečisťovania ovzdušia;
- znižovanie vypúšťaných emisií do ovzdušia rekonštrukciou a realizáciou nových odprašovacích a odsávacích zariadení výrobných technológií ocele, valcovaných a presne ťahaných oceľových rúr v súlade s využitím najlepších dostupných techník.

**U. S. Steel Košice, s. r. o.**, v posledných rokoch zrealizoval akcie týkajúce sa znižovania negatívnych vplyvov na životné prostredie a celkovej ekologizácie výroby, zamerané najmä na:

- výstavbu vákuovacieho zariadenia na výrobu nízkouhlíkovej ocele;
- realizáciu vodného chladiaceho systému na teplej valcovni;
- konštrukciu elektrostatických odlučovačov prachu, napr. na spekáciách pásach v rámci aglomerácie;
- rekonštrukciu kotlov na spaľovanie energetického uhlia;
- inštaláciu zariadenia na primárne, ako aj sekundárne odprašenie oceliarske – toto zariadenie zahŕňa najnovšie technológie pre konvertory a je prevádzkované ako súčasť systému zachytávania a chladenia plynov, ktorý podstatne znižuje emisie produkované pri výrobe ocele;
- hermetické utesnenie prevádzky Chémia v divíznom závode Koksovňa;
- odprašenie odlievarene na vysokej peci;
- odsírenie koksárskeho plynu a ďalšie.

**Oravské ferozliatinárske závody, a. s., závod Široká** v posledných rokoch zrealizovali akcie týkajúce sa znižovania negatívnych vplyvov na životné prostredie a celkovej ekologizácie výroby, zamerané najmä na:

- rekonštrukciu chladičov spalín pre elektrické oblúkové pece;



Tab. 4. Projekty na Fakulte materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach zamerané na zlepšenie environmentálnych aspektov metalurgickej výroby

Projekt	Partner	Výsledok
Znižovanie energetického zaťaženia a emisií CO a CO <sub>2</sub> pri výrobe aglomerátu	VEGA a USSK	v laboratórnych podmienkach boli znížené emisie CO a CO <sub>2</sub> o 10 %
Vplyv biomasy na aglomeračný proces a kvalitu životného prostredia	APVV	pri náhradách koksu odpadovou biomasou sa znížili emisie oxidov uhlíka, dusíka a síry o 5 – 40 %
Zužitkovanie oceliarskych trosiek na výrobu portlandského cementu	KU Leuven, Belgicko	vyvinutá nová technológia na spracovanie oceliarskych trosiek
Eliminácia zinku procesom chlorácie	USSK	experimentálnym vývojom bola navrhnutá nová technológia na spracovanie železozosných odpadov
Výskum štrôdrovaného piesku	SiCon GmbH, Nemecko	v laboratórnych podmienkach bola navrhnutá nová technológia na spracovanie podsitných materiálov zo štrôdrovania karosérií áut
Výskum tavenia trosiek z plazmových technológií	ScanArc Plasma Technologies AB, Švédsko	experimentálnym vývojom bola optimalizovaná technológia na získavanie kovov z plazmových trosiek
Spracovanie a recyklácia oceliarskych úletov s obsahom ťažkých neželezných kovov	VEGA	v laboratórnych podmienkach základný výskum možných procesov recyklácie oceliarskych úletov
Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre Inovačné aplikácie podporené znalostnými technológiami, ITMS: 26220220182, Aktivita 3.5 Pilotné projekty v oblasti Environmentálneho Inžinierstva (PP4)	Operačný program Výskum a vývoj ERDF	laboratórne orientovaný vývoj novej technológie spracovania a recyklácie oceliarskych úletov na podmienky Slovenska
Spracovanie priemyselných odpadov s cieľom získať predajné produkty na báze zinku, cínu a olova	APVV	aplikovaný výskum zameraný na vývoj a testovanie vyvinutej technológie recyklácie priemyselných odpadov na báze Zn, Sn, Pb
Laboratórium spracovania priemyselných odpadov	Železiarne Podbrezová Výskumno-vývojové centrum, s. r. o., Podbrezová	vyvinutá, vybudovaná a prevádzkovaná poloprevádzková linka na hydrometalurgické spracovanie priemyselných odpadov na ÚRT (testovaná na úletoch z elektrických oblúkových pecí)
Projekt Horizont 2020: CHROMIC Efektívna úprava a hydrometalurgické získavanie kovov z menej kvalitných kovonosných druhotných surovín ( <i>effiCient mineral processing and Hydrometallurgical RecOvery of by-product Metals from low-grade metal contaIning seCondary raw materials</i> )	Horizont 2020 (CHROMIC)	riešené úlohy (WP3 a WP4) v rámci projektu Horizont 2020 na ÚRT: vývoj technológie na intenzifikáciu lúhovania Cr, V, Mo, Nb z trosiek z výroby ocele, nehrdzavejúcej ocele a ferozliatin a na získanie kovov z roztoku elektrometódami

Vysvetlivky: VEGA – Vedecká grantová agentúra MŠVVaŠ SR a SAV; USSK – U. S. Steel Košice, a. s.; APVV – Agentúra na podporu výskumu a vývoja; KU Leuven – Katolícka univerzita v Leuvene; ÚRT – Ústav recyklačných technológií Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach

- inováciu filtračných hadíc pre tkaninové filtre na zachytávanie tuhých znečisťujúcich látok;
- modernizáciu technológií odprašovania v rôznych stupňoch výrobného procesu vrátane odlievania vyrobených ferozliatin;
- realizáciu bezodpadových technológií, kedy sa efektívne metalurgicky využívajú napr. trosky z výroby FeMnC na výrobu FeSiMn, spoločnosť spracováva 100 % vytvorených aj iných odpadov.

#### Environmentálne aspekty a technológie výroby železa a ocele v rámci výskumných aktivít

V rámci výskumných aktivít Technickej univerzity v Košiciach (TUKE) sa na Fakulte materiálov, metalur-

gie a recyklácie (FMMR, bývalej Hutníckej fakulte) v posledných rokoch realizovali viaceré výskumné projekty, ktoré boli zamerané na zníženie environmentálnej záťaže pri výrobe železa, ocele a ferozliatin (tab. 4). Niektoré príklady inovačných výstupov vybraných projektov:

*Výskumné projekty Ústavu metalurgie Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie TUKE v oblasti aglomerácie zamerané na znížovanie energetického zaťaženia a emisií CO a CO<sub>2</sub> a na náhradu koksu biomasou pri výrobe železozosného aglomerátu (riešené v rokoch 2012 – 2018)*

Najdôležitejšie výsledky a inovácie (Legemza a kol., 2015; Legemza et al., 2015):

- na základe realizácie vysokoteplotných spekaní na

laboratórnej spekacej panvičke sa určil vplyv náhrady prachového koksu vybranými druhmi biomasy na efektivitu spaľovania a kvalitu vyrobeného železozorudného aglomerátu. Poukázalo sa na doteraz nevyužitú možnosť zníženia spotreby energie a emisného zaťaženia pri výrobe železozorudného aglomerátu;

- konkrétne výsledky z riešenia výskumných úloh dokazujú, že drevným uhlím je možné nahradiť prachový koks na úrovni od 20 – 50 % s malým vplyvom na kvalitu aglomerátu, zatiaľ čo druhy odpadovej biomasy (napr. drevné piliny) majú úroveň náhrady obmedzenú na 10 – 20 %. Pri takýchto náhradách sa pri použití niektorých druhov biomasy znižujú emisie oxidov uhlíka, dusíka a síry o 5 – 40 %;
- vytvoril sa nový výučbový program na modelový výpočet množstiev CO a CO<sub>2</sub>;
- inovoval sa model laboratórneho spekania, ktorý umožňuje vizuálne sledovanie zóny horenia v spekanej vrstve pomocou termovíznej kamery;
- bol inovovaný program na online monitorovanie parametrov aglomeračného procesu;
- laboratórna spekacia panvička bola doplnená a inovovaná zariadením na odlučovanie prachu;
- model laboratórnej spekacej panvičky bol doplnený a inovovaný o vysokoteplotnú priehľadnú stenu, ktorá aktuálne umožňuje vizuálne sledovanie zóny horenia v spekanej vrstve pri výrobe železozorudného aglomerátu aj za použitia biomasy;
- v priebehu riešenia projektu sme poukázali na využitie tradičných a alternatívnych palív v metalurgii.

**Výskumný projekt Ústavu metalurgie Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie TUKE na zužitkovanie oceliarenských trosiek na výrobu portlandského cementu realizovaný v spolupráci s Katolíckou univerzitou v Leuvene v Belgicku (riešené v rokoch 2016 – 2018)**

Najdôležitejšie výsledky a inovácie (Legemza et al., 2016; Legemza et al., 2017a, b):

- v rámci výskumu sa vyvinula nová technológia výroby portlandského cementu spekacím procesom, ktorá nepotrebuje externý zdroj tepla (ako napr. v prípade výroby portlandského cementu v rotačnej peci);
- v rámci vysokoteplotného spekania Fe trosky na laboratórnej spekacej panvičke sa získal produkt, ktorý má podobné chemické a mineralogické zloženie ako niektoré druhy najkvalitnejších portlandských cementov;
- pri tejto technológii sa znižujú ekonomické náklady výroby portlandského cementu, keďže produkt sa vyrába z druhotného materiálu;
- pri tejto technológii sa znižujú emisie CO a CO<sub>2</sub>, keďže produkt sa vyrába s nižším množstvom interného paliva, ktoré je prítomné v druhotnom materiáli.

**Výskumný projekt Ústavu metalurgie Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie TUKE zameraný na spracovanie oceliarenských úletov procesom chlorácie realizovaný v spolupráci s U. S. Steel Košice, s. r. o, (riešené v rokoch 2006 – 2008)**

Najdôležitejšie výsledky a inovácie (Legemza a kol., 2006; Legemza a kol., 2007; Legemza a kol., 2008):

- bolo realizovaných cca 80 vysokoteplotných chloračných experimentov, ktorých výsledky možno použiť na vývoj a realizáciu novej maloodpadovej technológie spracovania oceliarenských úletov;
- konkrétne výsledky z riešenia výskumného projektu ukazujú, že chloračným procesom možno získať vysokopecné pelety s obsahom zvyškového obsahu Zn a Cl na úrovni 0,05 – 0,1 %;
- na potreby prevádzkového využitia procesu chlorácie bola navrhnutá originálna technológia spracovania plyných chloridov ZnCl<sub>2</sub> a PbCl<sub>2</sub>;
- pri tejto technológii sa znižujú emisie CO a CO<sub>2</sub> v rámci procesov výroby železa a ocele, keďže produkt sa nevyrába za prítomnosti uhlíkatých palív a redukovadiel.

**Výskumný projekt v oblasti recyklácie odpadov z výroby železa a ocele na Ústave recyklačných technológií Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie TUKE**

Medzinárodný projekt Horizont 2020 ([www.chromic.eu](http://www.chromic.eu)):

Jednou z prioritných úloh v rámci medzinárodnej spolupráce na Ústave recyklačných technológií (ÚRT) FMMR TUKE je riešenie projektu Horizont 2020 (CHROMIC podporený EÚ z Výskumno-inovačného programu prostredníctvom grantu č. 730 471, riešený v rokoch 2016 – 2020), ktorý je zameraný na vývoj technológií na efektívnu recykláciu trosiek z výroby ocele a ferrochrómu. Cieľom projektu CHROMIC je spracovať trosky pomocou hydrometalurgických metód, získať cenné kovy, ako chróm, vanád, niób, molybdén, a inertný matricový materiál, vhodný na materiálové využitie napr. ako stavebného produktu. Úlohou ÚRT v tomto projekte je aplikáciou intenzifikačných metód lúhovania (inovácia v aplikovaní ozónu a vysokofrekvenčného poľa) dosiahnuť v maximálnej miere uvoľnenie uvedených kovov z odolnej matrice trosiek a späťne tieto kovy získať z výluhov pomocou elektro-metód (Kuruc a kol., 2018; Vindt et al., 2017).

**Národný projekt APVV (aplikovaný výskum) riešený na Ústave recyklačných technológií Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie TUKE a spolupráca s praxou na báze spoločného Laboratória spracovania priemyselných odpadov ([www.lspo.sk](http://www.lspo.sk))**

Ďalšou prioritnou úlohou ÚRT v rámci spolupráce s praxou a riešenia národného projektu aplikovaného výskumu Agentúrou na podporu výskumu a vývoja je spracovanie úletov z elektrickej oblúkovej pece. Úle-

ty z elektrickej oblúkovej pece patria podľa legislatívy EÚ a Slovenska medzi nebezpečný odpad, pričom na druhej strane môžu byť cennou surovinou, keďže obsahujú aj cenné kovy (Zn, Fe, Pb, Cr a i.). Ročná produkcia úletov z elektrickej oblúkovej pece na Slovensku je približne 7 000 ton. V súlade s potrebami znižovania miery skládkovania nebezpečných odpadov, efektívnejším využívaním domácich surovín a strategickými plánmi Slovenska a EÚ v oblasti predchádzania vzniku odpadov sa recyklácia úletov z elektrickej oblúkovej pece stáva nevyhnutnou. Projekt sa rieši vo vybudovanom spoločnom Laboratóriu spracovania priemyselných odpadov, založenom v roku 2013 na základe spolupráce medzi ÚRT a Železiarňami Podbrezová Výskumno-vývojovým centrom, s. r. o., v Podbrezovej. Základnou myšlienkou projektu je spracovať úlety z elektrickej oblúkovej pece a iné priemyselné odpady, získať komerčne využiteľné produkty, redukovať množstvo nebezpečných odpadov alebo ich transformovať do nie nebezpečnej formy. Recykláciou odpadov s obsahom Zn možno dosiahnuť zníženie environmentálnej záťaže a významný ekonomický profit. Pyrometalurgický spôsob je ekonomický pri spracovaní viac ako 150 000 ton za rok, pričom hydrometalurgický už pri spracovaní okolo 15 000 ton ročne, čo sa dá na Slovensku dosiahnuť. Preto je projekt založený na hydrometalurgickom spôsobe, ktorého výhody sú: vysoká flexibilita, možnosť použitia rôznej vsádzky, nižšie investičné a prevádzkové náklady, vysoká čistota produktov a žiadne plynné emisie. Cieľom projektu je vývoj technológie hydrometalurgického procesu recyklácie odpadov s obsahom Zn (resp. iných kovov, ako Sn alebo Pb) s cieľom získať predajné produkty  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , ZnO, elektrolytický Zn a pod. (Vindt et al., 2017).

\* \* \*

Výroba železa a ocele je nesmierne dôležitým sektorom pre rozvoj Slovenska nielen v modernom európskom priestore, ale v celosvetovom meradle. Výroba železa a ocele je energeticky, materiálovo aj environmentálne veľmi náročná a spôsobuje zásahy do životného prostredia. Zlepšovanie a implementácia nových technológií si vyžadujú dlhodobé a strategické investície a systematický výskum, vývoj a inovácie. Slovensko závisí od dovozu väčšiny surovín na výrobu železa a ocele a treba sa prikláňať k maximálnemu využitiu domácich druhotných surovín a najmä k recyklácii odpadov. Nesporným faktom je, že hutníctvo železa a ocele je jedným z pilierov nášho národného hospodárstva, a treba k tomu tak aj pristupovať. Investície do zlepšovania technológií a riešenie environmentálnych aspektov majú byť nevyhnutnou súčasťou fungovania moderných závodov. Napriek tomu, že emisie  $NO_x$  a  $SO_2$  nepatria medzi významné škodliviny pri výrobe železa a ocele (ide najmä o redukčné procesy a väčšina síry

prechádza do trosky), treba neustále pracovať najmä na znižovaní emisií tuhých znečisťujúcich látok, skleníkových plynov, organických látok a ťažkých kovov. Vo vyššej miere je potrebné podporovať a zavádzať recykláciu a efektívnejšie využitie oceliarských trosiek, oceliarských úletov a ďalších druhov odpadov, vody a pod. Aj keď sa za posledné roky dá sledovať zvýšenie aktivity priemyslu na Slovensku pri podpore výskumu a zavádzania environmentálnych technológií, žiada sa výraznejší posun najmä pri znižovaní energetickej náročnosti výroby, efektívnejšom využívaní tepla, zvyšovaní miery využitia odpadov pri výrobe (potreba pružnejšej legislatívnej podpory) a v neposlednom rade aj miery zavádzania inovačných technológií. Na druhej strane však možno pozorovať snahy o zvýšenie miery využívania alternatívnych zdrojov energie aj v hutníckom priemysle a priemysle ako celku (vodík, biomasa, odpady a pod.). Dôležitým aspektom do budúcnosti bude okrem emisií skleníkových plynov, spotreby energie a surovín aj vzhľadom na environmentálne aspekty výroby železa a ocele a otázku udržateľného rozvoja hutníckeho priemyslu kvalita koksovateľného uhlia v podmienkach EÚ. Aj v dôsledku toho sa od roku 2014 koksovateľné uhlie dostalo do zoznamu kritických surovín pre EÚ. V oblasti environmentálnych aktivít a na udržanie hospodárskeho rastu je na Slovensku nevyhnutné vo väčšej miere posilňovať recyklačné aktivity v priemysle, výskume, vývoji a implementáciu environmentálnych a inovačných projektov do praxe.

*Príspevok vznikol v rámci Operačného programu Výskum a vývoj vďaka podpore projektu Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií – II. fáza, kód ITMS: 313011D232, spolufinancovaného zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe riešených projektov č. APVV-14-0591 Spracovanie priemyselných odpadov s cieľom získať predajné produkty na báze zinku, cínu a olova, APVV-16-0513 Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby železorudného aglomerátu náhradou fosílného paliva odpadnou biomasou a Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR a SAV na základe projektu č. 1/0847/16 Možnosti a optimalizácia využitia biomasy v aglomeračnom procese a zníženie celkovej ekologickej záťaže výroby železorudného aglomerátu.*

#### Literatúra

- Andersson, G., Sperle, J.-O., Hallberg, L., Almemark, M., Lindfors, L.-G., Ekdahl, Å., Larsson, J., Johansson, B., Johansson, H., Kaplin, C., Schedin, E.: Environmental Evaluation of Steel and Steel Structures. Handbook of Engineers, Researchers and University Students. Stockholm: Jernkontoret, 2013, 112 p.
- BIR (Bureau of International Recycling): World Steel Recycling in Figures 2011 – 2015. Steel Scrap – A Raw Material for Steelmaking. Brussels: Bureau of International Recycling, Ferrous Division, 2016, 40 p. ([www.bidsv.org/fileadmin/service/markt\\_und\\_branchedaten/weltstatistik\\_2011\\_2015.pdf](http://www.bidsv.org/fileadmin/service/markt_und_branchedaten/weltstatistik_2011_2015.pdf))

- EC: European Competitiveness Report 2002. Competitiveness and Benchmarking. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002, 126 p.
- EC: Environmental Technologies Action Plan. Brussels: European Commission, 2004, 3 p.
- EK: Strednodobé hodnotenie priemyselnej politiky. Príspevok k Stratégii EÚ pre rast a zamestnanosť. Brusel: Európska komisia, 2007, 15 s. (<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0374:FIN:SK:PDF>)
- EK: Európa 2020. Stratégia na zabezpečenie inteligentného, udržateľného a inkluzívneho rastu. Brusel: Európska komisia, 2010a, 35 s. (<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM%3A2010%3A2020%3AFIN%3ASK%3APDF>)
- EK: Integrovaná priemyselná politika vo veku globalizácie: Konkurencieschopnosť a udržateľnosť v popredí záujmu. Brusel: Európska komisia, 2010b, 35 s. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ŠK/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0614&from=SK>)
- EUROSLAG, EUROFER: Position Paper on the Status of Ferrous Slag: Complying with the Waste Directive (Articles 5/6) and the REACH Regulation. Duisburg: The European Slag Association, Brussels: The European Steel Association, 2012, 19 p. ([http://www.euroslag.org/fileadmin/\\_media/images/Status\\_of\\_slag/Position\\_Paper\\_April\\_2012.pdf](http://www.euroslag.org/fileadmin/_media/images/Status_of_slag/Position_Paper_April_2012.pdf))
- Gielen, D. J., Moriguchi, Y.: Environmental Strategy Design for the Japanese Iron and Steel Industry. A Global Perspective. Tsukuba: University of Tsukuba, 2001, 104 p. ([www.docplayer.net/26730615-Environmental-strategy-design-for-the-japanese-iron-and-steel-industry-a-global-perspective.html#show\\_full\\_text](http://www.docplayer.net/26730615-Environmental-strategy-design-for-the-japanese-iron-and-steel-industry-a-global-perspective.html#show_full_text))
- Huifing, S., Forssberg, E.: An Overview of Recovery of Metals from Slags. Waste Management, 2003, 23, p. 933 – 949.
- Kuruc, P., Miškufová, A., Havlík, T.: Potenciál metalurgických trosiek ako suroviny pre zisk kovov. Laubertová, M., Heželová, M. (eds.): Materiálové recyklácie priemyselných odpadov. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2018, s. 60 – 69.
- Legemza, J., Fröhlichová, M., Findorák, R.: Tradičné a alternatívne palivá v metalurgii. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015, 286 s.
- Legemza, J., Fröhlichová, M., Findorák, R.: The Use of Traditional and Alternative Carbonaceous Fuels in the Production of Agglomerates. In: Konstanciak, A. (ed.): Selected Directions of Development of Metallurgical Technology. Czestochowa: Czestochowa University of Technology, 2015, p. 37 – 60.
- Legemza, J., Findorák, R., Čižmárová, M., Semanová, Z.: Research of Material Based on PetritT. Final Report No. P-102-003816, P-102-004016. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2016, 57 p.
- Legemza, J., Findorák, R., Čižmárová, M., Semanová, Z.: Research of Material Based on PetritT – Optimalization (2nd Stage). Final Report No. P-102-005616, P-102-005716. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2017a, 66 p.
- Legemza, J., Findorák, R., Čižmárová, M., Semanová, Z., Džupková, M., Leško, J.: Research of Material Based on PetritT. The Sinterings for Semi-Pilot Verification of the Technology (3rd Stage). Final Report No. P-102-002917. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2017b, 70 p.
- Legemza, J., Fröhlichová, M., Fröhlich, L., Vadász, P., Rabatin, L., Findorák, R., Džupková, M., Demeter, P.: Eliminácia zinku procesom chlorácie – 2. etapa. Laboratórne experimenty v statickej vrstve. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2007, 101 s.
- Legemza, J., Fröhlichová, M., Fröhlich, L., Vadász, P., Rabatin, L., Findorák, R., Džupková, M., Demeter, P., Čižmárová, M., Forrai-ová, L.: Eliminácia zinku procesom chlorácie – 1. etapa. Teoretické a termodynamické štúdium. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2006, 132 s.
- Legemza, J., Fröhlichová, M., Fröhlich, L., Vadász, P., Rabatin, L., Findorák, R., Džupková, M., Demeter, P., Baricová, D., Demeter, J., Bulko, B., Janák, G., Vojtko, M.: Eliminácia zinku procesom chlorácie – 3. etapa. Laboratórne experimenty v statickej vrstve: Spracovanie majoritných konvertorových jemných kalov a prachov. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2008, 119 s.
- Remus, R., Aguado Monsonet, M., Roudier, S., Delgado Sancho, L.: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. Seville: European Commission Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, 2013, 597 p.
- Takáčová, Z., Miškufová, A.: Základné informácie o odpadoch. Košice: Equilibria, s. r. o., 2011, 236 s.
- Turek, P., Havlík, T.: Materiálové zhodnotenie odpadu s obsahom zinku pochádzajúceho z Waelzovho procesu. In: Takáčová, Z., Vindt, T. (eds.): Materiálová recyklácia priemyselných odpadov. Košice: Univerzitná knižnica Technickej univerzity v Košiciach, 2016, s. 103 – 114.
- Vall, J.: Priemysel a jeho vplyv na životné prostredie v Slovenskej republike k roku 2011. Indikátorová sektorová správa. Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia, 2013, 52 s.
- Vindt, T., Turek, P., Takáčová, Z., Havlík, T.: Model of Pilot Plant for Hydrometallurgical Processing of Industrial Waste: Possibilities of Selective Zinc Recovery from EAF Dust. In: Oráč, D. (ed.): Quo Vadis Recycling. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2017, p. 365 – 374.
- WSA (World Steel Association): World Steel Short Range Outlook 2016 – 2017. Dubai: World Steel Association, 2016, 3 p. ([www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2016/worldsteel-short-range-outlook-2016---2017.html](http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2016/worldsteel-short-range-outlook-2016---2017.html))
- WSA (World Steel Association): World Steel Short Range Outlook 2017 – 2018. Brussels: World Steel Association, 2017a, 5 p. ([www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/worldsteel-Short-Range-Outlook-2017-2018.html](http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2017/worldsteel-Short-Range-Outlook-2017-2018.html))
- WSA (World Steel Association): Steel Statistical Yearbook 2017. Brussels: World Steel Association, 2017b, 123 p. ([www.worldsteel.org/en/dam/jcr:3e275c73-6f11-4e7f-a5d8-23d9bc5c508f/Steel+Statistical+Yearbook+2017.pdf](http://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:3e275c73-6f11-4e7f-a5d8-23d9bc5c508f/Steel+Statistical+Yearbook+2017.pdf))

**doc. Ing. Jaroslav Legemza, PhD.,**

[jaroslav.legemza@tuke.sk](mailto:jaroslav.legemza@tuke.sk)

**Ústav metalurgie Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice**

**prof. Ing. Andrea Miškufová, PhD.,**

[andrea.miskufova@tuke.sk](mailto:andrea.miskufova@tuke.sk)

**prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc.,**

[tomas.havlik@tuke.sk](mailto:tomas.havlik@tuke.sk)

**Ústav recyklačných technológií Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice**