

Zníženie energetickej a environmentálnej zát'áže výroby železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva odpadnou biomasou

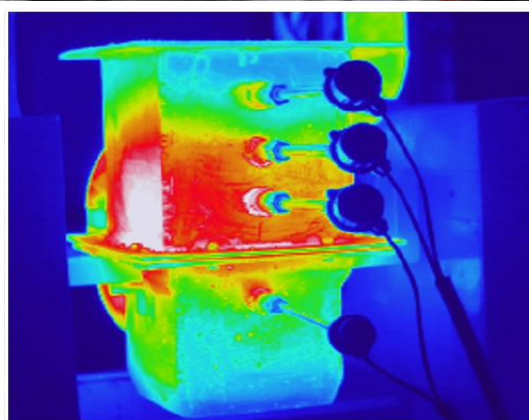


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Číslo projektu : APVV-16-0513

Doba riešenia: 1.7. 2017 – 30.06.2020

1. časť – r. 2017



Riešitelia:

prof. Ing. Mária Fröhlichová, CSc.
vedúca projektu,

doc. Ing. Jaroslav Legemza, PhD.,

doc. Ing. Róbert Findorák, PhD.,

Ing. Martina Džupková, PhD. ,

Ing. Zuzana Semanová,

Ing. Roland Mežibrický.

Hlavné ciele projektu

- teoretické štúdium nových poznatkov použitia biomás v rámci aglomerácie vo svete,
- komplexná materiálová analýza nových druhov biomasy,
- optimalizácia podmienok zbaľovania a spekania s definovaným typom biomasy,
- zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby železoruďného aglomerátu,
- návrh technického riešenia aplikácie potenciálnych druhov biomasy v podmienkach SR



v rámci výroby Fe aglomerátu



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

**Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železoruďného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513**

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Teoretické štúdium nových poznatkov použitia biomás v aglomeračnom procese vo svete

- analýza nových poznatkov z oblasti použitia biomasy v aglomeračnom procese



nadväzuje na poznatky z riešenia predchádzajúceho APVV projektu „Vplyv biomasy na aglomeračný proces a kvalitu životného prostredia“ (APVV-0405-11)



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Analýza vybraných uhlíkatých materiálov, ktoré sa použili v aglomerácii vo svete (2012 - 2017)

Uhlíkaté materiály	Vlhkosť [%]	Popol [%]	Prchavá horľavina [%]	Pevný uhlík [%]	Síra [%]	Výhrevnosť [MJ/kg]
Prachový koks 1	5,5	12,1	1,5	84,4	0,60	28,00
Prachový koks 2*	-	19,5*	5,8*	74,6*	0,50*	26,84*
Slnečnicové šupky	9,3	3,2	76,4	12,3	0,14	16,00
Škrupiny z lieskových orechov	11,0	1,1	67,8	20,0	0,04	18,20
Škrupiny z mandlí	9,3	0,5	81,4	8,8	0,03	16,70
Repka olejná 1	9,8	2,8	81,2	6,0	0,11	17,82
Repka olejná 2	8,1	4,5	83,2	3,6	0,60	17,37
Piliny*	-	1,3*	84,2*	14,5*	0,02*	17,22*
Drevné uhlie 1	4,6	4,5	32,7	58,2	0,02	33,10
Drevné uhlie 2*	-	5,1*	7,5*	87,3*	0,04*	30,77*



Poznámka: analýza popola, prchavej horľaviny, pevného uhlíka a síry bola realizovaná na suchej vzorke.
*suchý stav



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Analýza vybraných uhlíkatých materiálov, ktoré sa použili v aglomerácii na Slovensku (2012 - 2017)

Uhlíkaté materiály	Vlhkosť [%]	Popol [%]	Prchavá horľavina [%]	Pevný uhlík [%]	Síra [%]	Výhrevnosť [MJ/kg]
Prachový koks 1	1,5	14,5	3,5	82,0	0,59	28,16
Prachový koks 2	0,1	13,3	1,8	84,9	0,51	28,75
Škrupiny z vlašských orechov	9,6	0,7	81,3	18,0	0,05	16,90
Kôra smrek	7,3	3,0	75,7	21,3	0,02	18,68
Piliny buk *	-	0,3*	85,4*	14,3*	0,01*	17,53*
Piliny dub	7,1	1,5	83,4	15,1	0,05	16,56
Piliny borovica 1	13,6	0,9	85,6	13,5	0,05	15,94
Piliny borovica 2*	-	0,9*	85,2*	13,9*	0,05*	18,93*
Kukurica*	-	1,6*	83,2*	15,2*	0,05*	16,11*
Drevné uhlie 1	18,0	6,1	17,0	76,9	0,02	29,93
Drevné uhlie 2	4,9	3,5	8,2	88,3	0,05	30,46
Drevné uhlie 3*	-	2,3*	6,4*	91,3*	0,05*	32,66*



Poznámka: analýza popola, prchavej horľaviny, pevného uhlíka a síry bola realizovaná na suchej vzorke.
*suchý stav



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Závery zo štúdiu vlastností jednotlivých druhov biomasy

- drevné uhlie sa svojimi vlastnosťami najviac približuje k štandardnému palivu aglomeračného procesu (ku koksovému prachu), má aj podobnú výhrevnosť (32,05 MJ/kg),
- z hľadiska chemického zloženia je u dreveného uhlia pozitívom nižší obsah popola a síry,
- popol dreveného uhlia má zásaditý charakter, vyznačujúci sa nízkym obsahom SiO_2 a vysokým obsahom CaO a MgO , najviac zastúpeným minerálom v popole je kalcit,
- surová biomasa (napr. piliny z dubového a borovicového dreva) vykazuje v porovnaní s koksovým prachom výraznejšie rozdiely, má aj výrazne nižšie výhrevnosti (cca 18 MJ/kg),
- piliny z dubového a borovicového dreva sa vyznačujú vyšším obsahom vody, vyšším obsahom prchavých látok a nižším obsahom uhlíka, ale obsahujú 10 až 15x nižší obsah popola ako referenčný prachový koks,
- druhy biomasy majú vyššiu reaktivitu a nižšiu mernú tepelnú kapacitu ako koksový prach.



Analýza použitia biomasy v rámci spekania železonosných materiálov

- jednotlivými druhmi biomasy je možné nahradiť cca 10 - 15 % koksového prachu,
- maximálne teploty v rámci aglomeračného procesu sú pre biomasu nižšie ako pre samotný koksový prach a nárast teploty na jednotlivých úrovniach spekanej vrstvy nastáva skôr,
- pri použití biomasy sa skracuje celkový čas spekania a zvyšuje sa výrobnosť a produktivita,
- pri použití biomasy sa znižuje kvalita vyrobeného železonosného aglomerátu – zvyšuje sa podiel vratného aglomerátu (pod 5 mm) a v rámci skúšky ISO (podielu pod 0,5mm),
- palivá z biomasy môžu horieť rýchlejšie než koksový prach v dôsledku ich vysokej pórovitosti a veľkej styčnej ploche,
- obsah FeO v aglomeráte je nižší v prípade použitia biomasy a výrazne sa znižuje pri vyššom obsahu náhrady biomasy.



Analýza použitia biomasy v rámci spekania železonosných materiálov

V súvislosti s alternatívnymi palivami sa musia prijímať také riešenia, ktoré minimalizujú využitie surovej biomasy (drevnej hmoty, resp. drevného uhlia a poľnohospodárskej fytomasy) a maximalizujú využitie odpadnej biomasy!!!



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železoruďného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Najnovšie poznatky v rámci využitia biomasy pri spekaní železonosných materiálov – svet a Slovensko

Na nasledujúcich slajdoch sú uvedené najnovšie poznatky (roky 2015 – 2018) v rámci využitia biomasy pri výrobe železonosného aglomerátu vo svete a na Slovensku.



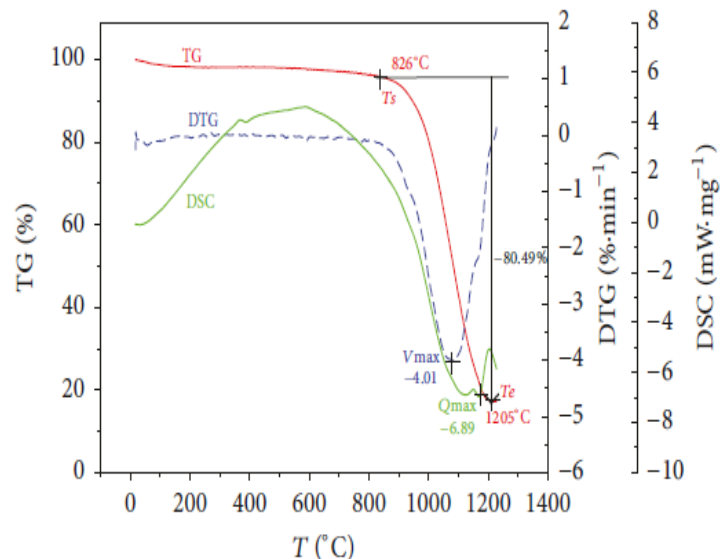
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

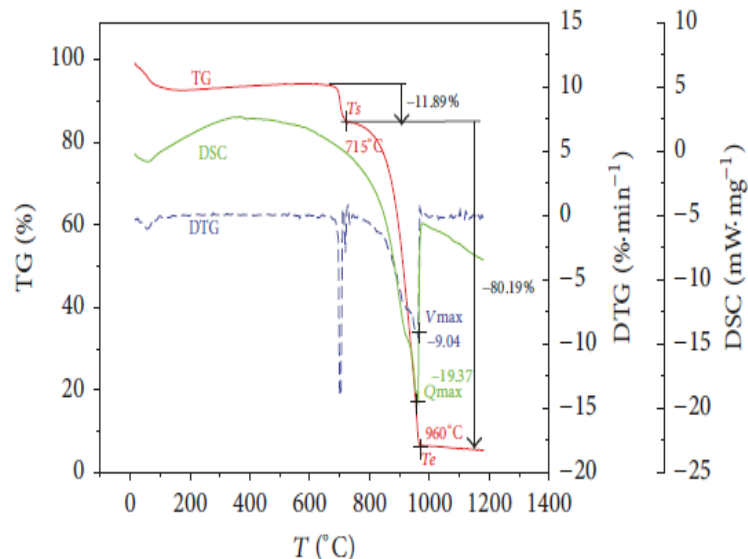
UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Porovnanie reaktivity drewného uhlia a koksového prachu

(GAN, M., et al. - 2017)



(a) Coke breeze



(b) Biochar

- drewné uhlie sa začína splyňovať pri nižších teplotách ako koksový prach,
- maximálna strata hmotnosti V_{max} a maximum absorpcie tepla Q_{max} bola vyššia ako pri koksovom prachu
- drewné uhlie má vyššiu reaktivitu ako koksový prach a teda ľahšie reaguje s CO_2 .



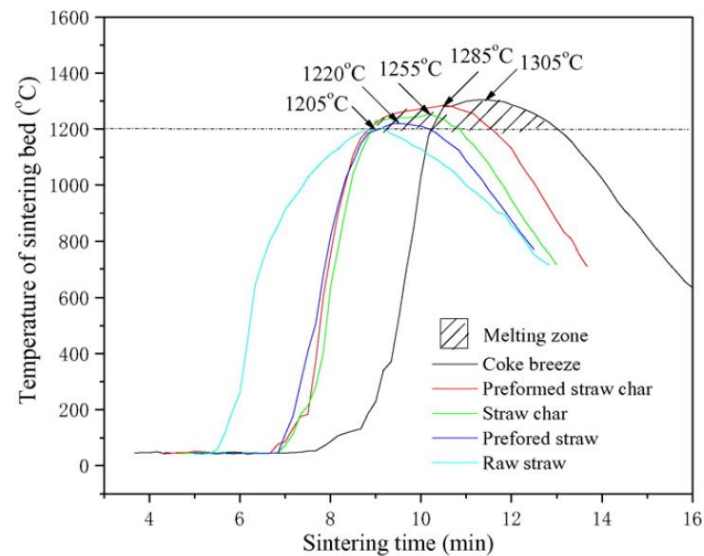
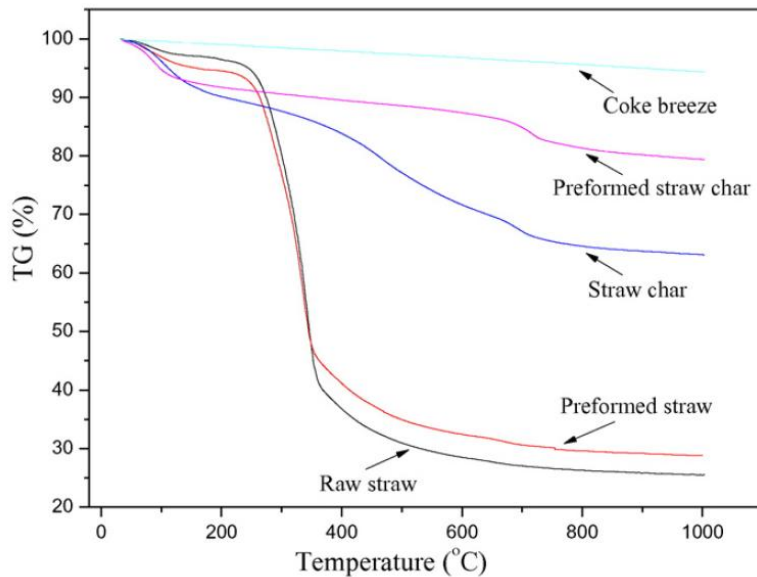
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaž výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Účinnok slamy na aglomeračný proces

(FAN, X., et al. . - 2016)



- termická analýza rôznych druhov slamy bola realizovaná pri simulovanej atmosfére, ktorá je prítomná pri aglomeračnom procese (cca 8 % O₂),
- odporúčané percento náhrady surovej a briketovanej slamy predstavuje max. 10 %,
- výsledky spekania ukázali, že teploty v spekanej vrstve boli pri použití slamy nižšie ako v prípade koksového prachu.

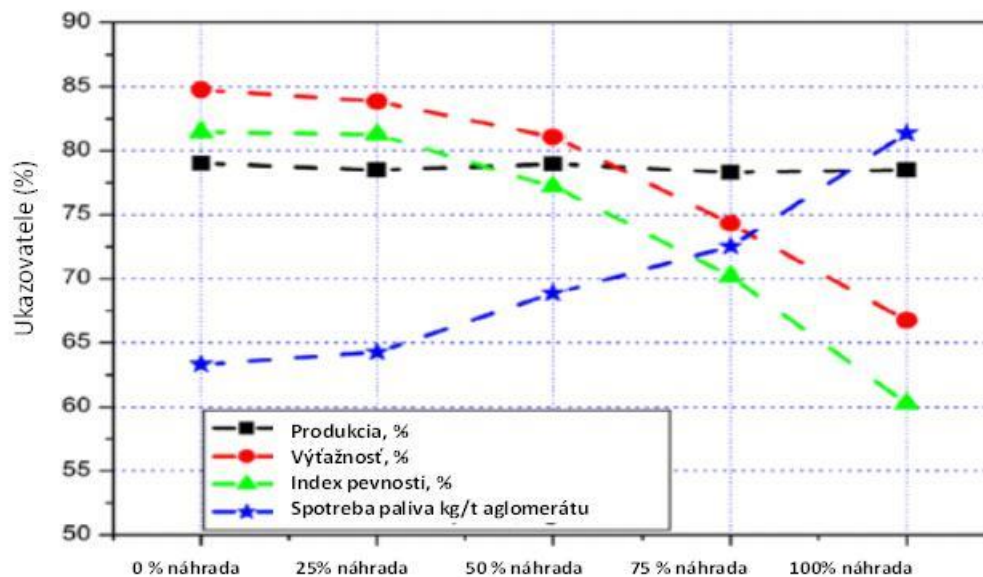


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaž výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Vplyv drevného uhlia na výrobné ukazovatele aglomeračného procesu (MOUSA, E. A.; et al. . - 2015)

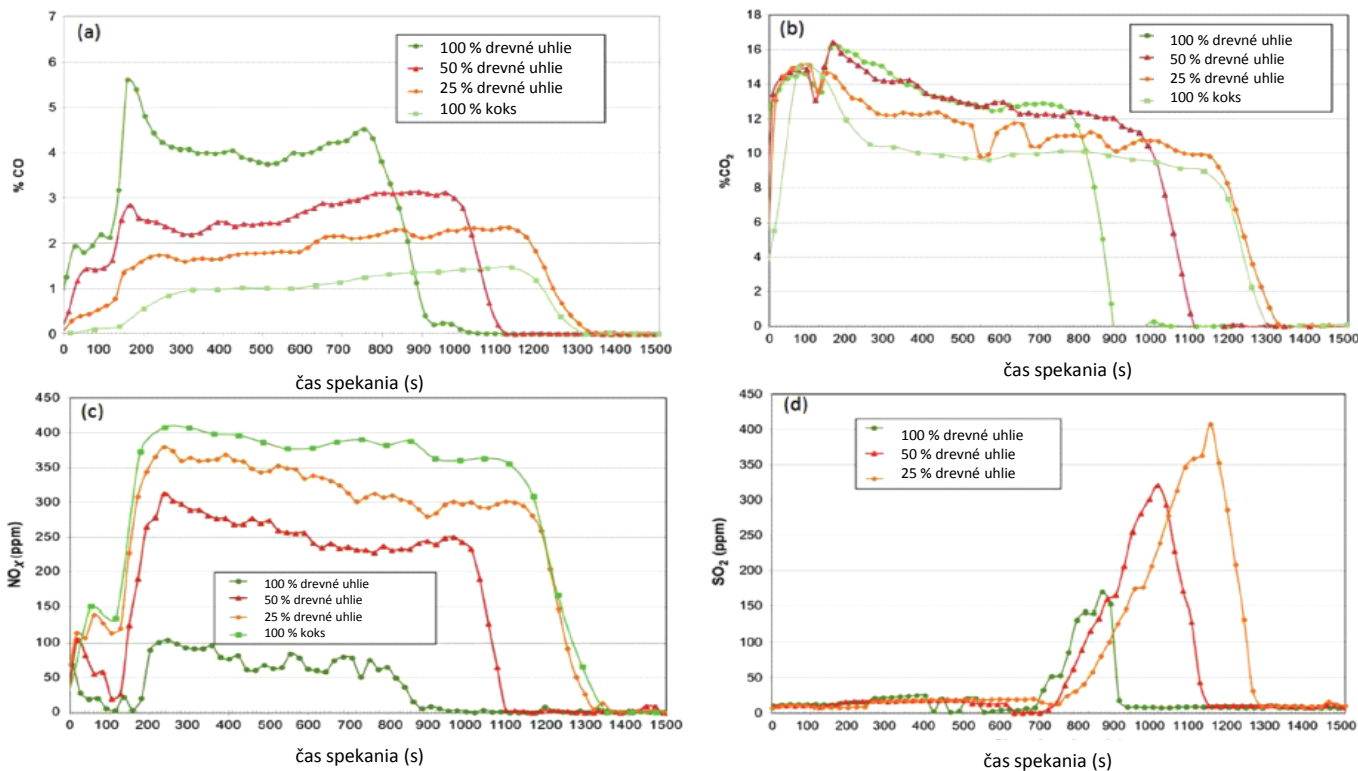


- výrobnosť aglomerátu (78-79%) je takmer konštantná pri všetkých náhradách drevným uhlím,
- bolo zaznamenané prudké zníženie výťažnosti a indexu pevnosti, nárast spotreby paliva, ak sa pomer substitúcie drevného uhlia za koksárenský prach zvýšil o viac ako 25%.



Vplyv dreveného uhlia na plynné emisie v rámci aglomeračného procesu

(CHENG, Z., et al. et al. . - 2016)



- čiastočná substitúcia koksového prachu drevným uhlím mala za následok vyššiu koncentráciu CO_x a nižšiu koncentráciu SO_x a NO_x v spalinách,
- vyššia koncentrácia CO a CO₂ v spalinách sa pripisuje vyššiemu prídavku dreveného uhlia v porovnaní s koksovým prachom, nižšia koncentrácia SO_x a NO_x sa pripisuje nižšiemu obsahu S a N v drevenom uhlí.

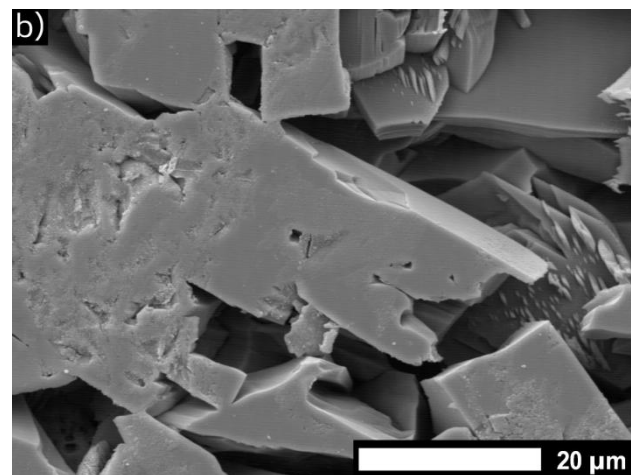
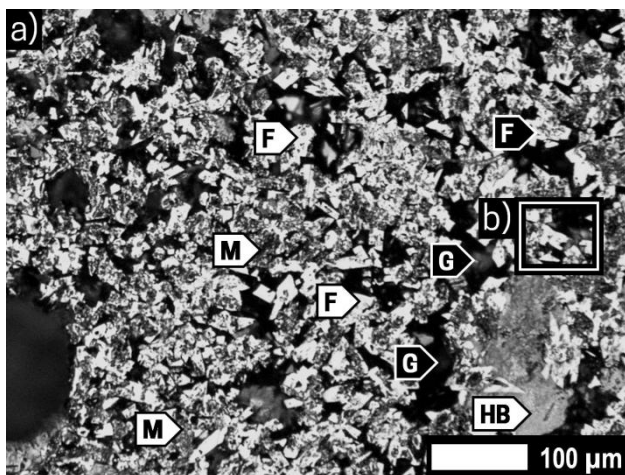


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaž výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Vplyv drewných pilín na štruktúru aglomerátu (MEŽIBRICKÝ, FRÖHLICHOVÁ. - 2018)



F – komplexné vápenaté ferity; M – magnetit; G – sklo; HB - hedenbergit

- pri skúmaní implementácie drewných pilín do aglomeračného procesu boli pozorované zvýšené podiely vápenatých feritov,
- štruktúra aglomerátu vyrobeného s 13%-nou náhradou koksového prachu drewnými pilinami bola charakteristická oblasťami s bohatým zastúpením magnetitu v spojení s nízkoželezitými komplexnými vápenatými feritmi.



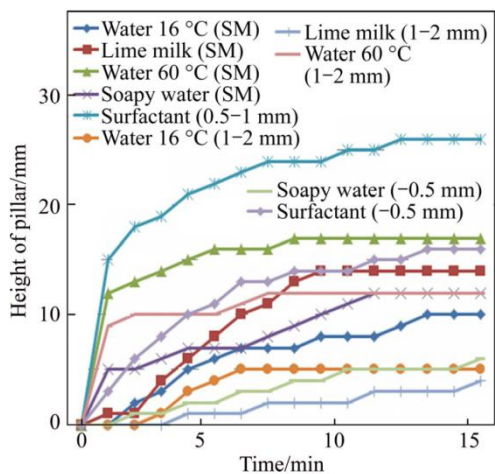
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

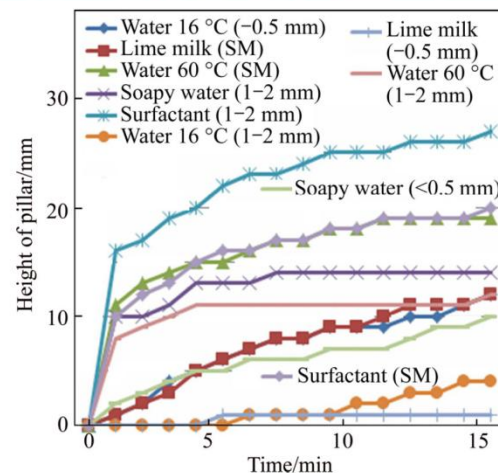
UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Hodnotenie zbaliteľnosti a absorpcie biomasy v aglomeračnej zmesi (HUDÁK, LEŠKO, SEMANOVÁ, FRÖHLICHOVÁ, FINDORÁK, LEGEMZA - 2017)

Kapilárne nasiakavanie borovicových pilín



Kapilárne nasiakavanie jelšových pilín



- kľúčový faktor, ktorý vplýva na zbaliteľnosť a absorpciu je povrchové napätie kvapaliny, druh pilín a veľkosť častíc drevných pilín,
- jelšové piliny sú z hľadiska zmáčavosti vhodnejší materiál pre použitie v rámci aglomeračného procesu ako borovicové piliny, najvhodnejšie sú frakcie 0,5 – 1 mm a 1 – 2 mm.

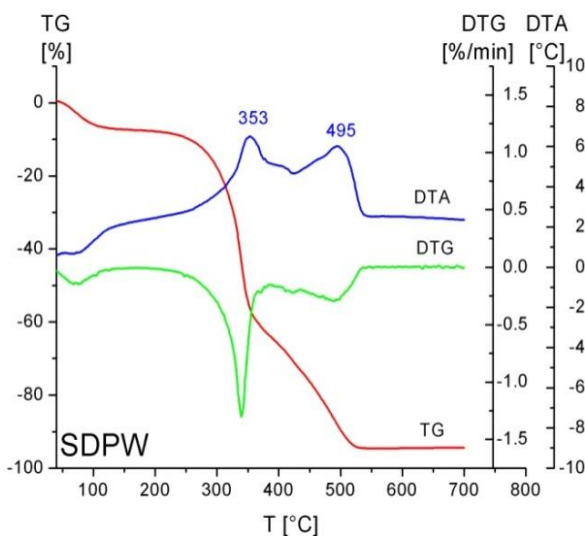


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

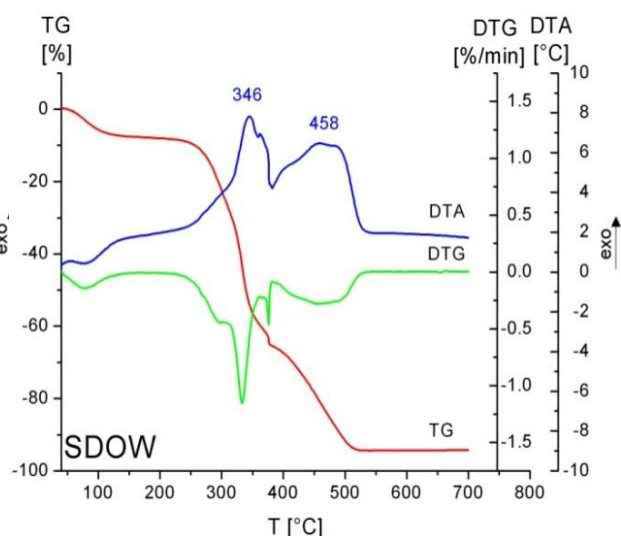
Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



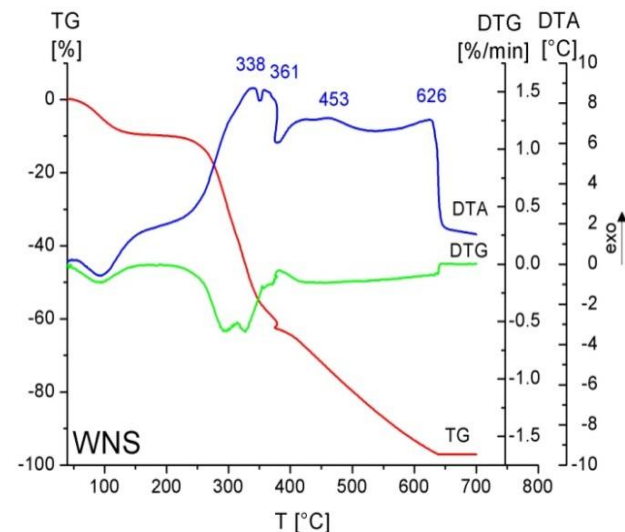
Štúdium termického rozkladu pilín a orechových škrupín (FINDORÁK, FRÖHLICHOVÁ, LEGEMZA, FINDORÁKOVÁ - 2016)



borovicové piliny
(SDPW)



dubové piliny
(SDOW)



orechové škrupiny
(WNS)

- Počas termickej degradácie bola v prvom kroku uvoľnená prítomná vlhkosť a následne v druhom kroku zložky prchavej horľaviny. V treťom kroku degradácie bol oxidovaný pevný uhlík. Uvoľňovanie prchavých zložiek bolo nasledované oxidačnou reakciou spaľovania prchavých zložiek a pevného uhlíka.
- Testované vzorky biomás vykazujú rýchlejší reakčný stupeň (reakčnú rýchlosť) pri nižších teplotách a nižšiu aktivačnú energiu vzhľadom na vysoký podiel prchavej horľaviny v biomase.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Aplikačné poznatky v rámci využitia biomasy pri spekaní železonosných materiálov - Slovensko

Na nasledujúcich slajdoch sú uvedené zovšeobecnené aplikačné poznatky (roky 2013 – 2017) v rámci využitia biomasy pri výrobe železonosného aglomerátu na Slovensku.







AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železoruďného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Vplyv biomasy na vlastnosti aglomerátu a ekologické aspekty výroby (LEGEMZA, FRÖHLICHOVÁ, FINDORÁK - 2013 - 2017)

Druh paliva	Náhrada koku [%]	Fotografia aglomerátu	Charakteristika aglomerátu	Ekologické aspekty
Koksový prach	0		štandardné kvalitatívne parametre	štandardné parametre
Drevné uhlie	20		štandardné kvalitatívne parametre	nižšie emisie CO _x , NO _x
Drevné uhlie	44		vyšší objem taveniny, výborné pevnostné vlastnosti	nižšie emisie CO _x , NO _x , SO ₂
Drevné uhlie	86		nízky objem taveniny, horšie kvalitatívne parametre	nižšie emisie CO _x , NO _x







AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Vplyv biomasy na vlastnosti aglomerátu a ekologické aspekty výroby (LEGEMZA, FRÖHLICHOVÁ, FINDORÁK - 2013 - 2017)

Druh paliva	Náhrada koksú [%]	Fotografia aglomerátu	Charakteristika aglomerátu	Ekologické aspekty
Dubové piliny	14		štandardné kvalitatívne parametre	nižšie emisie CO _x , SO ₂
Dubové piliny	44		nízky objem taveniny, nevyhovujúce kvalitatívne parametre	nižšie emisie SO ₂
Borovicové piliny	8		štandardné kvalitatívne parametre	nižšie emisie CO _x , SO ₂
Borovicové piliny	20		nízky objem taveniny, nevyhovujúce kvalitatívne parametre	nižšie emisie CO _x , SO ₂






AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Vplyv biomasy na vlastnosti aglomerátu a ekologické aspekty výroby (LEGEMZA, FRÖHLICHOVÁ, FINDORÁK - 2013 - 2017)

Druh paliva	Náhrada koku [%]	Fotografia aglomerátu	Charakteristika aglomerátu	Ekologické aspekty
Orechové škrupiny	8		štandardné kvalitatívne parametre	nižšie emisie NO _x , SO ₂
Orechové škrupiny	20		štandardné kvalitatívne parametre	nižšie emisie NO _x , SO ₂
Orechové škrupiny	50		vyššia nehomogenita, priemerné kvalitatívne parametre	nižšie emisie CO _x , NO _x , SO ₂



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Ďalšie poznatky zo svetových štúdií použitia biomasy (2013 - 2017)

Štúdia	Poznatky	Rok, autor
Skúmanie potenciálneho využitia biomasy v rôznych metalurgických prevádzkach	Prehľad o rôznych aplikáciách biomasy v rôznych technológiach výroby železa a ocele, ako sú BF-BOF, DR-EAF, PCI injektáž pri BF operáciach a spekanie železnej rudy. Sú popísané aplikácie na redukčné a adsorpčné činidlá.	2017 Wei
Štúdium prípravy dreveného uhlia z poľnohospodárskej biomasy a použiteľnosť pri čistení odpadových vôd.	Jedná sa o prehľad o vývoji, výrobných metódach vzniku dreveného uhlia, dostupnosti konverzných technológií a priemyselných aplikáciách. Hlavnými aplikáciami sú čistenie odpadových vôd a vývoj polymérov.	2017 Thines
Hľadanie využitia biomasy založené na využití odpadu z ryžových odpadov v rôznych priemyselných odvetviach.	Popol z ryžových odpadov je bohatý na obsah oxidu kremičitého a nemôže byť otvorene skladovaný kvôli environmentálnym problémom. Je možné jeho využitie ako činidla na úpravu pôdy, kompozitov a keramického priemyslu a ďalších aplikácií.	2016 Pode
Štúdium vplyvu času a teploty na pyrolýzu odpadu z drevenej biomasy v kontinuálnom reaktore na produkciu potenciálneho paliva pre metalurgické operácie.	Odpad z drevenej biomasy sa pyrolýzuje v kontinuálnom skrutkovacom reaktore a konvertuje sa na aktívne uhlie. Zistilo sa, že pomalá pyrolýza s vysokou teplotou a dlhou dobou zdržania poskytla najlepšie vlastnosti biopaliva, ktoré sa majú používať v metalurgickom priemysle.	2016 Solar



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Ďalšie poznatky zo svetových štúdií použitia biomasy (2015 - 2017)

Štúdia	Poznatky	Rok, autor
Skúmanie využiteľnosti biomasy v priemysle železa a ocele na základe budúcich výziev a príležitostí.	Preskúmanie sa uskutočňuje s cieľom zlepšiť a analyzovať možnosti pri využívaní biomasy v priemysle. Rozoberajú sa rôzne spôsoby využitia biomasy. Použitie bio-char s pevným uhlíkom > 90% a veľkosti 1 až 5 mm sa považuje za vhodné, ktoré môže nahradiť až 60% koksu v procesoch spekania.	2016 Ramchandra
Preskúmanie - premena biomasy rias v biopalivách pomocou termochemickej konverzie.	Biomasa mikročastíc je študovaná, pretože je cenným riešením na znižovanie emisií skleníkových plynov a diskutuje sa aj o technikách termo-chemickej konverzie na konverziu mikro-biopalív na báze biopalív.	2015 Chen
Štúdium modelovania spaľovania paliva v procese spekania železnej rudy.	Rôzne modely sú diskutované ako model spaľovania koksu a biomasy, model reaktivity paliva, model distribúcie veľkosti koksu a správanie sa pri spaľovaní koksu s prednou rýchlosťou plameňa v procese spekania.	2015 Zhao
Hodnotenie uhlia a biomasy založené na prevádzkovom a environmentálnom vplyve výroby aglomerátu.	Využitie dreveného uhlia ako obnoviteľného paliva s nahradením koksu, analýza teplôt, kvality aglomerátu a emisie skleníkových plynov (0, 10, 25, 50, 100%). Náhrada na úrovni 50% je pozitívna.	2015 Abreu



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Závery teoretického štúdia nových poznatkov použitia biomasy v aglomeračnom procese

- úplná náhrada prachového koksu v aglomerácii biomasou nie je možná



je možné nahradiť 10-40% prachového koksu, existuje potenciál pre zníženie emisií a zvýšenie produktivity

- potreba ďalšieho skúmania



vplyvu vlastností vstupných druhov biomasy na aglomeračný proces, štúdium termodynamiky a kinetiky spaľovania biomasy

- pre aglomeračný proces sa javí ako najvhodnejšia odpadná biomasa



piliny z dendromasy, zvyšky z fytomasy, lignínové zložky



Nové smery vo využívaní biomasy v metalurgii (2016 - 2018)

- tepelná úprava rastlinnej a drevnej biomasy



projekt ULCOS

- výroba kompozitných biopalív z odpadnej biomasy



projekt RENEPRO

- úprava fyzikálnych vlastností biomasy

- simulácia podmienok horenia biomasy pre konkrétny metalurgický proces



projekt IEA COMBUSTION



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Využitie teoretických poznatkov v rámci projektu

- metodika analýzy súčasného stavu riešenej problematiky bola určená na získanie východných predpokladov



pre simuláciu termodynamických a kinetických podmienok horenia biomasy



na optimalizáciu teoretického, termodynamického a technologického modelu spekania za použitia vybraných druhov biomasy



- chemická a fyzikálna analýza (chemické zloženie, granulometrické zloženie, výhrevnosť a spalné teplo, mikroštruktúra, termická analýza, teplota tavenia a RTG fázové zloženie popola) rôznych dostupných materiálov z odpadnej biomasy



cieľom tejto metodiky bude návrh najvhodnejšej biomasy pre aglomeračný proces z pohľadu jej výskytu na Slovensku a z pohľadu požadovaných fyzikálno–chemických vlastností použitého paliva pre aglomeračný proces.



- optimalizácia metodiky predúpravy tuhej biomasy do aglomeračnej zmesi



vypracovanie a realizácia tejto metodiky budú dôležité z hľadiska prípravy jednotlivých komponentov aglomeračnej vsádzky - hlavne čo sa týka dosiahnutia požadovanej zrnitosti a homogenity.



Predikcia a návrh na ďalšie riešenie projektu v roku 2018

- realizácia štúdia termodynamických podmienok spaľovania tuhej biomasy, pre detailnejšie termodynamické štúdium sa použijú Gibbsové rovnovážne diagramy, ktoré je možné vytvoriť v termodynamickom programe HSC 9 (táto najnovšia verzia bola zakúpená v roku 2018 pre riešenie APVV projektu).




namodelované sústavy a výsledky termodynamických výpočtov dokážu špecifikovať vplyv množstva a druhu použitého paliva (vrátane biomasy) na oxido – redukčné procesy a deje, ktoré prebiehajú aj pri výrobe železonosného aglomerátu.



Na nasledujúcich slajdoch sú uvedené softvérové produkty a hlavné experimentálne zariadenia na experimentálne štúdium biomasy v aglomeračnom procese, ktoré budú použité v rámci riešenia ďalšej časti APVV projektu.



Termodynamický program na štúdium podmienok spaľovania tuhej biomasy



Outotec Technologies

HSC Chemistry 9

HSC verzia 9.0.0
User: Antb Roine
Licensee: Outotec

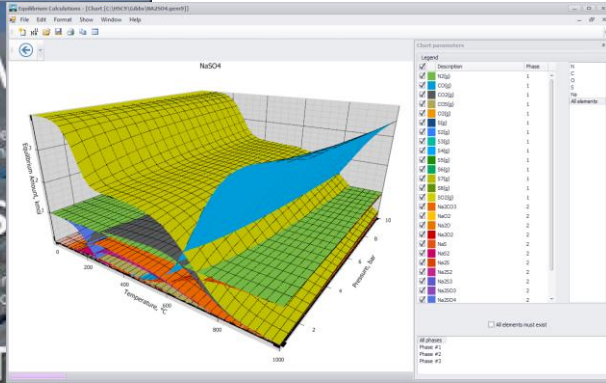
Technologies

Products & Services

Sustainability

Research & Development

Aqu Aqueous Solutions	Bal Heat & Material Balance	EpH Eh-pH Diagrams	Est H, S and Cp Estimates	Mas Mass Balances
Ben Benson Estimation	Con Species Converter	Exe Energy Balance	Gem Equilibrium Compositions	Rea Reaction Equations
Dat Data Processing	DB H, S and Cp Database	Geo Mineral Database	HTr Heat Loss Calculator	Sim Flowsheet Simulation
Dia H, S, Cp and G Diagrams	Ele Periodic Chart	Lpp	Map	Wat



Reaction Equations

Specifications

Reaction Equation or Chemical Formula: $2CO(g) + O_2(g) = 2CO_2(g)$

Smallest Coefficient: 1

Balance

Temperature	From (°C)	To (°C)	Step (°C)
1	0,000	1220	25

Calculate

Reaction Equation									
$2CO(g) + O_2(g) = 2CO_2(g)$									
Reaction Data									
S	T	ΔH	ΔS	ΔG	K	Log K			
6	°C	kJ	JK	kJ					
7	0,000	-565,568	-171,673	-518,676	1,567E+099	99,195			
8	25,000	-565,927	-171,992	-514,368	1,326E+090	90,123			
9	50,000	-566,235	-172,623	-510,031	2,813E+082	82,449			
10	75,000	-566,492	-174,692	-505,673	7,499E+075	75,875			
11	100,000	-566,707	-175,287	-501,298	1,510E+070	70,179			
12	125,000	-566,883	-175,745	-496,930	1,573E+065	65,507			
13	150,000	-567,024	-176,090	-492,532	6,338E+060	60,802			
14	175,000	-567,135	-176,345	-488,106	7,881E+056	56,897			
15	200,000	-567,218	-176,524	-483,695	2,511E+053	53,603			
16	225,000	-567,274	-176,641	-479,283	1,821E+050	50,260			
17	250,000	-567,307	-176,706	-474,884	2,613E+047	47,437			
18	275,000	-567,319	-176,727	-470,486	6,820E+044	44,884			
19	300,000	-567,310	-176,712	-466,028	2,989E+042	42,476			
20	325,000	-567,283	-176,665	-461,630	2,669E+040	40,194			
21	350,000	-567,236	-176,591	-457,295	2,122E+038	36,191			

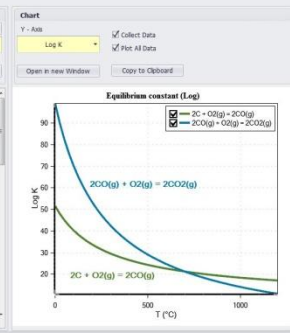
Chart

Y-Axis: $\log K$

X-Axis: T (°C)

Equilibrium constant (Log)

$2C + O_2(g) = 2CO_2(g)$



Reaction Equations

Specifications

Reaction Equation or Chemical Formula: $2CO(g) + O_2(g) = 2CO_2(g)$

Smallest Coefficient: 1

Balance

Temperature	From (°C)	To (°C)	Step (°C)
1	0,000	1220	25

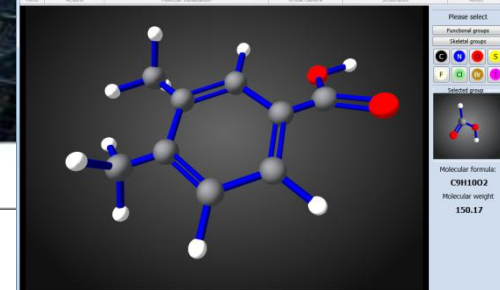
Calculate

Reaction Equation									
$2CO(g) + O_2(g) = 2CO_2(g)$									
Reaction Data									
S	T	ΔH	ΔS	ΔG	K	Log K			
6	°C	kJ	JK	kJ					
7	0,000	-565,568	-171,673	-518,676	1,567E+099	99,195			
8	25,000	-565,927	-171,992	-514,368	1,326E+090	90,123			
9	50,000	-566,235	-172,623	-510,031	2,813E+082	82,449			
10	75,000	-566,492	-174,692	-505,673	7,499E+075	75,875			
11	100,000	-566,707	-175,287	-501,298	1,510E+070	70,179			
12	125,000	-566,883	-175,745	-496,930	1,573E+065	65,507			
13	150,000	-567,024	-176,090	-492,532	6,338E+060	60,802			
14	175,000	-567,135	-176,345	-488,106	7,881E+056	56,897			
15	200,000	-567,218	-176,524	-483,695	2,511E+053	53,603			
16	225,000	-567,274	-176,641	-479,283	1,821E+050	50,260			
17	250,000	-567,307	-176,706	-474,884	2,613E+047	47,437			
18	275,000	-567,319	-176,727	-470,486	6,820E+044	44,884			
19	300,000	-567,310	-176,712	-466,028	2,989E+042	42,476			
20	325,000	-567,283	-176,665	-461,630	2,669E+040	40,194			
21	350,000	-567,236	-176,591	-457,295	2,122E+038	36,191			

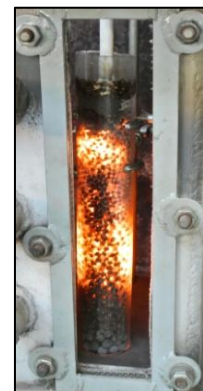
HSC BEN - Estimating HSC values for organic compounds by Benson GAI method

Molecular formula: $C_7H_8O_2$

Molecular weight: 150.17



Modelové zariadenie na experimentálne štúdium biomasy v aglomeračnom procese

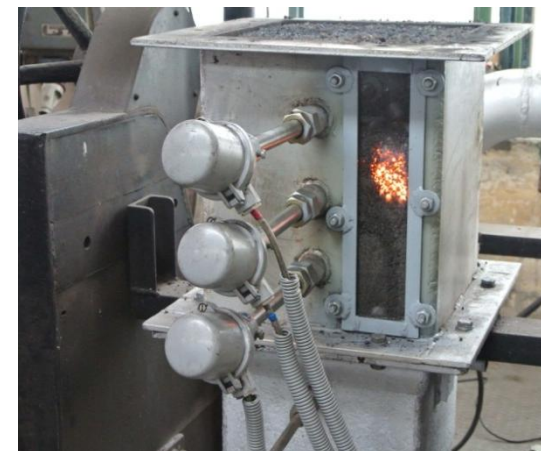
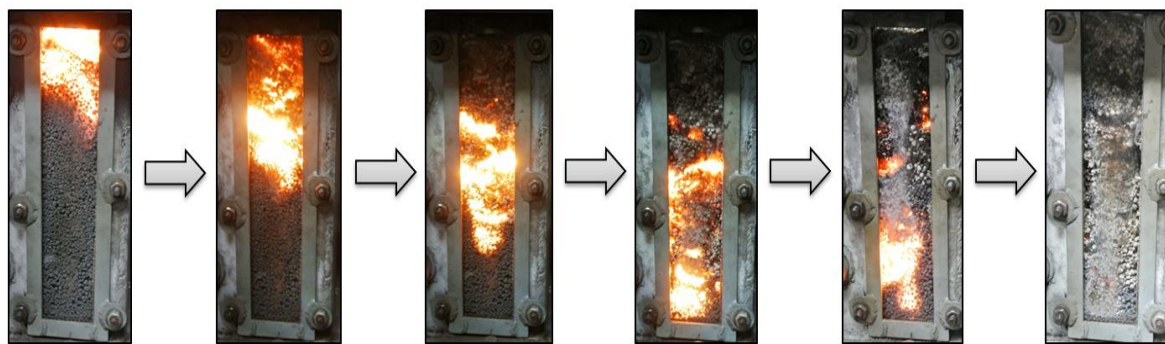
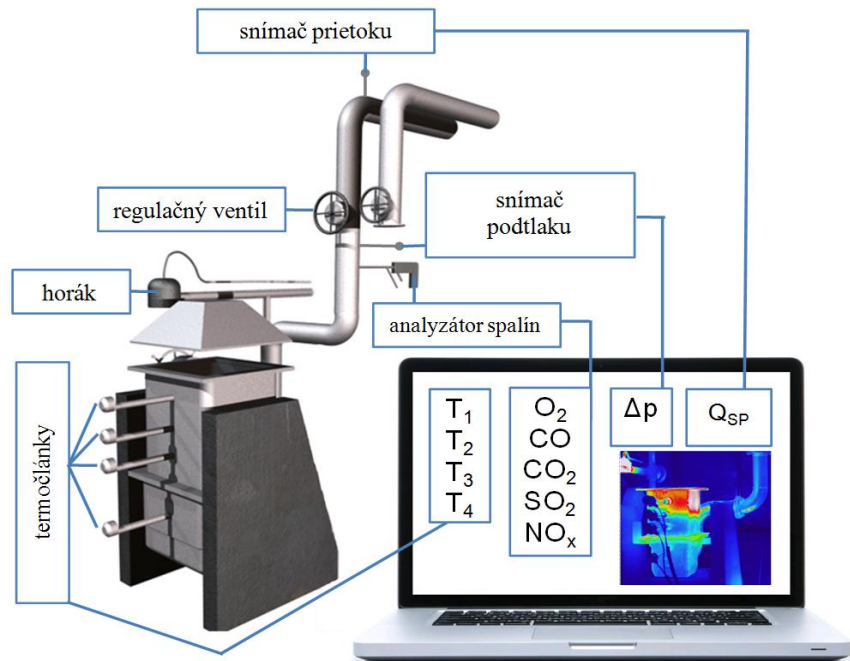


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Laboratórna spekacia panvička na experimentálne štúdium biomasy v aglomeračnom procese



Použitá literatúra

- 1) GEERDES, M., CHAIGNEAU, R., KURUNOV, I., 2015. Modern Blast Furnace Ironmaking: an Introduction. los Press.
- 2) MÜHLBÖCK M., NADERER G., FEHRINGER E. SWGR- Selective waste gas recirculation-next generation. In: Proceeding of METEC & 2nd ESTAD. Düsseldorf, Germany; 2015
- 3) SENK, D., et al. Dust injection in iron and steel metallurgy. *ISIJ International*, 2006, 46.12: 1745-1751.
- 4) CAVALIERE, P., et al. Reducing emissions of PCDD/F in sintering plant: numerical and experimental analysis. *Ironmaking & Steelmaking*, 2011, 38.6: 422-431.
- 5) KASAI, E., et al. Effect of additives on the dioxins emissions in the iron ore sintering process. *ISIJ International*, 2001, 41.1: 93-97.
- 6) XU Jing-li. Energy consumption and energy conservation measures of sinter production National Conference Proceedings on Raw Iron, Kunming: The Chinese Society for Metals, 2005: 25–28.
- 7) DAWSON, P. R. Recent developments in iron ore sintering. I. Introduction. *Ironmaking and Steelmaking*, 1993, 20.2: 135-136.
- 8) HELLE, H., et al. Mathematical optimization of ironmaking with biomass as auxiliary reductant in the blast furnace. *ISIJ International*, 2009, 49.9: 1316-1324.
- 9) QUADER, M. A., et al. Present needs, recent progress and future trends of energy-efficient Ultra-Low Carbon Dioxide (CO₂) Steelmaking (ULCOS) program. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 55: 537-549.
- 10) MONTIANO, M. G., et al. Influence of biomass on metallurgical coke quality. *Fuel*, 2014, 116: 175-182.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Použitá literatúra

- 11) MOUSA, E., et al. Biomass applications in iron and steel industry: an overview of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 65: 1247-1266.
- 12) SZMAL, A.; JODKOWSKI, M. Technical-economic perspective of using composite alternative fuels in metallurgical production. In: *24th International Conference on Metallurgy and Materials. Brno, Czech Republic. 2015.*
- 13) DU, S.; CHEN, W.; LUCAS, J. A. Pretreatment of biomass by torrefaction and carbonization for coal blend used in pulverized coal injection. *Bioresource technology*, 2014, 161: 333-339.
- 14) WEI, R., et al. Current status and potential of biomass utilization in ferrous metallurgical industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 68: 511-524.
- 15) SUOPAJÄRVI, H., et al. Extensive review of the opportunities to use biomass-based fuels in iron and steelmaking processes. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 148: 709-734.
- 16) WU, F., et al. Phase transformation of iron in limonite ore by microwave roasting with addition of alkali lignin and its effects on magnetic separation. *Journal of Alloys and Compounds*, 2017, 722: 651-661.
- 17) WIKLUND, C., et al. Feasibility study of woody-biomass use in a steel plant through process integration. *Journal of cleaner production*, 2017, 142: 4127-4141.
- 18) ZHANG, K., et al. Effects of biomass reducing agent on magnetic properties and phase transformation of Baotou low-grade limonite during magnetizing-roasting. *PloS one*, 2017, 12.10: e0186274.
- 19) GUO, D., et al. Direct reduction of iron ore/biomass composite pellets using simulated biomass-derived syngas: Experimental analysis and kinetic modelling. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 327: 822-830.
- 20) RATH, S. S., et al. Biomass briquette as an alternative reductant for low grade iron ore resources. *Biomass and Bioenergy*, 2018, 108: 447-454.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Použitá literatúra

- 21) SUMAN, S.; GAUTAM, S. A comparative study between time, temperature, and fixed carbon using different biochar reductants as an alternate source of energy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2017, 39.10: 1029-1035.
- 22) WEI, R., et al. Reduction characteristics and kinetics of iron oxide by carbon in biomass. *Ironmaking & Steelmaking*, 2016, 43.2: 144-152.
- 23) KOGURE, S., et al. Effect of woody biomass on reduction behavior of iron oxide. *Tetsu-To-Hagane/Journal of the Iron and Steel Institute of Japan*, 2016, 102.8: 425-433.
- 24) HUANG, D., et al. Direct reduction of high-phosphorus oolitic hematite ore based on biomass pyrolysis. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2016, 23.9: 874-883.
- 25) LOVEL, R. R.; VINING, K. R.; DELL'AMICO, M. The influence of fuel reactivity on iron ore sintering. *ISIJ International*, 2009, 49.2: 195-202.
- 26) OOI, T. C., et al. The study of sunflower seed husks as a fuel in the iron ore sintering process. *Minerals Engineering*, 2008, 21.2: 167-177.
- 27) FAN, X., et al. Characteristics of prepared coke–biochar composite and its influence on reduction of NOx emission in iron ore sintering. *ISIJ International*, 2015, 55.3: 521-527.
- 28) KAWAGUCHI, T.; HARA, M. Utilization of biomass for iron ore sintering. *ISIJ International*, 2013, 53.9: 1599-1606.
- 29) GAN, M., et al. Gasification Reaction Characteristics between Biochar and CO2 as well as the Influence on Sintering Process. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 2017.
- 30) FAN, X., et al. Integrated assessment on the characteristics of straw-based fuels and their effects on iron ore sintering performance. *Fuel Processing Technology*, 2016, 150: 1-9.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Použitá literatúra

- 31) MATHIESON, John, et al. The potential for charcoal to reduce net greenhouse gas emissions from the Australian steel industry. 2012.
- 32) GAN, M., et al. Influence of Surface Modification on Combustion Characteristics of Charcoal and Its Performance on Emissions Reduction in Iron Ore Sintering. *ISIJ International*, 2017, 57.3: 420-428.
- 33) MOUSA, E. A.; AHMED, H. M.; WANG, C. Novel Approach Towards Biomass Lignin Utilization in Ironmaking Blast Furnace. *ISIJ International*, 2017, 57.10: 1788-1796.
- 34) LUNDHOLM, K., et al. Reduced bed agglomeration by co-combustion biomass with peat fuels in a fluidized bed. *Energy & fuels*, 2005, 19.6: 2273-2278.
- 35) MOUSA, E. A.; BABICH, A.; SENK, D. Iron Ore Sintering Process with Biomass Utilization. In: *Proc. of METEC & 2nd ESTAT, Düsseldorf, Gemany, 15–19 June*. 2015.
- 36) OYAMA, N., et al. Development of secondary-fuel injection technology for energy reduction in the iron ore sintering process. *ISIJ International*, 2011, 51.6: 913-921.
- 37) CHENG, Z. L., et al. Visualization Study on the Methane Segregation Injection Technology in Iron Ore Sintering Process. *Energy Procedia*, 2017, 105: 1461-1466.
- 38) LOVEL, R.; VINING, K.; DELL'AMICO, M. Iron ore sintering with charcoal. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 2007, 116.2: 85-92.
- 39) ZANDI, M.; MARTINEZ-PACHECO, M.; FRAY, T. A. T. Biomass for iron ore sintering. *Minerals Engineering*, 2010, 23.14: 1139-1145.
- 40) LI, J. Y.; CHEN, R. Y. Direct combustion of biomass fuel characteristics analysis. *Northeast Agric. Univ*, 2001, 32.2: 290-294.
- 41) XUE-FENGA, W. E. I., et al. Mechanism of biomass fuel combustion by catalyst. *Journal of Henan University of Science & Technology (Natural Science)*, 2009, 30.2: 32-34.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Použitá literatúra

- 42) XI, C. Exploitation and utilization of bio-energy. *Journal of Process in Chemistry*, 2007, 19.7: 1091–1096.
- 43) GUO, R. C., et al. The statue and vision for utilization of lignified biomass energy. *Journal of Forest Inventory and Planning*, 2007, 32.1: 90-94.
- 44) SUN, Y.; YUAN, Z.; SUN, Z. The status and future of bioenergy and biomass utilization in China. *Renewable Energy*, 2006, 2.A126: 78-82.
- 45) PENG Zhi-jian, ZHEN Yin-zhu. Study of additives on iron ore energy saving and emission reduction of iron ore sintering, Annual Conference on Sintering & Pelletizing Technology, Changsha: National Infrmrnation Network of Sintering & Pelletizing, 2009: 32–36.
- 46) JIANG, Z. W. Study on combustion process of biomass fuels and characteristics of their ash. *Journal of Material Review*, 2010, 24: 66-80.
- 47) DI, H., et al. Experiment study on the effect of iron ore sinter behavior with adding biomass. *Metalurgija*, 2018, 57.1-2: 27-30.
- 48) CHAO, L., et al. Numerical simulation of sintering based on biomass fuel. *Ironmaking & Steelmaking*, 2017, 1-8.
- 49) CHENG, Z., et al. Experimental study of commercial charcoal as alternative fuel for coke breeze in iron ore sintering process. *Energy Conversion and Management*, 2016, 125: 254-263.
- 50) GAN, M., et al. Reduction of pollutant emission in iron ore sintering process by applying biomass fuels. *ISIJ International*, 2012, 52.9: 1574-1578.
- 51) GAN, M., et al. Application of biomass fuel in iron ore sintering: influencing mechanism and emission reduction. *Ironmaking & Steelmaking*, 2015, 42.1: 27-33.
- 52) CAVALIERE, P., et al. Reducing emissions of PCDD/F in sintering plant: numerical and experimental analysis. *Ironmaking & Steelmaking*, 2011, 38.6: 422-431.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Použitá literatúra

- 53) KASAI, Eiki, et al. Effect of additives on the dioxins emissions in the iron ore sintering process. *ISIJ International*, 2001, 41.1: 93-97.
- 54) THOMPSON, D., et al. The polychlorinated dibenzofuran fingerprint of iron ore sinter plant: Its persistence with suppressant and alternative fuel addition. *Chemosphere*, 2016, 154: 138-147.
- 55) CHENG, Z., et al. Characteristics of charcoal combustion and its effects on iron-ore sintering performance. *Applied Energy*, 2016, 161: 364-374.
- 56) LU, Liming (ed.). *Iron Ore: Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*. Elsevier, 2015.
- 57) GAN M. Fundamental research on iron ore sintering with biomass energy. Changsha: Central South University; 2012
- 58) GAN, M., et al. Reduction of pollutant emission in iron ore sintering process by applying biomass fuels. *ISIJ International*, 2012, 52.9: 1574-1578.
- 59) GAN, M., et al. Fundamental study on iron ore sintering new process of flue gas recirculation together with using biochar as fuel. *Journal of Central South University*, 2014, 21.11: 4109-4114.
- 60) ZHANG, J.; HE, Z.; JIN, Y. Utilisation of biomass fuel in sintering process. *Materials Research Innovations*, 2015, 19.sup5: S5-1140-S5-1143.
- 61) FAN, X., et al. Influence of charcoal replacing coke on microstructure and reduction properties of iron ore sinter. *Ironmaking & Steelmaking*, 2016, 43.1: 5-10.
- 62) JI, Z., et al. Assessment on the Application of Commercial Medium-Grade Charcoal as a Substitute for Coke Breeze in Iron Ore Sintering. *Energy & Fuels*, 2016, 30.12: 10448-10457.
- 63) MEŽIBRICKÝ, R.; FRÖHLICHOVÁ, M. Mineral phases in iron ore sinters produced with oak sawdust substitute fuel. *Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy*, 2018, 54.1: 9-20.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



Použitá literatúra

64) FINDORÁK, Róbert - FRÖHLICHOVÁ, Mária - LEGEMZA, Jaroslav - FINDORÁKOVÁ, Lenka : Thermal degradation and kinetic study of sawdusts and walnut shells via thermal analysis - 2016. In: Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Vol. 125, no. 2 (2016), p. 689-694. - ISSN 1388-6150

65) HUDÁK, Jozef - LEŠKO, Jaroslav - SEMANOVÁ, Zuzana - LEGEMZA, Jaroslav - FRÖHLICHOVÁ, Mária - FINDORÁK, Róbert : Evaluation of granulability and absorbtivity of biomass in agglomeration mixture / Jozef Hudák ... [et al.] - 2017. In: Journal of Central South University. Vol. 24, no. 10 (2017), p. 2260-2265. - ISSN 2095-2899



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

**Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513**

UMET
ÚSTAV
METALURGIE