



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH**  
**Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie**



**FRÖHLICHOVÁ, LEGEMZA, FINDORÁK, DŽUPKOVÁ**

---

**Informácie o OHaZ UMET FMMR TUKE a APVV projektoch**

**APVV projekt**

**„Zníženie energetickej a environmentálnej zát'aže  
výroby železoruďného aglomerátu  
náhradou fosilného paliva odpadnou biomasou“**



• Ústav materiálov a inžinierstva kvality



**Ústav materiálov  
a inžinierstva kvality**

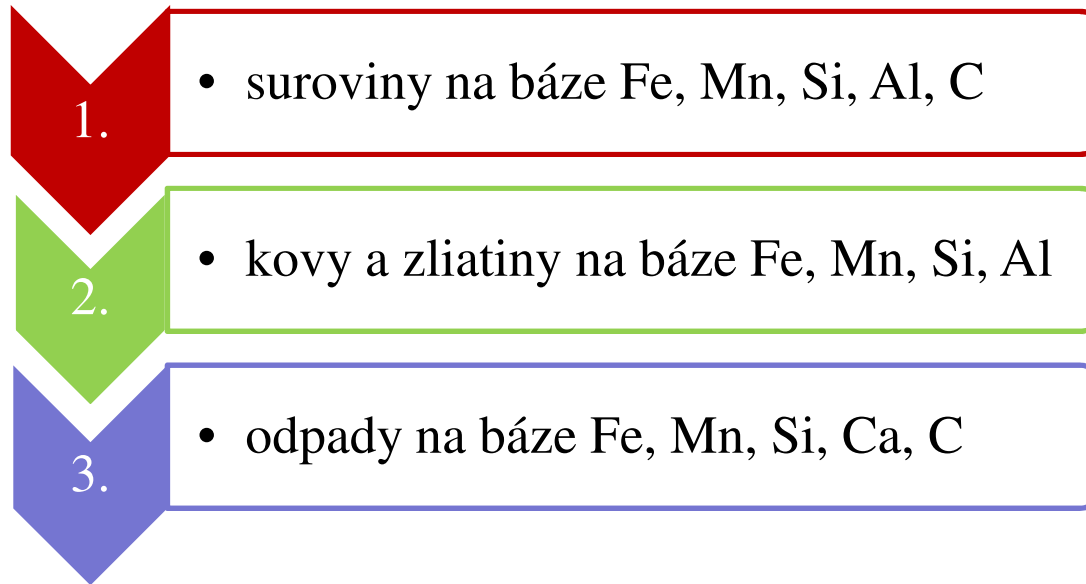
• Ústav metalurgie

**UMET**  
ÚSTAV  
METALURGIE

• Ústav recyklačných technológií



# Materiálové zameranie vo výskume



- uhlíkaté suroviny a materiály (uhlia, koksy, biomasa, elektródy)
- vstupné kovonosné materiály (rudy, pelety, aglomeráty)
- surové železo, oceľ, liatiny, ferozliatiny
- odliatky na báze Fe, Al, Cu
- druhotné suroviny (kaly, prachy, trosky)



# Oblasti pôsobenia vo výskume

## Základný a aplikovaný výskum, štúdie, vývoj, projektovanie.

1.

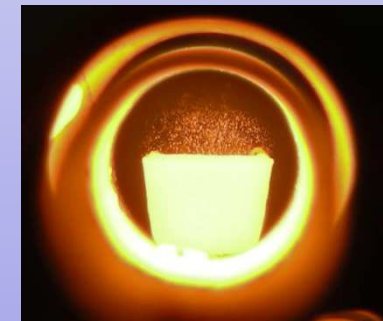
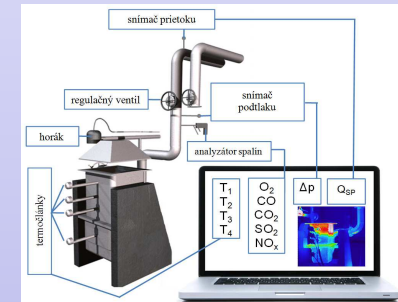
- experimentálne testovanie

2.

- modelovanie a simulovanie procesov

3.

- technologické a ekologické aspekty výroby

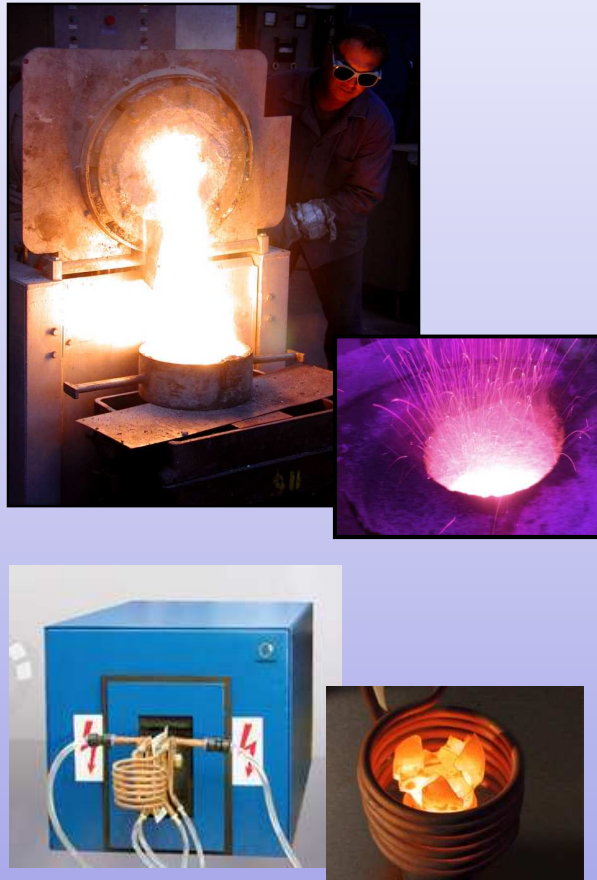


# Pece na vzdelávací a výskumný proces

indukčné pece – teploty do 1900 °C, odporové komorové pece – teploty do 1600 °C,

Tammanova pec – teploty do 1700 °C, Marshove pece – teploty do 1500 °C

Elektrické indukčné pece

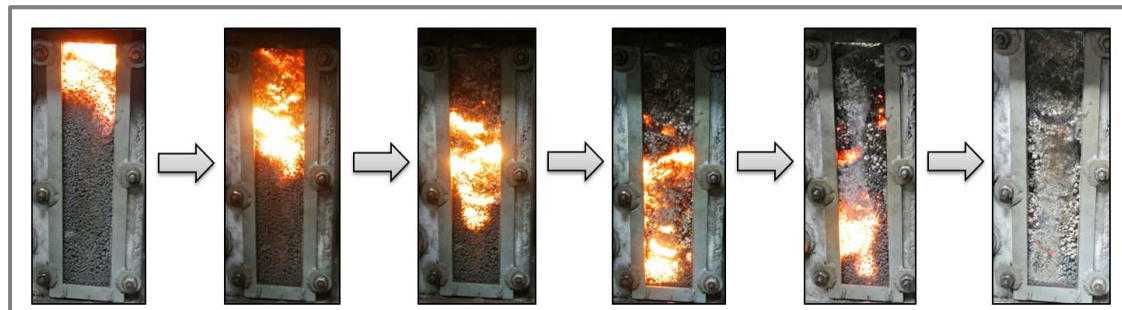
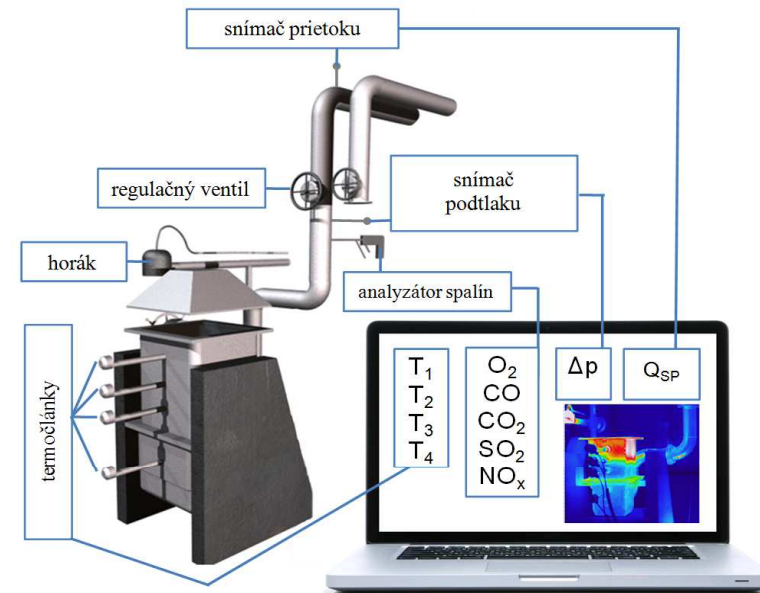
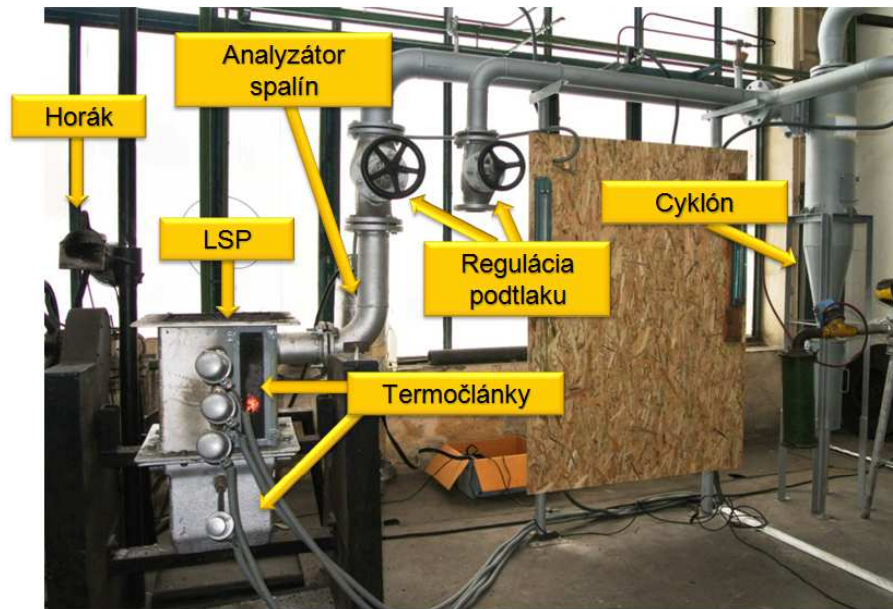


Elektrické odporové pece



# Laboratórna spekacia panvička

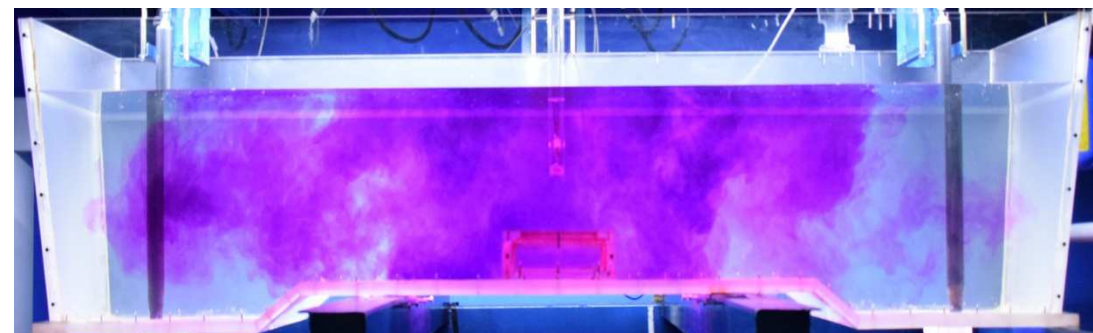
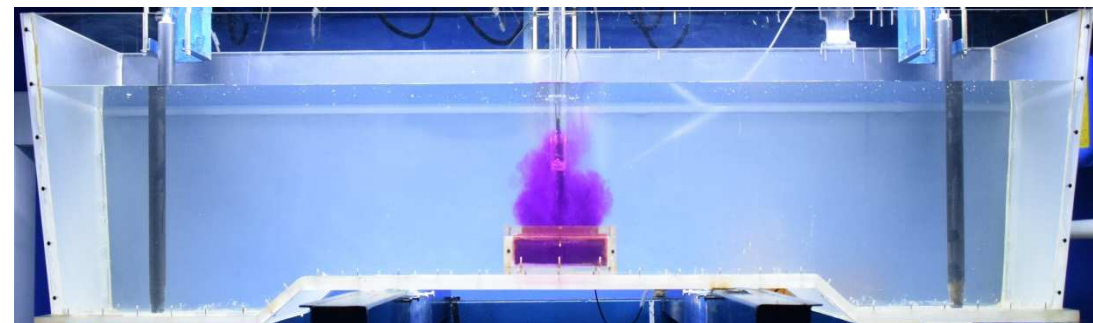
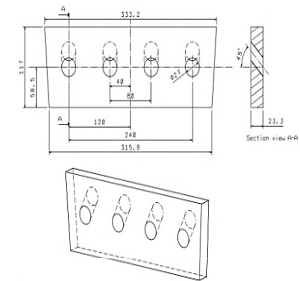
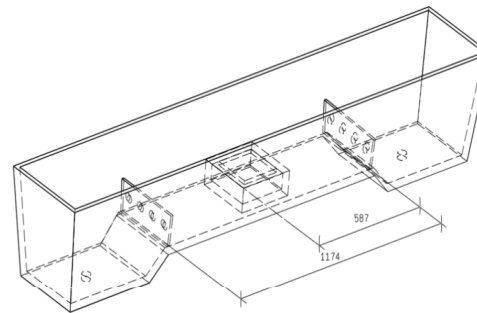
používa sa na výrobu Fe, Mn a Ca – Si aglomerátov



# Laboratory of simulation of flow processes – LSPP

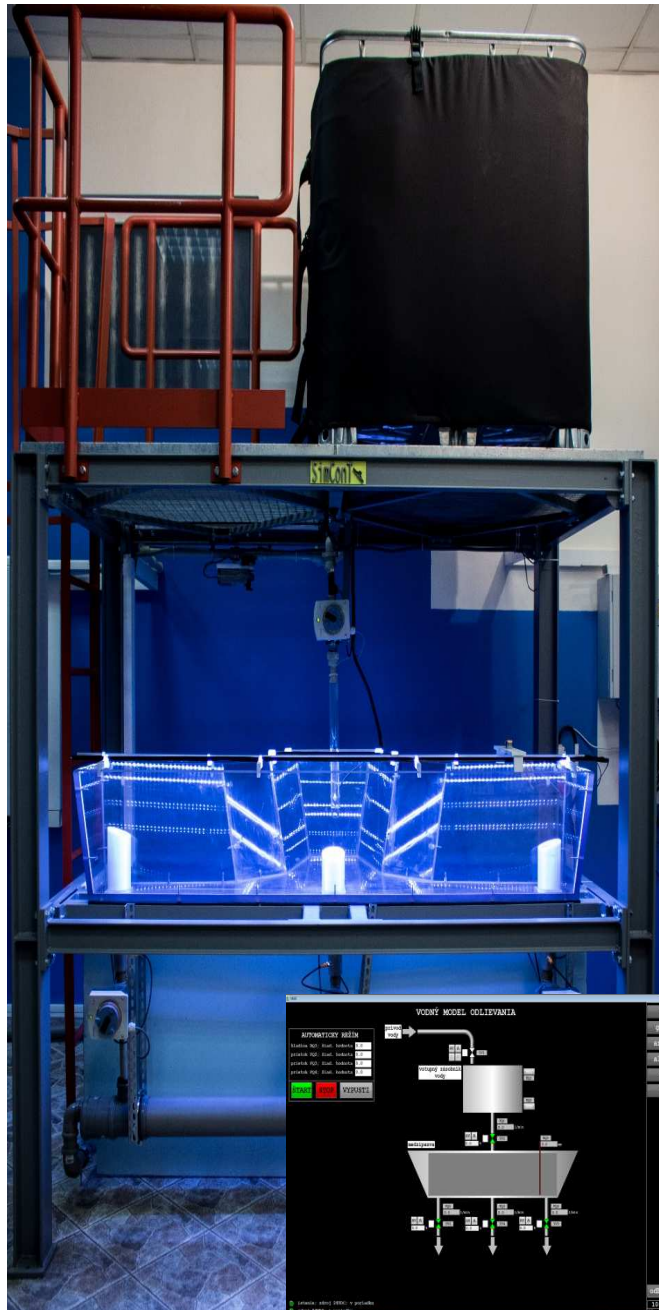
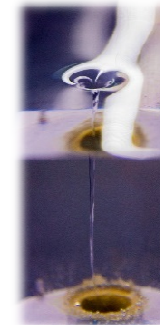
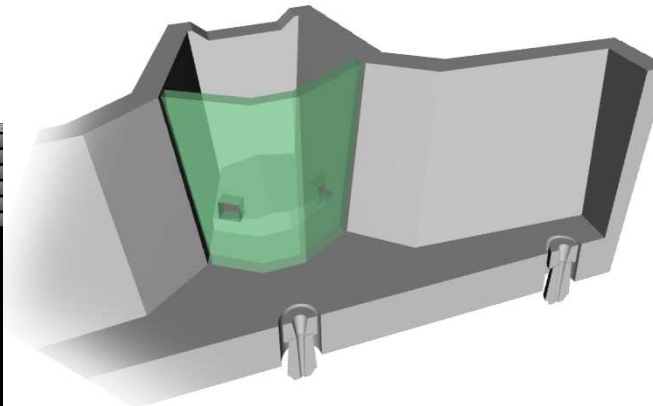
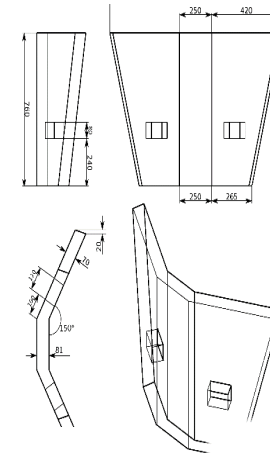
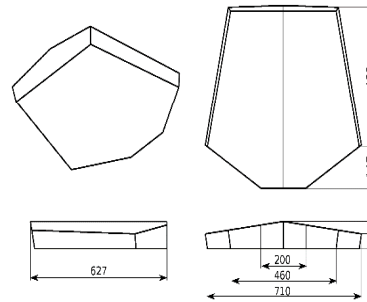
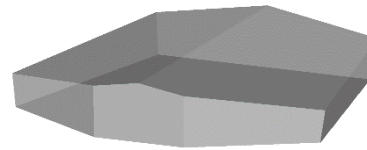
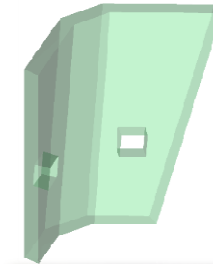
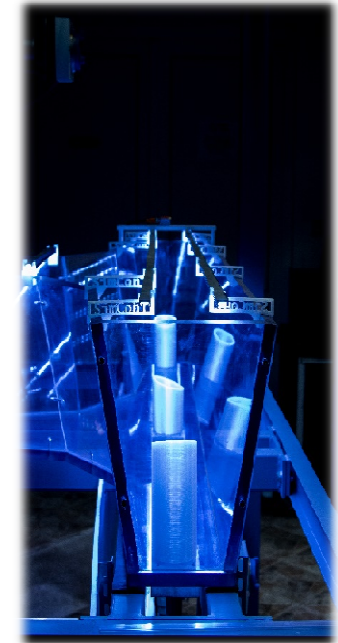
modelling of liquid steel flow processes in continuous casting since 2004

built in cooperation with U.S.Steel, Košice, s.r.o.



# SimConT

Simulation of Continuous Casting – Tundish  
Strand for simulation of liquid steel flow process in tundish  
established in 2017  
Built in cooperation with Železiarne Podbrezová, a.s.





# Laboratórium špeciálnej prípravy modelov

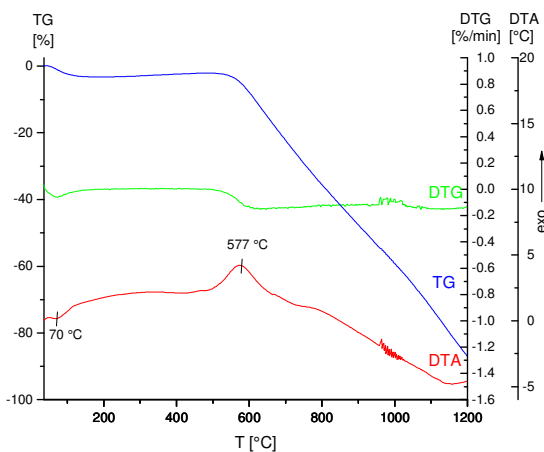
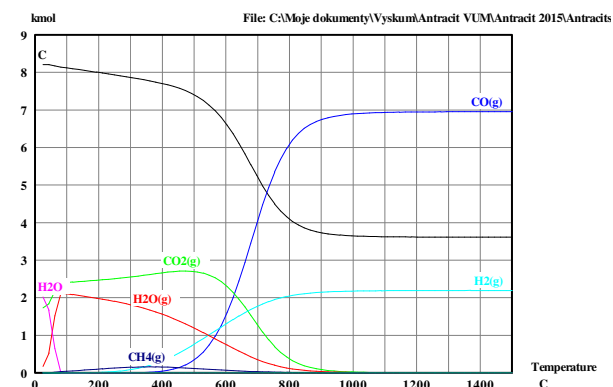
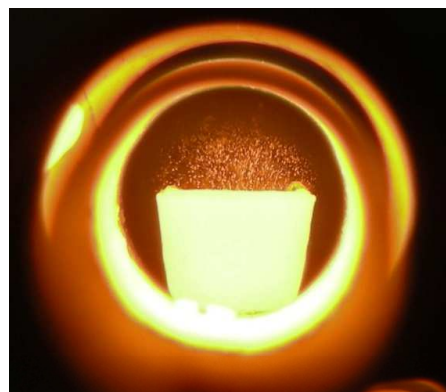


Výroba modelov fotopolymerizáciou.



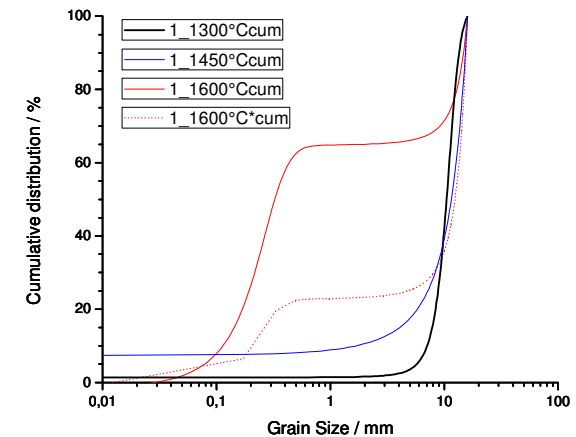
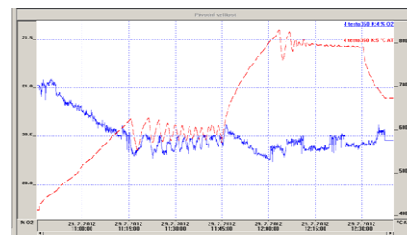
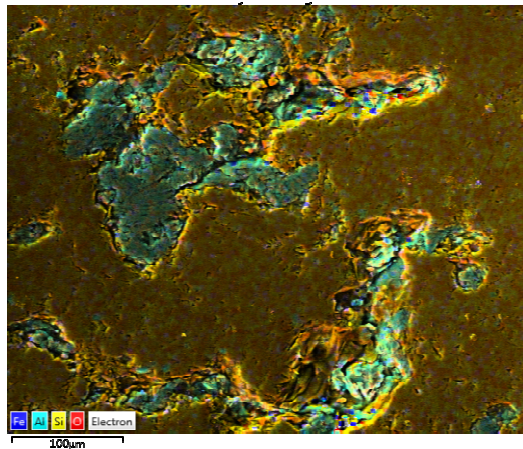
# Výskum uhlíkatých redukoviadiel

materiálový výskum redukoviadiel, termická analýza, stanovenie reaktivity,  
stanovenie macerátového zloženia, analýza mikroštruktúry



# Výskum vysokoteplotnej stability kremencov a kremeňov

materiálový výskum kremencov a kremeňov, stanovenie indexov stability,  
stanovenie fyzikálno – mechanických vlastností, analýza mikroštruktúry



# Výskum redukovateľnosti kremencov a kremeňov

materiálový výskum kremencov a kremeňov, karbotermická redukcia,  
stanovenie fyzikálno – chemických vlastností, analýza stupňov redukcie



teploty = 1650 – 1900 °C



kremenec



+ drevné uhlie

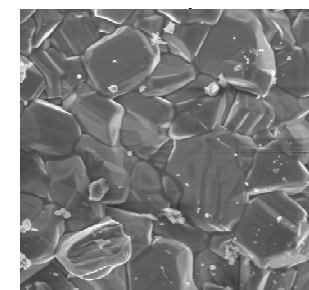


Si

+

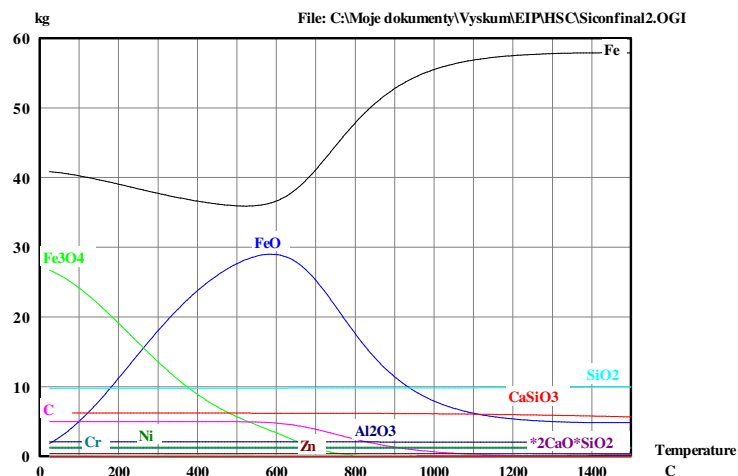
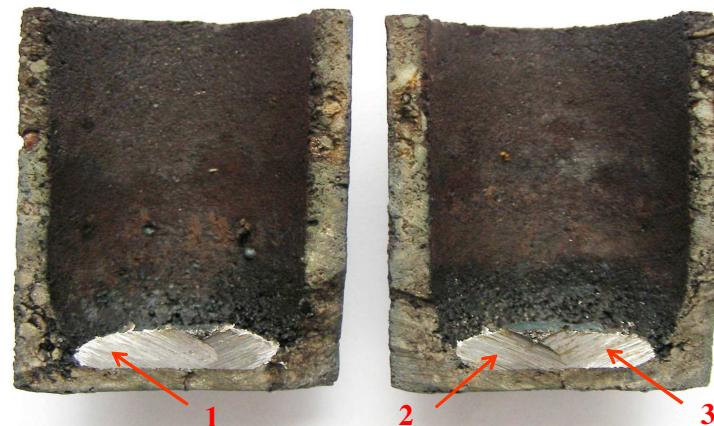


SiC



mikroštruktúra SiC

# Využitie Fe odpadov na výrobu ocelí

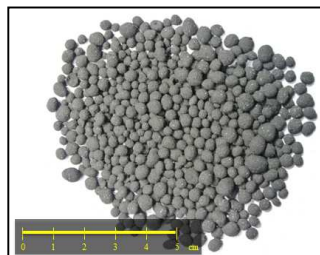


Element	Chemical analysis (wt. %)		
	1	2	3
Fe	97.05	96.80	97.12
C	0.12	0.13	0.11
Mn	0.10	0.14	0.15
Si	0.42	0.53	0.48
Ni	1.40	1.21	1.35
Cr	0.61	0.72	0.66
Mo	0.23	0.22	0.23
S	0.10	0.08	0.11
P	0.02	0.02	0.03
Zn	0.04	0.05	0.04
Cu	0.30	0.28	0.31

# Výroba Portlandského cementu z Fe trosiek



troska + vápenec



pelety



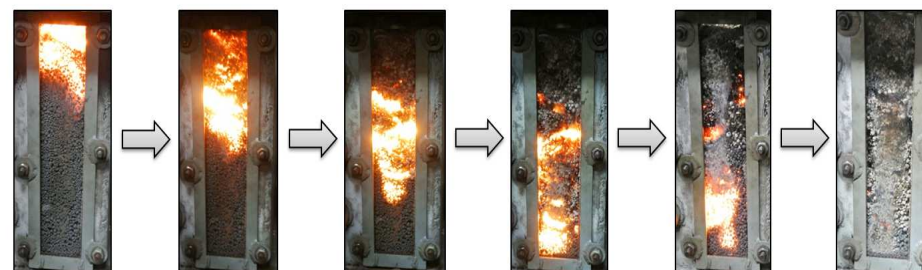
spekanie 1200 – 1400 °C



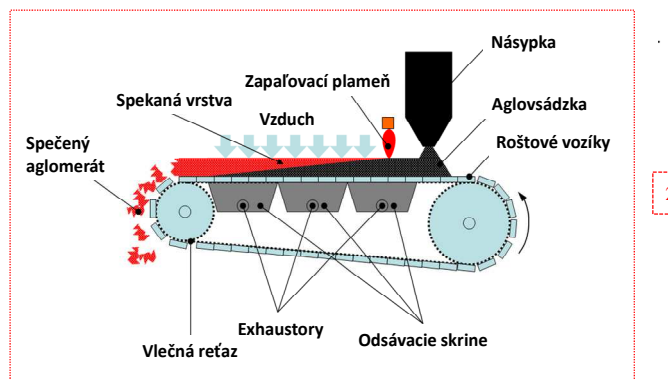
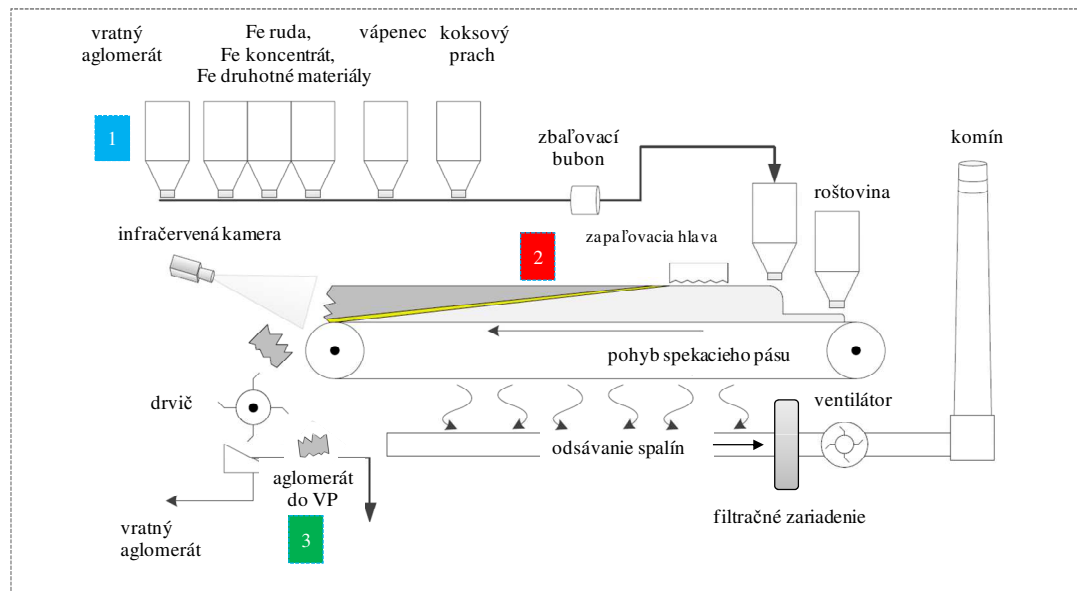
aglomerát



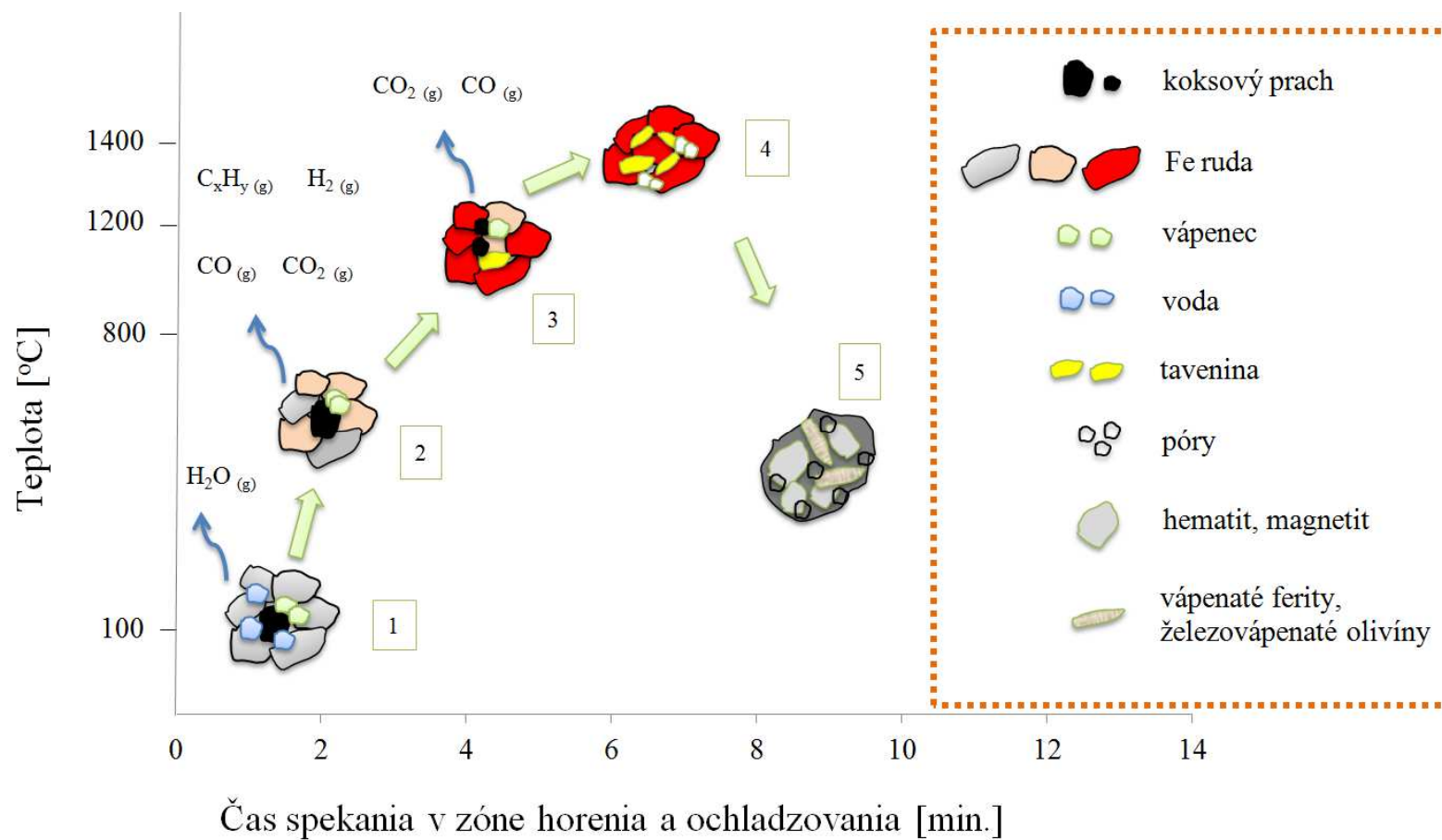
Portlandský cement



# Aglomeračný proces



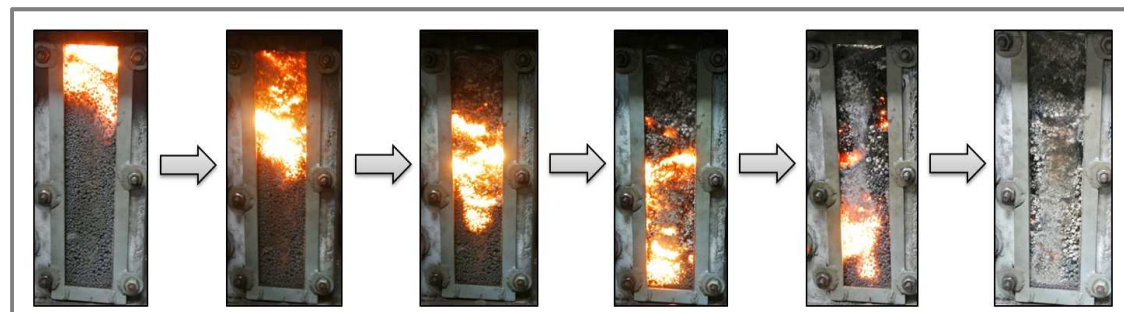
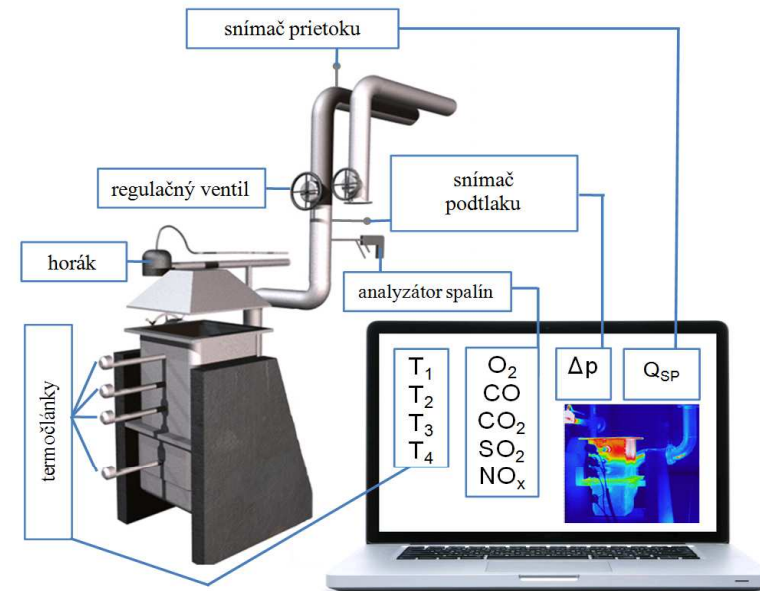
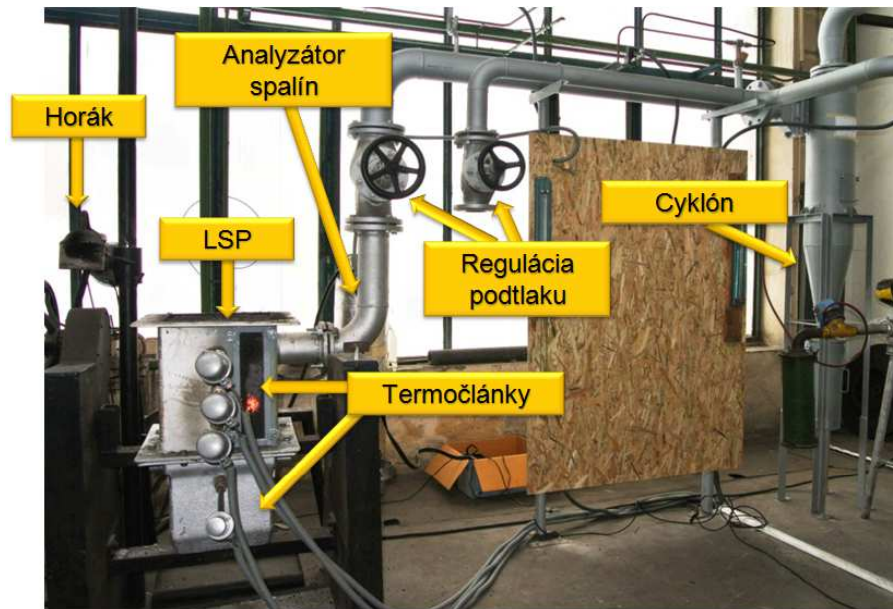
# Aglomeračný proces



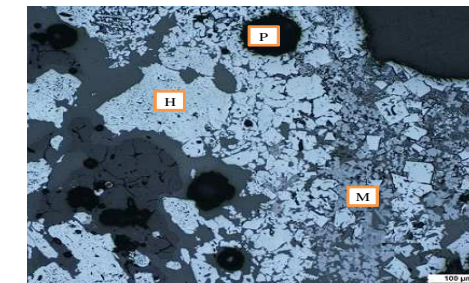
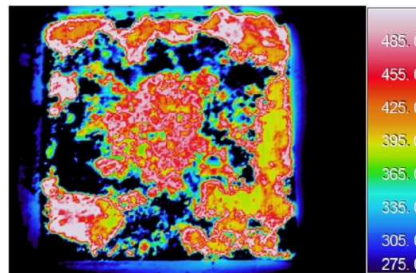
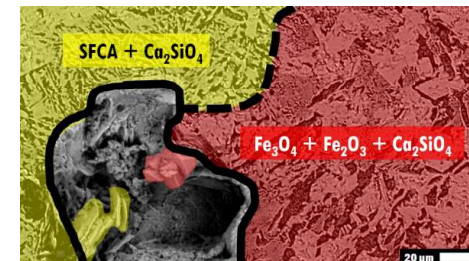
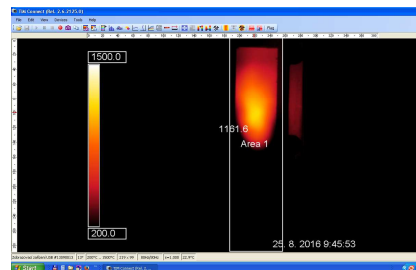
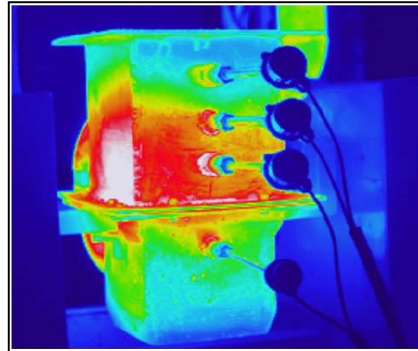
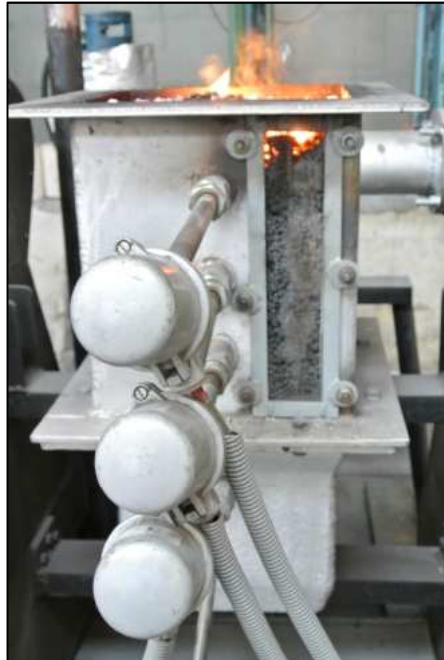


# Laboratórna spekacia panvička

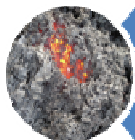
používa sa na výrobu Fe, Mn a Ca – Si aglomerátov



# Spekanie v laboratórnych podmienkach



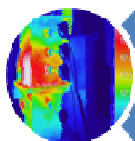
# Hlavné výskumné činnosti na LSP



modelovanie výroby rôznych aglomerátov na báze Fe, Mn, Ti, Ca



náhrada koksového prachu biomasou



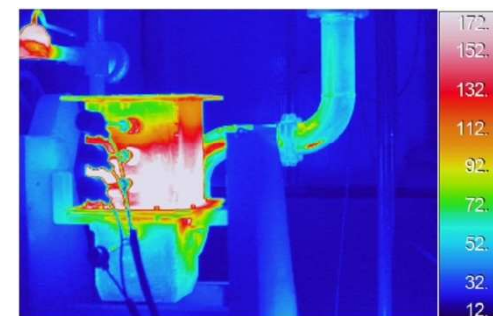
termovízne meranie, teplotný profil



analýza chemického a fázového zloženia aglomerátu, stanovenie mikroštruktúry



vyhodnocovanie technologických a ekonomických parametrov procesu





## Vplyv biomasy na aglomeračný proces a kvalitu životného prostredia

**2012 - 2015**      *základný materiálový výskum biomasy + laboratórne spekania*



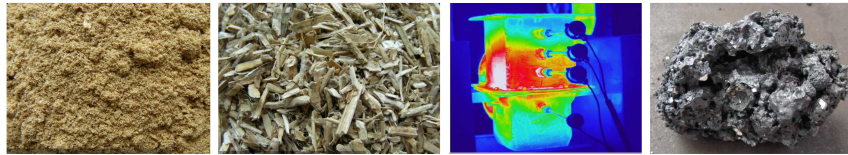
**Zníženie energetickej a enviromentálnej záťaže výroby železoruďného aglomerátu náhradou fosilného paliva odpadnou biomasou**

**2017 - 2020**      *použitie odpadnej biomasy + aplikácia do prevádzkových podmienok*

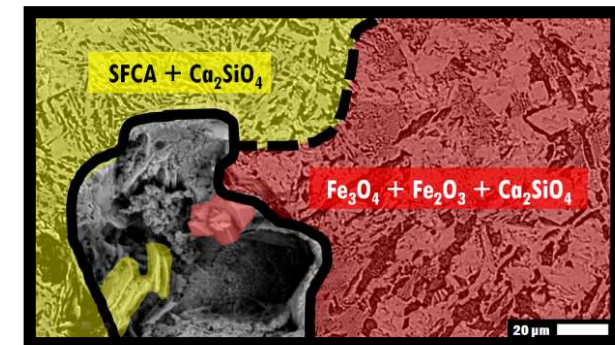
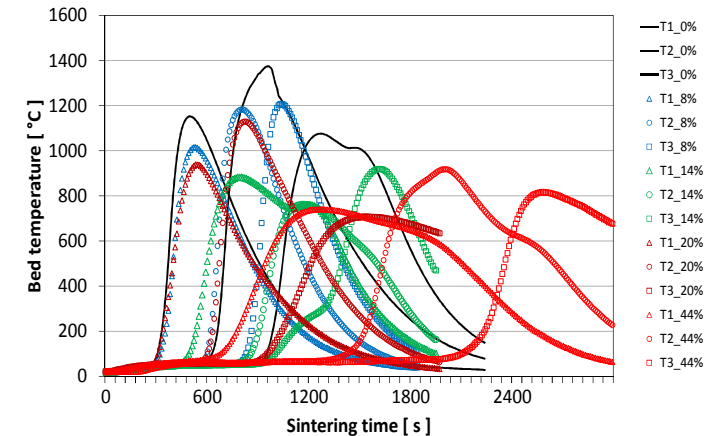
# Najdôležitejšie výsledky z výskumu biomasy v aglomeračnom procese



AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA



- náhrada množstva fosílnych palív v aglomeračnom procese odpadnou biomasou je obmedzená na úroveň cca **10 – 20 %**,
- pri takejto náhrade sa pri použití niektorých druhov biomasy znižujú emisie oxidov uhlíka, dusíka a síry o **5 – 40 %**,
- predikcia zníženia ekonomických nákladov aglomeračného procesu za použitia odpadnej biomasy je na úrovni cca **10 – 20 %**,
- vplyvom substitúcie časti prachového koksu biomasou **nedochádza** ku výraznej zmene kvality aglomerátu.

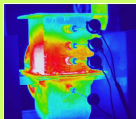
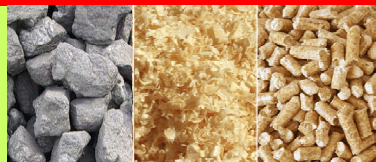


# Tvorba vedeckej monografie v súčinnosti s riešením výskumných úloh



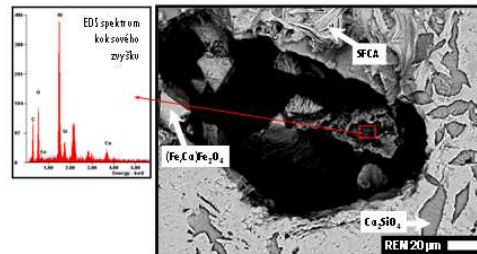
AGENTÚRA  
NA PODPORU  
VÝSKUMU A VÝVOJA

## Tradičné a alternatívne palivá v metalurgii



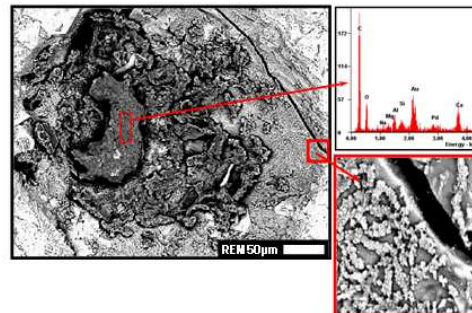
Jaroslav Legemza  
Mária Fröhlichová  
Róbert Findorák

12. Využitie biomasy pri výrobe Fe aglomerátov. | 233



Obr. 169 Pór po zhorení kokového zrna [114]

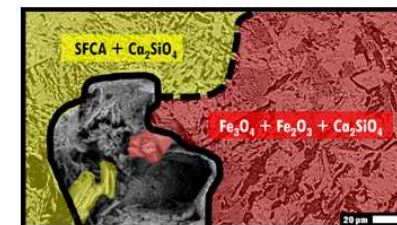
Spektrum EDS ukazuje v prípade drevouhňých zvyškov výraznú intenzitu vápnika, ktorý má vo forme CaO v popolovinách prevalu, obr. 170. Z výsledkov analýzy popola jednotlivých druhov biomasy vyplýva, že popol dreveného uhlia má výrazný bazický charakter, obsah CaO je cca 30 – 40 %, tab. 39. Zhorené zrná dreveného uhlia zanechávajú v matici hustú nepravidelnú krystalickú sieť vápna.



Obr. 170 Pór po neúplnom zhorení dreveného uhlia [114]

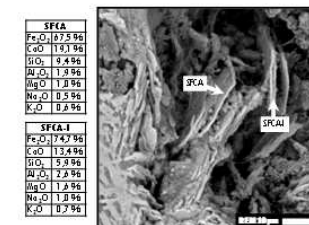
12. Využitie biomasy pri výrobe Fe aglomerátov. | 234

Na väčšom okolí póru po zhorenom drevenom uhli sú dobre rozoznatelné dve oblasti s pravidelným fázovým zložením, ktoré vznikli po stuhnutí železito - vápenatej, resp. železitej taveniny, obr. 171. Hranica oboch zón sa stretáva v póre, okolo ktorého nie je žiadna obruba signalizujúca vplyv paliva na fázové zloženie.



Obr. 171 Okolie póru po zhorení dreveného uhlia [114]

Časť popola po zhorení paliva je asimilovaná okolitou taveninou a prispieva k tvorbe mimerálnych fáz. Silikoferty vápnika a hlinika, ktoré boli v blízkosti horiaceho drevouhňového zrna obsahovali okrem základných zložiek aj oxidy sodíka a draslíka, obr. 172. Najmä K<sub>2</sub>O vystupuje v ostatných fázach zriedkavejšie.



Obr. 172 Distribúcia zložiek z popola v mineraloch [114]

Po zhorení orechových škrupín zostáva v aglomeráte popol v typickej organickej sieťovej štruktúre. Toto usporiadanie pravdepodobne kopíruje rozdelenie popolovín v surovom palive. V okolí sa opäť objavuje hlavne lamit, kalciummagnetit a vápenaté ferry, obr. 173.

# Nový APVV projekt 2017 – 2020 (APVV-16-0513)

- úplná náhrada prachového koksu v aglomerácii biomasou nie je možná



**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 fytoomasy, lignínové zložky**

# Nové smery vo využívaní biomasy v metalurgii

- tepelná úprava rastlinnej a drevnej biomasy



**projekt ULCOS**

- výroba kompozitných biopalív z odpadnej biomasy



**projekt RENEPRO**

- úprava fyzikálnych vlastností biomasy

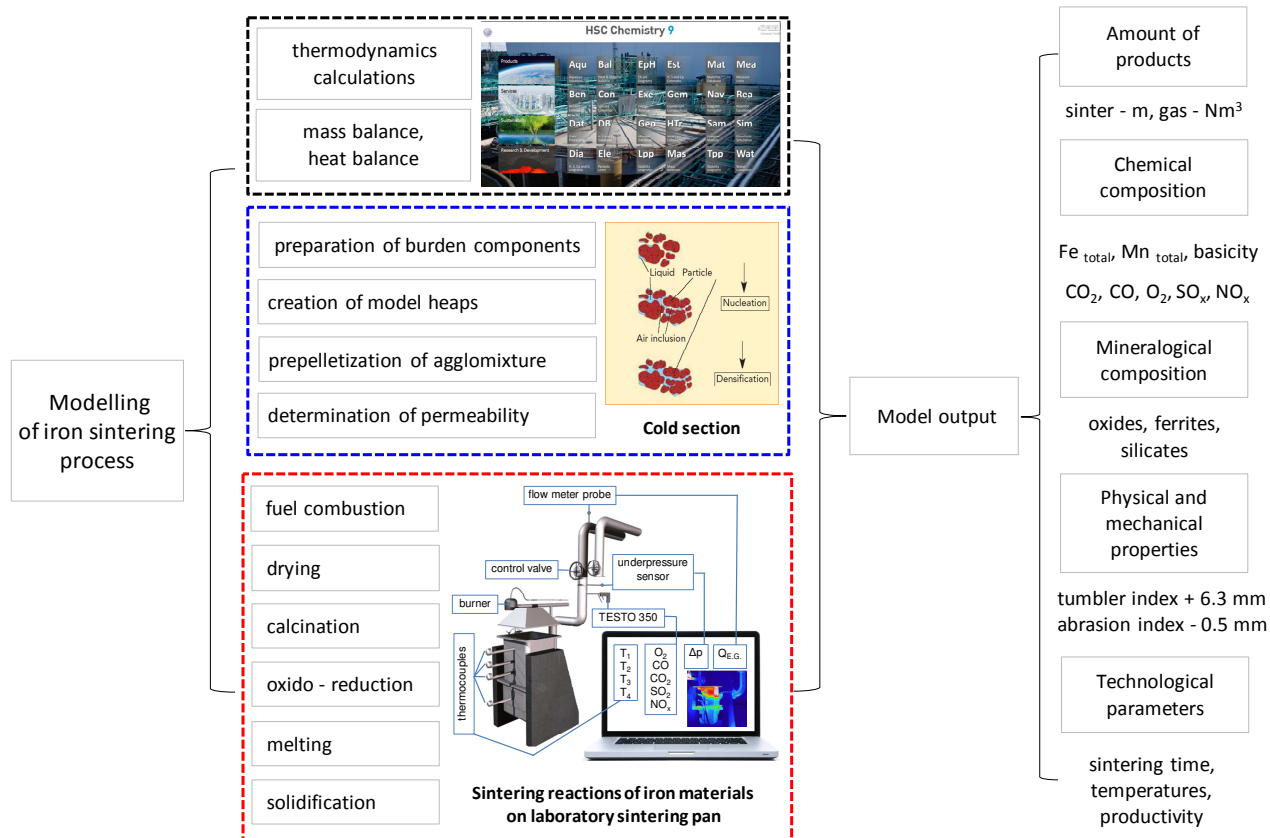
- simulácia podmienok horenia biomasy pre konkrétny metalurgický proces



**projekt IEA COMBUSTION**



# Termodynamický model

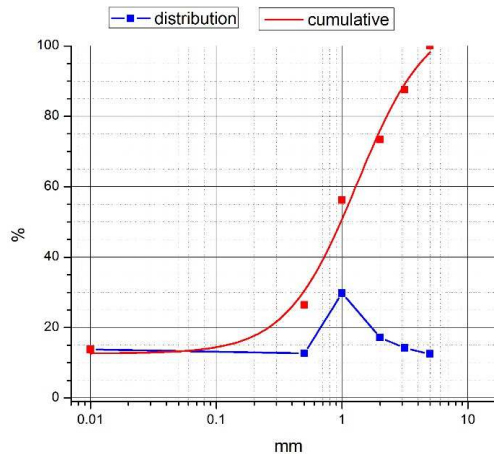


tvorba vlastného originálneho modelu

# Optimalizácia metódik na dezintegráciu a kompaktáciu biomasy



Dezintegrátor

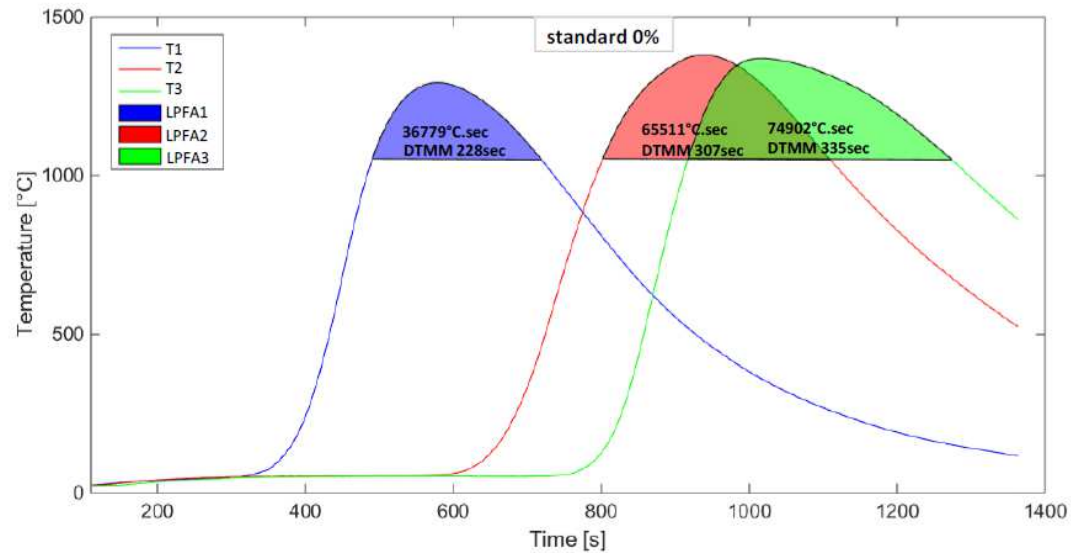


Lis

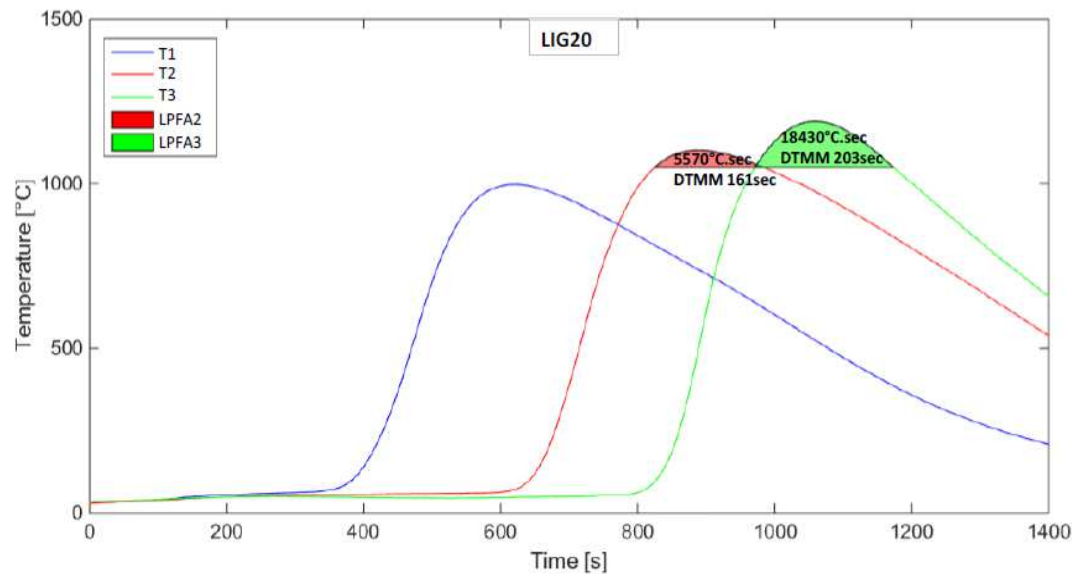


Pred samotným zbaľovaním boli optimalizované metodiky zamerané na úpravu fyzikálnych vlastností biomasy - dôležité z hľadiska prípravy biomasy ako dôležitého komponentu aglomeračnej vsádzky - hlavne čo sa týka dosiahnutia požadovanej zrnitosti a homogenity.

# Teplotné profily s určenými LPFA a DTMM pre spekania

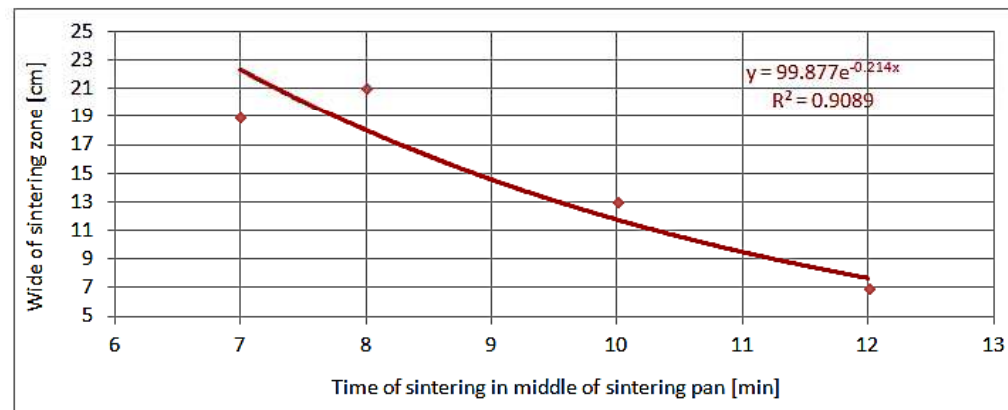
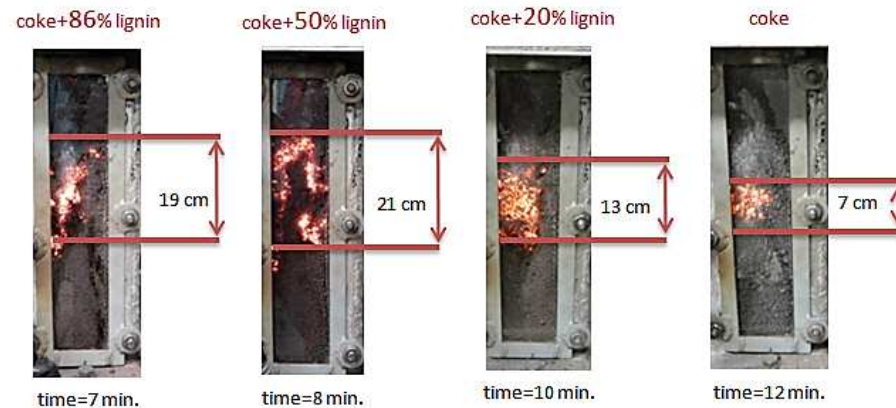


použitie 100 % koksu



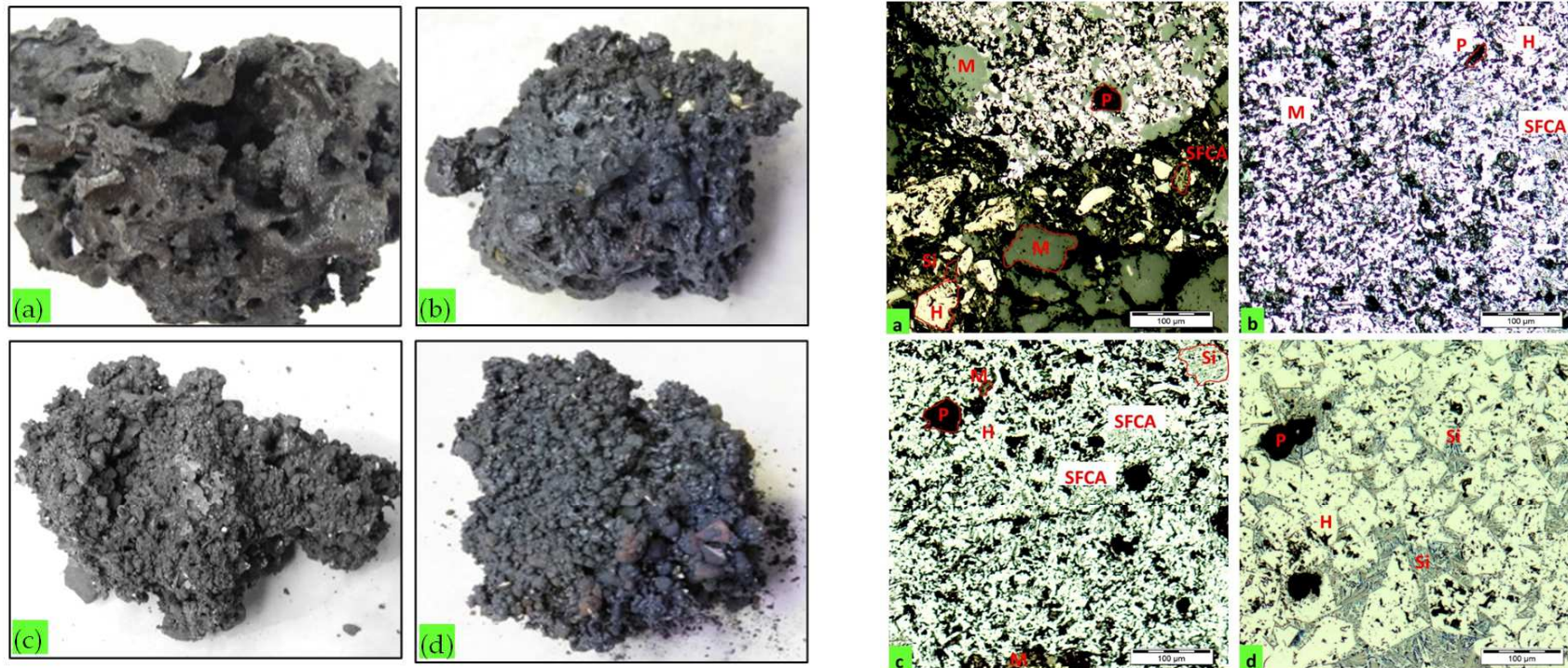
použitie 20 % ligninu

# Charakteristika zóny spekania pri výrobe aglomerátov za použitia ligninu



Lignin horí rýchlejšie ako koks a zóna horenia v spekanej vrstve je výrazne širšia pri vyššej substitúcii koksu ligninom v dôsledku jeho vyššej pórovitosti a reaktivity.

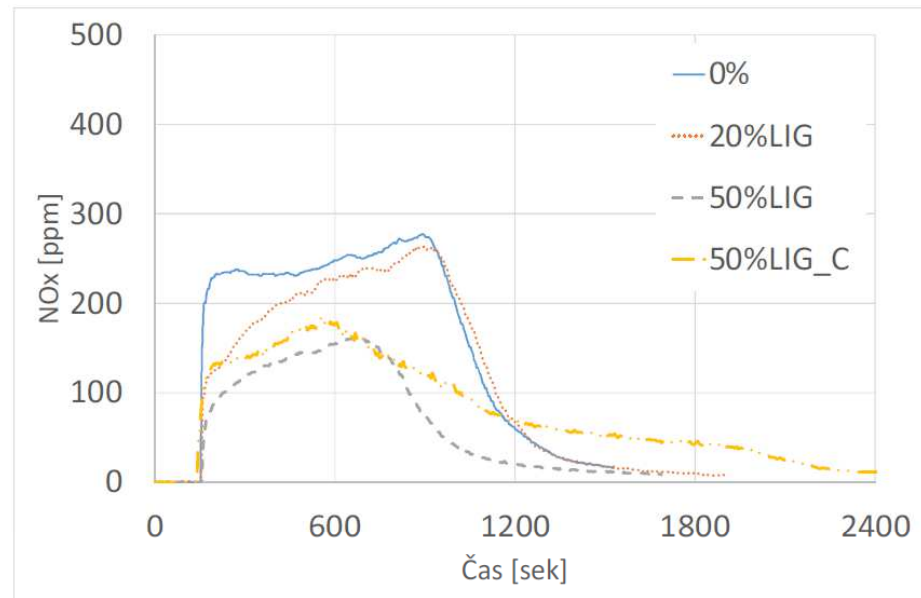
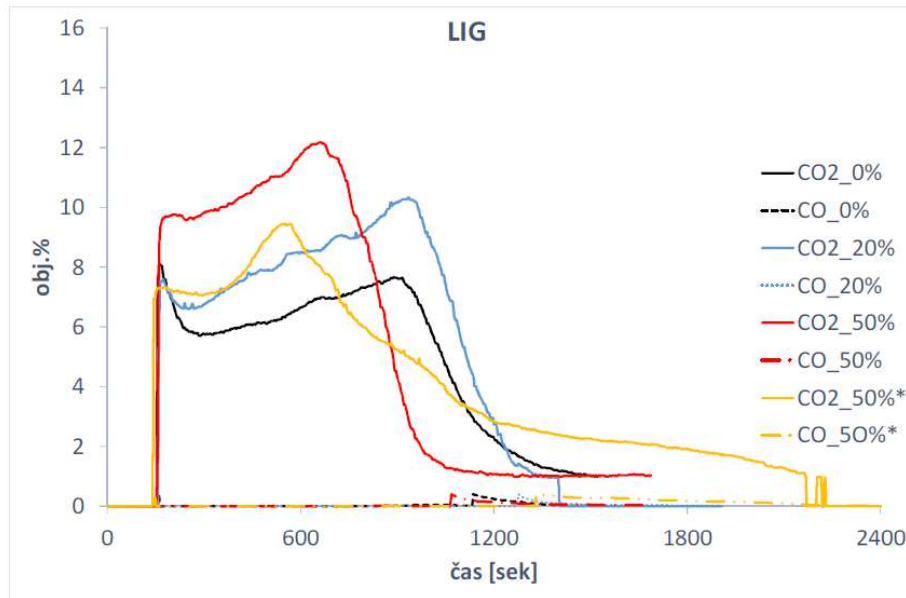
# Makro a mikroštruktúra aglomerátov vyrobených s náhradou koksu ligninom



(a) 0 % náhrada, (b) 20 % náhrada, (c) 50 % náhrada, (d) 86 % náhrada

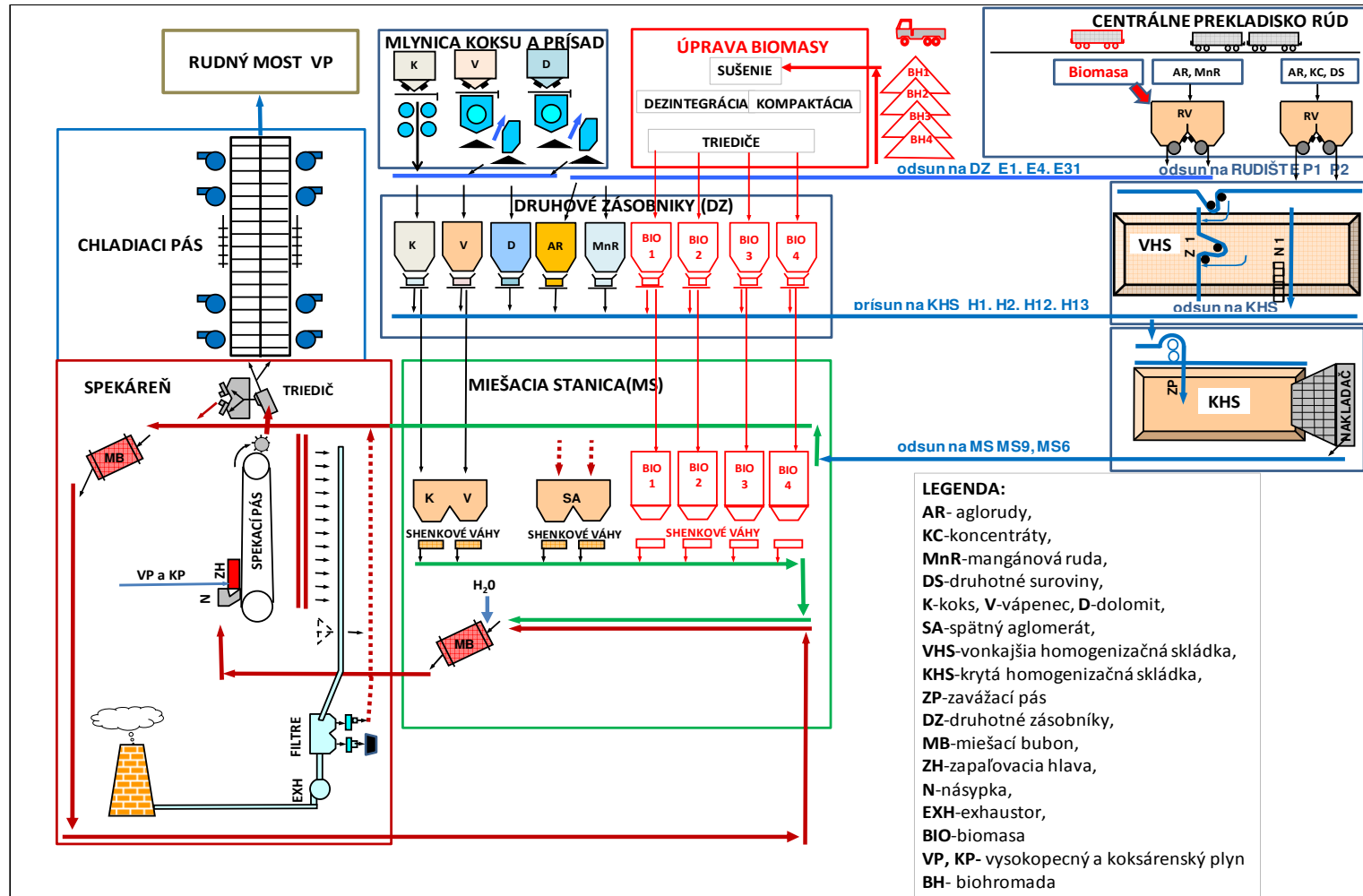
Pri aglomerátoch vyrobených so substitúciou koksu upravenými ligninovými peletami bola pozorovaná jemnozrnejšia a heterogénne pórovitá štruktúra, pričom so zväčšovaním substitučného stupňa sa zvyšovala pórovitosť aglomerátu.

# Emisné profily pri výrobe aglomerátov za použitia biomasy - ligninu



Na základe laboratórneho výskumu ligninu je možné pre technológiu výroby aglomerátu v reálnej prevádzke predikovať až **50 % náhradu** prachového koksu týmto druhom biomasy, pričom je možné pre výrobu aglomerátu predikovať jeho štandardné vlastnosti (chemické a mineralogické zloženie, fyzikálne a mechanické vlastnosti) a zlepšenie niektorých technologických a ekologických parametrov (napr. zvýšenie výrobnosti a zníženie oxidov síry a dusíka).

# Návrh technologickej linky v prevádzkových podmienkach



# Návrh technologickej linky v prevádzkových podmienkach

- je potrebné pripraviť v prevádzke technologický a ekonomický model, na základe ktorých bude možné zvoliť optimálny druh biomasy
- bude potrebné pripraviť a realizovať metodiku na skladovanie resp. zabezpečenie dlhodobu spoľahlivej dodávky biomasy
- bude potrebné dovybaviť prevádzku úpravy, predpeletizácie a spekacieho pásu doplnkovou meracou a regulačnou technikou (váhy s vyššou citlivosťou, analyzátory vlhkosti, chemického zloženia, množstva a teploty spalín na viacerých miestach spalinovodu), on–line meranie základných technologických parametrov a sofistikovanejšie riadenie procesu spekania (pružnejšia zmena rýchlosti presávaného vzduchu a rýchlosti spekacieho pásu na základe analýzy chemického zloženia – CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub> spalín a teploty spalín)
- veľmi dôležité je aj dovybavenie prevádzky spekacieho pásu meracími modulmi na obsah uhl'ovodíkov a vodnej pary



# Monografia „Biomasa v aglomeračnom procese“

R. FINDORÁK, M. FRÖHLICHOVÁ, J. LEGEMZA

## Biomasa v aglomeračnom procese



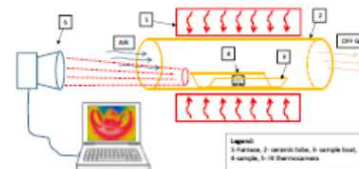
Technická univerzita v Košiciach,  
2020, počet strán 127

59

v tomto kroku determinovaná na 368°C. Horenie prchavých zložiek bolo v ďalšom sprevádzané dvoma malými pikmi do 420°C na DTG zázname. S nárastom teploty ohrevu vzorky LiG sa začína prejavovať exotermický efekt z horenia tuhého uhlíka s dvoma maximami, a to pri 701°C a 742°C. Proces horenia v týchto po sebe nadväzujúcich krokoch začína iniciálnou teplotou 666°C a končí pri 751°C. Maximálna reakčná rýchlosť bola pre túto oblasť horenia tuhého uhlíka stanovená na 4,3% min<sup>-1</sup> pri teplote 742°C. Pri porovnaní TGA záznamu biomasy a koksového prachu môžeme pozorovať rozdiely v teplotných intervaloch uvoľňovania ľahoty. Koks vykazuje intenzívny úbytok ľahoty v dôsledku horenia tuhého uhlíka, ktorý je tu zastúpený majoritne. Prítomné zložky prchavej horľaviny koksu boli uvoľňované pri vyšších teplotách oproti biomase v dôsledku toho, že pri výrobe koksu resp. karbonizácii uhoľnej vsádzky dochádza k uvoľňovaniu predovšetkým nízkoprchavých zložiek z jednotlivých typov zmesných uhlí. Rozdiely TG kriviek meraných vzoriek pri rovnakej rýchlosti ohrevu v oxidáčnej atmosfére potvrdzujú vyššiu reaktivnosť testovanej biomasy vzhľadom na jej štruktúrnu stavbu a zloženie. Zbytkové obsahy ľahoty korešpondujú z množstvom stanoveného obsahu popola, ktorý je do 1100°C pomerne stabilný.

### C.2.5.2. Horenie vybranej biomasy v podmienkach HTF

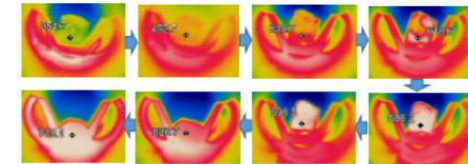
Pre účely štúdia horenia biomasy boli taktiež realizované experimenty termického namáhania s využitím termovízneho pozorovania vzorky. Laboratórne experimenty boli vykonané podľa nasledujúcej schémy zapojenia vyobrazenej na Obr.39 Vzorka ligninovej pelaty (LiG) bola umiestnená v horizontálnej rúrovej peci (HTF-horizontálna rúba fúrnacej), ktorá bola predohriata na 600°C. Zmena teplotného profilu vzorky bola zaznamenávaná v reálnom čase pomocou termokamery ThermoIMAGER TIM 400 [146] a softwaru TTM Connect [147] pre online zobrazovanie a nahrávanie.



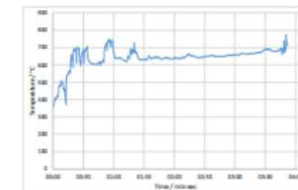
Obr.39. Schéma experimentálnej zariadenia

60 |

Detailný pohľad na zmenu teploty vzorky a jej degradáciu v čase vyjadrujú nasledujúce obrázky (Obr.40, 41). Bezprostredne po vložení vzorky do vyhriatej pece nastáva pôsobenie tepelného zdroja a počas pomerne krátkeho časového intervalu (do 30sec) bol zaznamenaný nárast teploty vzorky nad teplotu vyhriatej pece. Záznam z infračkamej ponika zreteľne obraz jednotlivých teplotných polí na súmatej ploche, kde sa prejavuje jednak spôsob prenosu tepla, ako aj exotermický efekt z horenia ľahoty a jej degradácie resp. termickej stability. Pri experimentoch bol pozorovaný jav uvoľňovania vznikajúcich plynných spodin horenia, ktoré, tak ako bolo detegované TGA analýzou, prebieha v širokom intervale. Detekcia iniciálnej teploty tu v tomto prípade nebola možná vzhľadom na metódu termického namáhania t.j. termické namáhanie v predom vyhriatej peci.



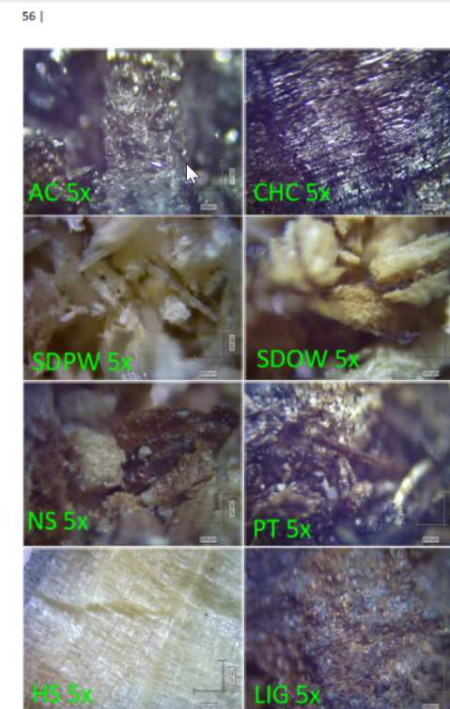
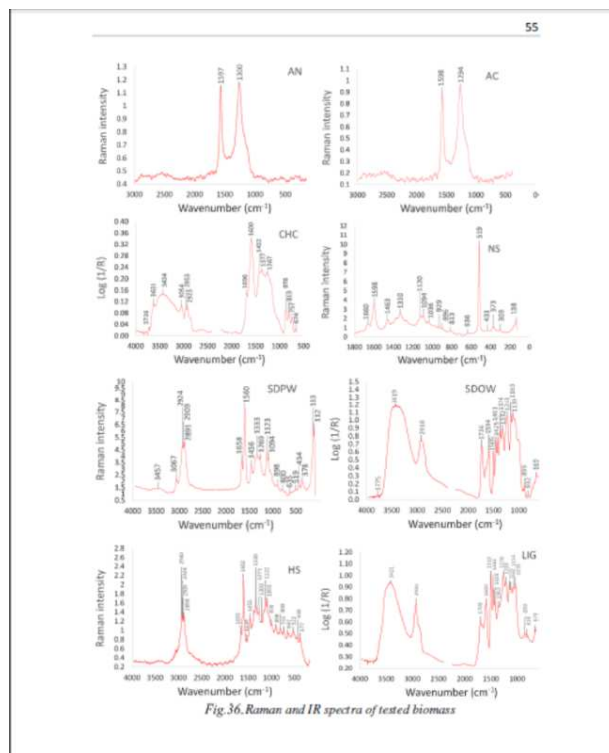
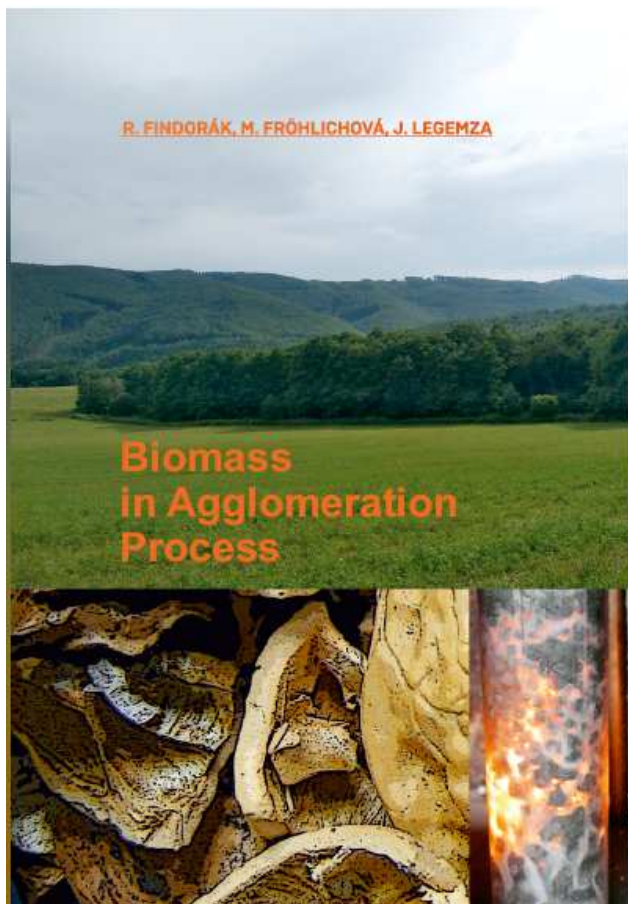
Obr.40. Analýza degradácie vzorky LiG v HTF peci pomocou TIM 400



Obr.41. Záznam z merania teploty povrchu vzorky pomocou TIM400

Metóda termovízneho monitoringu počas tepelného namáhania môže prispieť k objasneniu správania sa testovaných druhov biomasy za rôznych podmienok ohrevu (teplota, atmosféra, a pod.) vzhľadom na on-line monitoring, tak dodaných produktov pre spaľovací proces, ako aj synteticky pripravených zmesných palív s dôrazom na

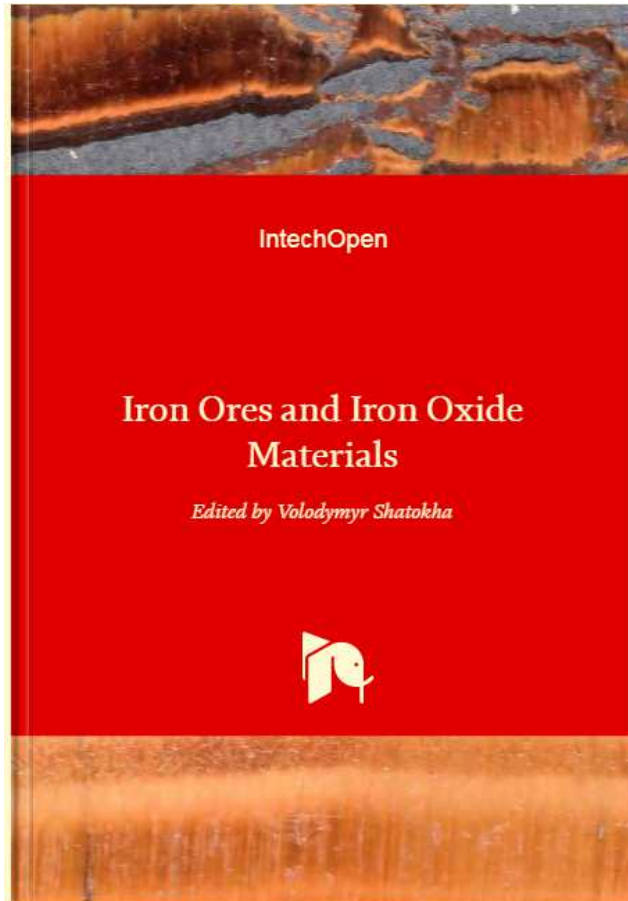
# Monografia „Biomass in Agglomeration process“



Akademické nakladatelství CERM, Brno,

2020, počet strán 131

# Kapitola v monografii „Iron Ores“



## Chapter

### Advances in Sintering of Iron Ores and Concentrates

Jarošlav Legemza, Róbert Findorák, Mária Fröhlichová and Martina Džupková

#### Abstract

Chapter "Sintering of iron ores and concentrates" is focusing on the study of theoretical, thermodynamic and experimental results in the production of sinters from iron ores and concentrates. The authors of the chapter have long been interested with the production of sinter from iron ores and have recently also focused on the use of biomass as a substitute for a part of coke breeze in the production of iron sinter. Important characteristics of the chapter include the characteristics of iron ores and concentrates used to produce sinter including physico-chemical, mineralogical and metallurgical properties. Predicting the influence of the properties of iron ores and concentrates on the final quality of the sinter and on the production of pig iron is another part of the study. These properties are a key factor in achieving the highest possible agglomerate quality for pig iron production. The sintering process requires mathematical and physical modeling. For this reason, the authors created thermodynamic models of sintering including material-heat balance of sinter production. In the final part of chapter is the use of traditional and alternative carbonaceous fuels in the production of sinters, mainly in the context of replacement of coke breeze with biomass.

**Keywords:** iron ore, iron concentrate, sintering, coke, biomass, modeling

#### 1. Introduction

Iron ores are very important not only in the production of pig iron in blast furnace, but it also in the production of sinter. These are mainly fine-grained iron ores and concentrates. The sinter is a basic input material for the production of pig iron in the blast furnace and plays an important role in the integrated metallurgical cycle. It is produced by high-temperature sintering of fine iron ore, iron ore concentrates and other ferrous materials (e.g. secondary materials from iron and steel production). The main criterion of the sintering process is the quality produced sinter while maintaining the ecological nature of the production.

#### 1.1 Characteristics of iron ores and concentrates used to produce sinter

##### 1.1.1 Physical, chemical, mineralogical and metallurgical properties

Iron ore is very important for iron and steel industries. It is therefore elementary for the production of pig iron in blast furnace. Almost all (98%) iron ore is used in

Advances in Sintering of Iron Ores and Concentrates  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.94091>

Type of fuel	CS [%]	Photograph of sinter	Sintering zone	Sinter characteristic	Ecological aspects
Coke sulfate	20			Standard qualitative parameters	Lower emissions of CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>
Coke sulfate	44			Low volume of melt, unacceptable qualitative parameters	Lower emissions of SO <sub>2</sub>
Biomass sulfate	8			Standard qualitative parameters	Lower emissions of CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>
Biomass sulfate	20			Low volume of melt, unacceptable qualitative parameters	Lower emissions of CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>
Net shale	8			Standard qualitative parameters	Lower emissions of NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>
Net shale	20			Standard qualitative parameters	Lower emissions of NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>
Net shale	50			Higher inhomogeneity, standard qualitative parameters	Lower emissions of CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>
Lignite	20			Standard qualitative parameters	Lower emissions of NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>
Lignite	50			Low volume of melt, worse qualitative parameters	Lower emissions of CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>
Lignite	84			Low volume of melt, unacceptable qualitative parameters	Lower emissions of CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>

CS = coke substitution.

Table 1.3. Characteristics of sintering of iron materials with biomass.

Advances in Sintering of Iron Ores and Concentrates, IntechOpen London, 2020, počet strán 25



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH**  
**Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie**



**ĎAKUJEME ZA POZORNOSŤ**

---