

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

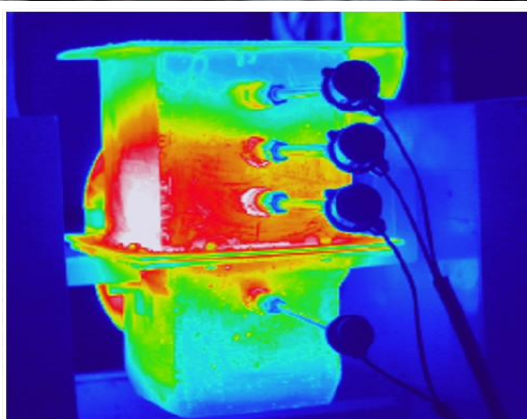


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

Číslo projektu : APVV-16-0513

Doba riešenia: 1.7. 2017 – 30.06.2020

2. časť – r. 2018



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

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



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



Štruktúra 2. časti projektu (r. 2018)

- komplexná materiálová analýza nového druhu biomasy - **lignin**
- termodynamické štúdium horenia biomasy
- štúdium kompaktácie a dezintegrácie vybraných druhov biomasy - **lignin**



Komplexná materiálová analýza nového druhu biomasy



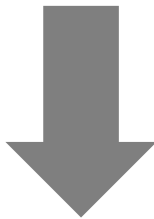
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

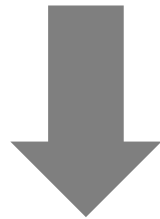
UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Biomasa - lignin

- **lignin** – resp. technický hydrolizovaný lignin



je vedľajší produkt vznikajúci pri výrobe etanolu destiláciou dreva



výroba „**Biomass pellets**“



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

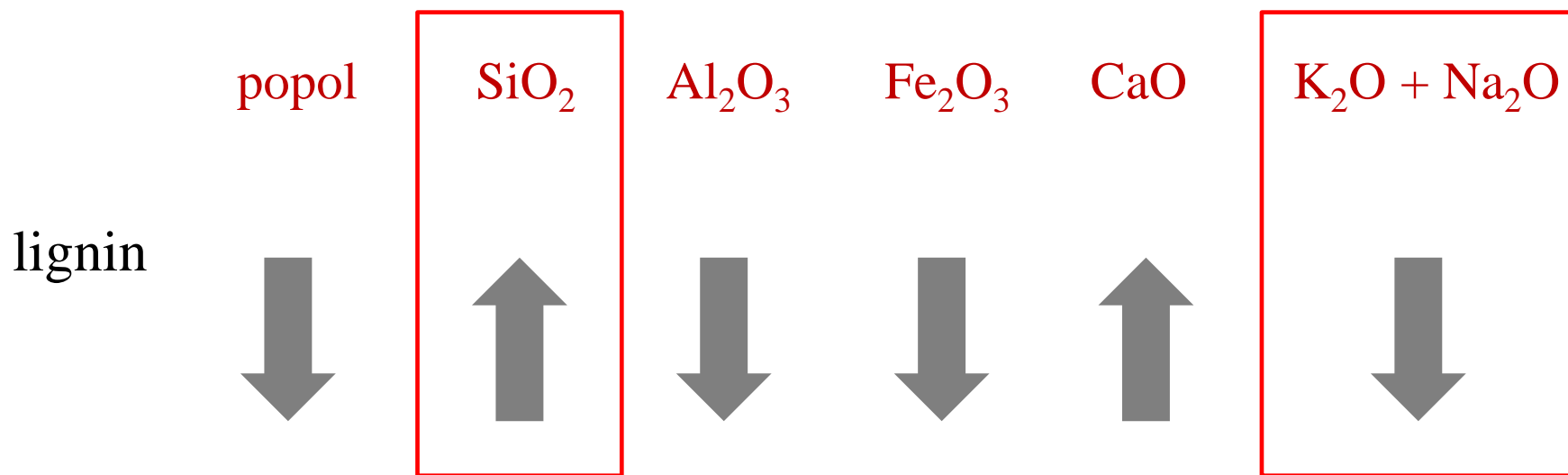
Porovnanie – lignin vs prachový koks

Fuel	Proximate analysis [wt.%]				Ultimate analysis [wt.%]					
	H ₂ O (W)	Ash (A)	Volatile (CV)	Fixed carbon (C _{FIX})	C	H	O	N	S	Caloric value [MJ/kg]
Lignin	8,6	3,4	67,90	20,1	62,9	5,75	27,60	0,2	0,15	23,14
Coke dust	5,5	12,10	1,50	80,9	85,4	0,30	0,60	1,30	0,30	28,16



Chemické zloženie popola - lignin vs prachový koks

Sample	Content of ash [%]	Chemical composition [wt %]							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Lignin	3,4	63,99	8,09	4,35	0,3	13,53	1,35	1,40	1,97
Coke breeze	12,1	43,48	26,19	14,59	0,28	4,60	1,83	2,85	1,01



Fázové zloženie - lignin vs prachový koks

Identified phase composition		Ash 550°C lignin	Ash 850°C coke
Chemical formula	Mineralogical name	content [wt%]	content [wt%]
SiO ₂	Quartz	53.2	16.1
CaSO ₄	Anhydrite	5.6	8.2
Fe ₂ O ₃	Hematite	0.4	20.8
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Oligoclase	21.9	-
(Ca,Na) ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Si,Al) ₈ O ₂₂ (OH,F) ₂	Hornblende	12.4	-
CaCO ₃	Calcite	5.4	-
(Mg,Fe) ₂ Si ₂ O ₆	Sekaninaite	1.1	-
Al ₆ Si ₂ O ₁₃	Mullite	-	37.9
TiO ₂	Rutile	-	1.3
Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	Augite	-	15.7
Degree of crystallinite		79.9	21.2
Amorphous		20.1	78.8



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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



Majoritné fázy popola - lignin vs prachový koks

lignin

kremeň (SiO_2)

oligoclase ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)

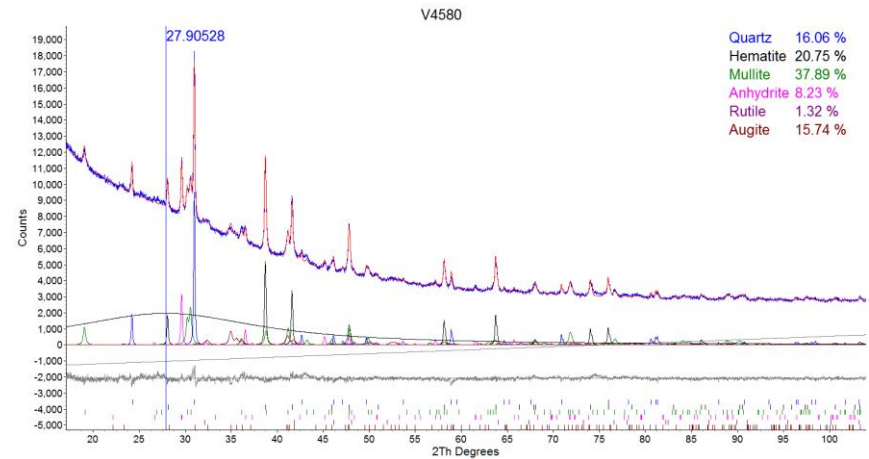
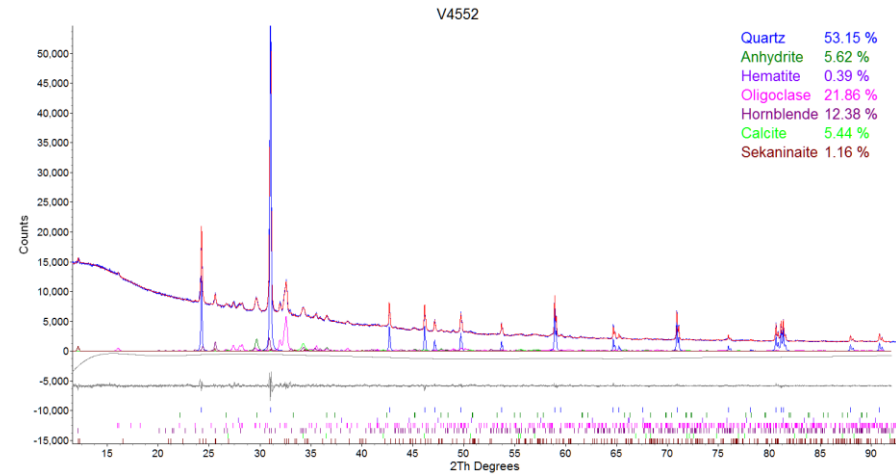
hornblende ($(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$)

prachový koks

mullit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$)

hematit (Fe_2O_3)

kremeň (SiO_2)



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

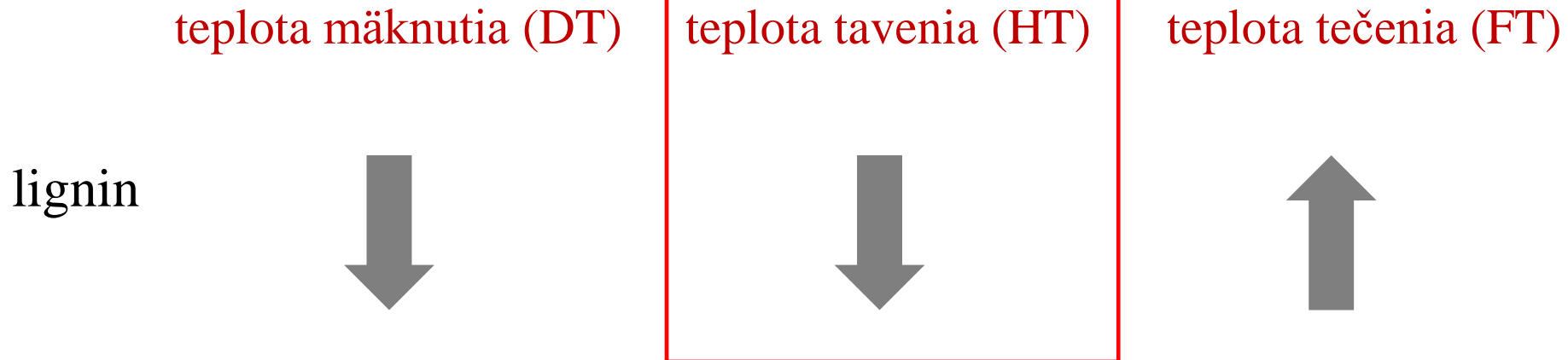
Zníženie energetickej a environmentálnej záťaž výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Teplota tavenia popola - lignin vs prachový koks

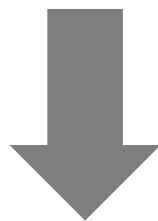
Sample	Temperature (°C)			
	DT	ST	HT	FT
Lignin	1141	1162	1185	1490
Coke breeze	1223	1289	1341	1432

DT - teplota mäknutia, ST - sférická teplota, HT - teplota pologule, FT - teplota tečenia



Závery z materiálového výskumu ligninu

- hydrolyzovaný lignin sa javí ako vhodná čiastočná náhrada koksu v aglomeračnom procese



lignin má nižšiu výhrevnosť ako prachový koks, ale vyššiu ako drevné piliny
má výrazne nižší obsah popola – s nižšou teplotou tavenia
má nižší obsah dusíka a síry



Termodynamické štúdium horenia biomasy a materiálovo – tepelná bilancia aglomeračného procesu za použitia biomasy

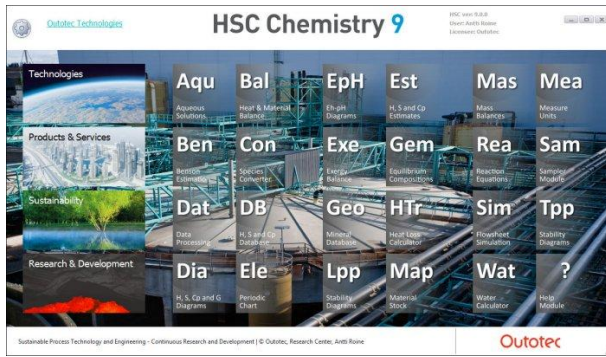


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

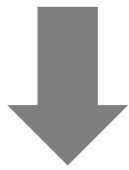
Termodynamické štúdium



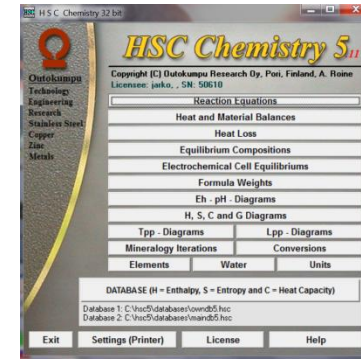
program HSC Chemistry 9



modul Equilibrium Calculations



štúdium horenia ligninu



program HSC Chemistry 5.11



modul Heat and Material Balance



tepelná bilancia horenia ligninu
tepelná bilancia výroby aglomerátu

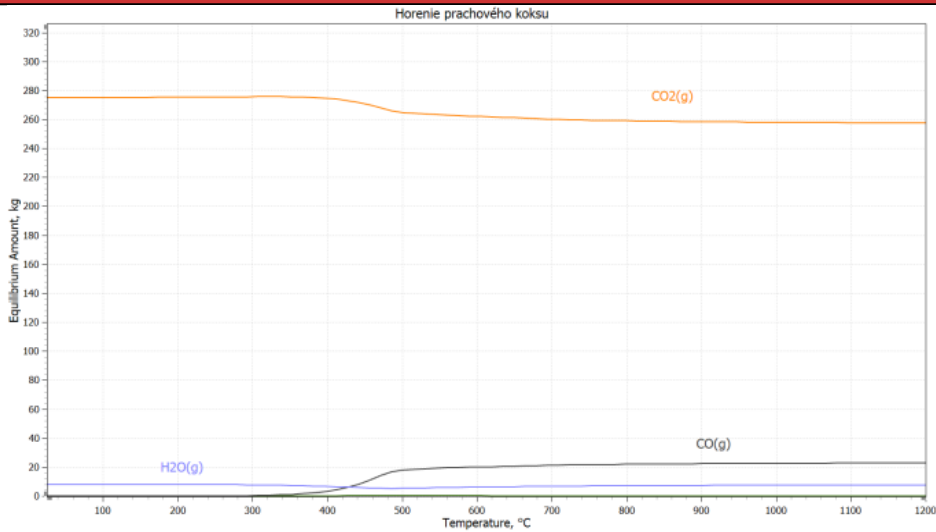


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

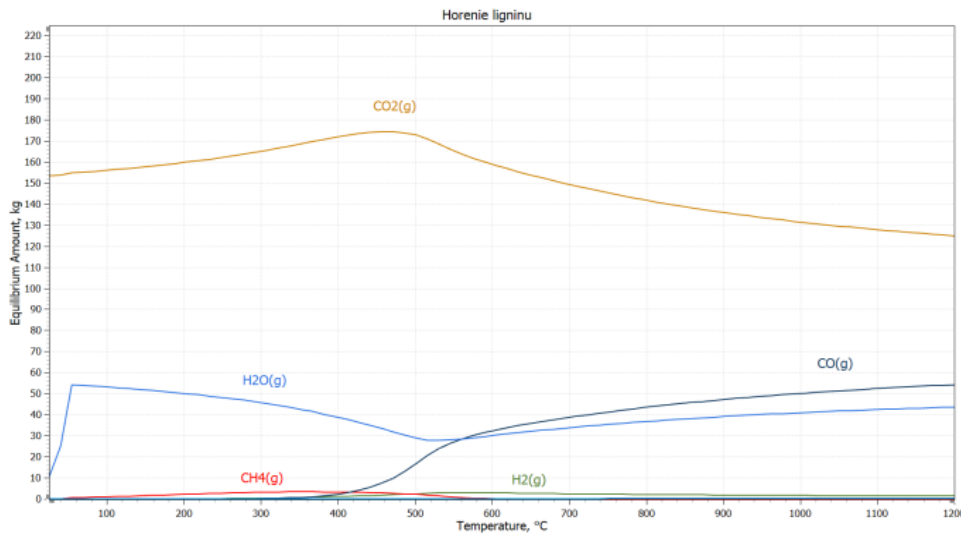
Zníženie energetickej a environmentálnej záťaž výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Porovnanie horenia – prachový koks vs lignin



prachový koks



lignin

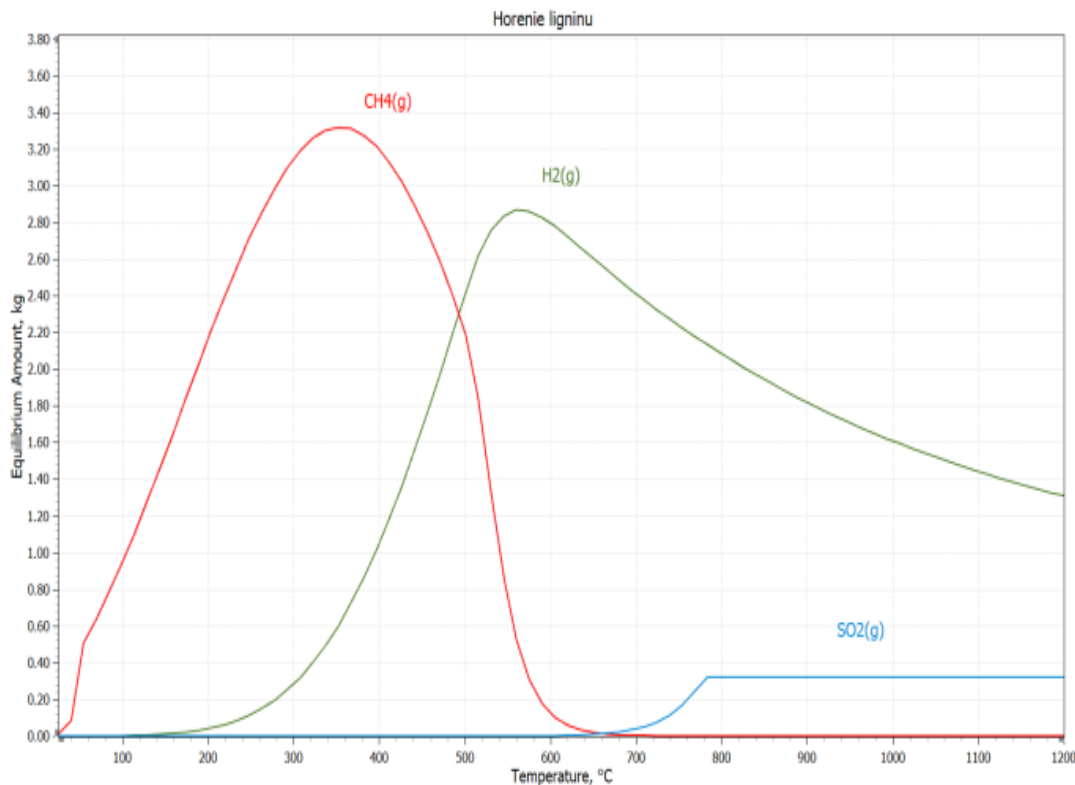


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Termický rozklad a horenie ligninu



Bezprostrednému procesu horenia paliva predchádza jeho termický rozklad.

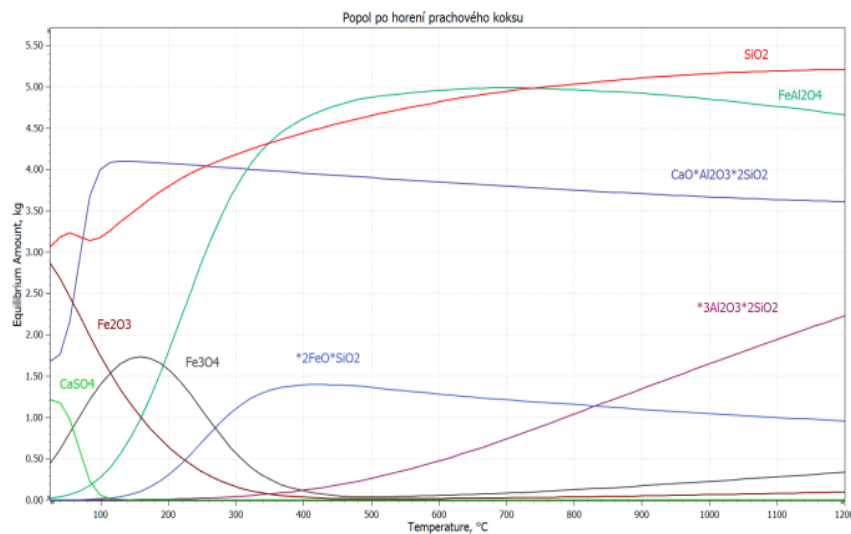
Obsah plynných zložiek CH₄ (g) a H₂ (g), ktoré sa uvoľňujú pri teplotách termického rozkladu ligninu (cca 300 – 600 °C) je vyšší ako pri prachovom kokse. Súvisí to s vyšším obsahom prchavej horľaviny v lignine.

Metán (CH₄ (g)) sa uvoľňuje pri nižších teplotách ako vodík (H₂ (g)).



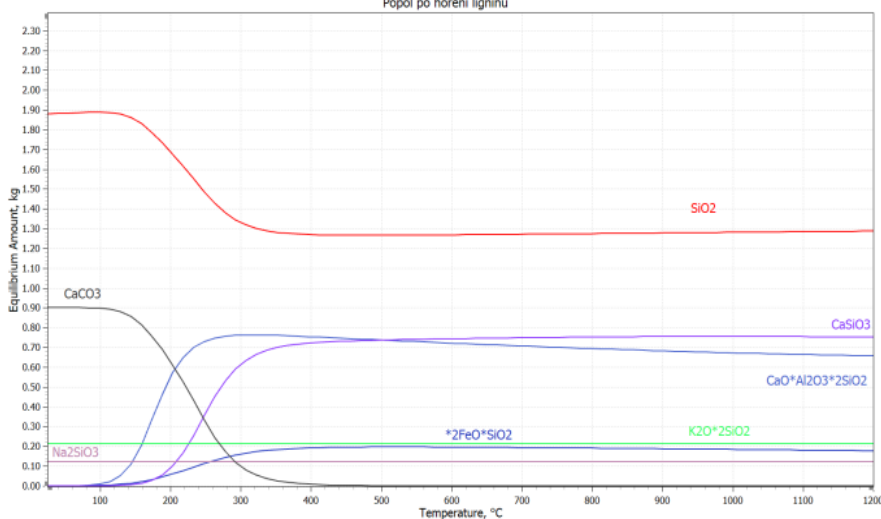
Fázové zloženie popola po horení prachového koksu a ligninu

II



prachový koks

kremeň (SiO_2)
hercynit (FeAl_2O_4)
oligoklas ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)
mullit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$)



lignin

kremeň (SiO_2)
wollastonit (CaSiO_3)
oligoclase ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)



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

Materiálovo - tepelná bilancia horenia prachového koksu

	INPUT SPECIES (1) Formula	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	Koks	25.000	0.073	1.000	0.046	0.00	-2.33
2	C	25.000	0.067	0.8005	0.000	0.00	0.00
3	H2(g)	25.000	0.001	0.0028	0.032	0.00	0.00
4	S	25.000	0.000	0.0028	0.000	0.00	0.00
5	O2(g)	25.000	0.000	0.0057	0.004	0.00	0.00
6	N2(g)	25.000	0.000	0.0122	0.010	0.00	0.00
7	Fe2O3	25.000	0.000	0.0343	0.000	0.00	-0.18
8	SiO2	25.000	0.001	0.0438	0.000	0.00	-0.66
9	Al2O3	25.000	0.000	0.0266	0.000	0.00	-0.44
10	CaO	25.000	0.000	0.0086	0.000	0.00	-0.10
11	MgO	25.000	0.000	0.0035	0.000	0.00	-0.05
12	K2O	25.000	0.000	0.002	0.000	0.00	-0.01
13	Na2O	25.000	0.000	0.0014	0.000	0.00	-0.01
14	P2O5	25.000	0.000	0.0008	0.000	0.00	-0.01
15	H2O	25.000	0.003	0.055	0.000	0.00	-0.87
16	Vzduch	25.000	0.304	8.783	6.930	0.00	0.00
17	N2(g)	25.000	0.237	6.643	5.405	0.00	0.00
18	O2(g)	25.000	0.067	2.140	1.524	0.00	0.00

	OUTPUT SPECIES (1) Formula	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	Procesný plyn	25.000	0.309	9.662	7.043	0.00	-26.95
2	CO2(g)	25.000	0.065	2.874	1.489	0.00	-25.70
3	CO(g)	25.000	0.001	0.037	0.030	0.00	-0.15
4	H2O(g)	25.000	0.004	0.080	0.100	0.00	-1.07
5	SO2(g)	25.000	0.000	0.006	0.002	0.00	-0.03
6	N2(g)	25.000	0.238	6.655	5.415	0.00	0.00
7	O2(g)	25.000	0.000	0.010	0.007	0.00	0.00
8	Popol	25.000	0.001	0.118	0.000	0.00	-1.45
9	Fe2O3	25.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
10	Fe3O4	25.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
11	*2FeO*SiO2	25.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
12	FeAl2O4	25.000	0.000	0.075	0.000	0.00	-0.86
13	CaO*Al2O3*2SiO2	25.000	0.000	0.043	0.000	0.00	-0.65
14	*3Al2O3*2SiO2	25.000	0.000	-0.046	0.000	0.00	0.73
15	SiO2	25.000	0.001	0.030	0.000	0.00	-0.46
16	MgSiO3	25.000	0.000	0.009	0.000	0.00	-0.13
17	CaSiO3	25.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
18	Na2SiO3	25.000	0.000	0.003	0.000	0.00	-0.04
19	K2O*SiO2	25.000	0.000	0.003	0.000	0.00	-0.03
20	P2O5	25.000	0.000	0.001	0.000	0.00	-0.01

	BALANCE	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	IN1		0.377	9.783	6.976	0.00	-2.33
2	OUT1		0.310	9.780	7.043	0.00	-28.39
3	BALANCE		-0.067	-0.003	0.067	0.00	-26.07
4							

HSC program

Experimentálna analýza

Výhrevnosť (MJ/kg)

26.07

28.16

Obsah popola (hm.%)

11.87

12.10

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



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA



Materiálovo - tepelná bilancia horenia ligninu

	INPUT SPECIES (1) Formula	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	Lignin	25.000	0.087	1.000	0.776	0.00	-1.84
2	C	25.000	0.048	0.573	0.000	0.00	0.00
3	H2(g)	25.000	0.026	0.0524	0.595	0.00	0.00
4	S	25.000	0.000	0.0015	0.000	0.00	0.00
5	O2(g)	25.000	0.008	0.2514	0.179	0.00	0.00
6	N2(g)	25.000	0.000	0.0018	0.001	0.00	0.00
7	Fe2O3	25.000	0.000	0.0016	0.000	0.00	-0.01
8	SiO2	25.000	0.000	0.0229	0.000	0.00	-0.35
9	Al2O3	25.000	0.000	0.0029	0.000	0.00	-0.05
10	CaO	25.000	0.000	0.0048	0.000	0.00	-0.05
11	MgO	25.000	0.000	0.0005	0.000	0.00	-0.01
12	K2O	25.000	0.000	0.0005	0.000	0.00	0.00
13	Na2O	25.000	0.000	0.0007	0.000	0.00	0.00
14	P2O5	25.000	0.000	0.0001	0.000	0.00	0.00
15	H2O	25.000	0.005	0.086	0.000	0.00	-1.36
16	Vzduch	25.000	0.182	5.244	4.137	0.00	0.00
17	N2(g)	25.000	0.142	3.966	3.227	0.00	0.00
18	O2(g)	25.000	0.040	1.278	0.910	0.00	0.00

	OUTPUT SPECIES (1) Formula	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	Procesný plyn	25.000	0.212	6.210	4.820	0.00	-23.53
2	CO2(g)	25.000	0.038	1.680	0.870	0.00	-15.02
3	CO(g)	25.000	0.010	0.267	0.217	0.00	-1.05
4	H2O(g)	25.000	0.031	0.554	0.690	0.00	-7.44
5	SO2(g)	25.000	0.000	0.003	0.001	0.00	-0.01
6	N2(g)	25.000	0.142	3.968	3.229	0.00	0.00
7	O2(g)	25.000	-0.008	-0.262	-0.187	0.00	0.00
8	Popol	25.000	0.000	0.034	0.000	0.00	-0.48
9	Fe2O3	25.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
10	Fe3O4	25.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
11	*2FeO*SiO2	25.000	0.000	0.002	0.000	0.00	-0.01
12	CaO*Al2O3*2SiO2	25.000	0.000	0.008	0.000	0.00	-0.12
13	SiO2	25.000	0.000	0.014	0.000	0.00	-0.21
14	MgSiO3	25.000	0.000	0.001	0.000	0.00	-0.02
15	CaSiO3	25.000	0.000	0.007	0.000	0.00	-0.09
16	Na2SiO3	25.000	0.000	0.001	0.000	0.00	-0.02
17	K2O*SiO2	25.000	0.000	0.001	0.000	0.00	-0.01
18	P2O5	25.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00

	BALANCE	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	IN1		0.268	6.244	4.914	0.00	-1.84
2	OUT1		0.212	6.244	4.820	0.00	-24.01
3	BALANCE		-0.056	0.000	-0.094	0.00	-22.17

HSC program

Experimentálna analýza

Výhrevnosť (MJ/kg)

22.17

23.14

Obsah popola (hm.%)

3.38

3.40



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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



Využitie termodynamických modelov

Pomocou vytvorených termodynamických modelov bude možné predikovať základné parametre spaľovania akýchkoľvek uhlíkatých palív (vrátane biomasy), ktoré sa využívajú nielen v rámci aglomeračného procesu, ale aj v rámci iných tepelných procesov, kde prebieha reakcia horenia paliva.

Vytvorený výpočtový program je preto univerzálne využiteľný v rôznych priemyselných a technických aplikáciách.



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

Materiálovo - tepelná bilancia výroby aglomerátu

	INPUT SPECIES (1) Formula	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	Koks	25.000	0.322	4.394	0.203	0.00	-10.19
2	C	25.000	0.293	3.5222	0.001	0.00	0.00
3	H2(g)	25.000	0.006	0.01232	0.140	0.00	0.00
4	S	25.000	0.000	0.01232	0.000	0.00	0.00
5	O2(g)	25.000	0.001	0.02508	0.018	0.00	0.00
6	N2(g)	25.000	0.002	0.05368	0.044	0.00	0.00
7	Fe2O3	25.000	0.001	0.15092	0.000	0.00	-0.78
8	SiO2	25.000	0.003	0.19272	0.000	0.00	-2.92
9	Al2O3	25.000	0.001	0.11704	0.000	0.00	-1.92
10	CaO	25.000	0.001	0.03784	0.000	0.00	-0.43
11	MgO	25.000	0.000	0.0154	0.000	0.00	-0.23
12	K2O	25.000	0.000	0.0088	0.000	0.00	-0.03
13	P2O5	25.000	0.000	0.00352	0.000	0.00	-0.04
14	H2O	25.000	0.013	0.242	0.000	0.00	-3.84
15	Vzduch	25.000	2.507	72.425	57.140	0.00	0.00
16	N2(g)	25.000	1.955	54.777	44.570	0.00	0.00
17	O2(g)	25.000	0.552	17.648	12.570	0.00	0.00
18	Voda	25.000	0.250	4.500	0.005	0.00	-71.40
19	H2O	25.000	0.250	4.500	0.005	0.00	-71.40
20	Fe koncentrát	25.000	0.317	24.971	0.007	0.00	-152.08
21	FeO	25.000	0.091	6.34675	0.001	0.00	-24.35
22	Fe2O3	25.000	0.095	15.0915	0.003	0.00	-77.78
23	SiO2	25.000	0.019	1.14825	0.000	0.00	-17.41
24	Al2O3	25.000	0.000	0.0325	0.000	0.00	-0.53
25	CaO	25.000	0.002	0.10425	0.000	0.00	-1.18
26	MgO	25.000	0.002	0.09025	0.000	0.00	-1.35
27	Mn	25.000	0.000	0.01625	0.000	0.00	0.00
28	Na2O	25.000	0.000	0.01225	0.000	0.00	-0.08
29	K2O	25.000	0.000	0.0115	0.000	0.00	-0.04
30	C	25.000	0.003	0.04	0.000	0.00	0.00
31	P	25.000	0.000	0.00475	0.000	0.00	0.00
32	S	25.000	0.001	0.0225	0.000	0.00	0.00
33	H2O	25.000	0.102	1.85	0.003	0.00	-3.35

BAL IN1 OU1 koks koncentrát ruda VA dolomit vápenc vápno

Exit	Stream	<	>	BALANCE (1)	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
				-0.349	0.000	12.467	79.72	-0.28



	OUTPUT SPECIES (1) Formula	Temper. °C	Amount kmol	Amount kg	Amount Nm3	Latent H MJ	Total H MJ
1	Procesný plyn	300.000	3.071	89.372	69.824	27.00	-240.07
2	CO2(g)	300.000	0.411	18.079	9.362	4.79	-156.86
3	CO(g)	300.000	0.013	0.356	0.290	0.10	-1.30
4	H2O(g)	300.000	0.429	7.726	9.612	4.09	-99.62
5	SO2(g)	300.000	0.001	0.067	0.024	0.01	-0.30
6	N2(g)	300.000	1.957	54.831	44.614	15.83	15.83
7	O2(g)	300.000	0.268	8.314	5.922	2.18	2.18
8	Agglomerát	1150.000	0.336	55.382	0.007	52.72	-325.69
9	FeO	1150.000	0.058	4.157	0.001	3.74	-11.72
10	Fe2O3	1150.000	0.058	9.241	0.002	9.25	-38.38
11	Fe3O4	1150.000	0.052	12.133	0.002	12.18	-46.43
12	FeO*SiO2	1150.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
13	CaO*Fe2O3	1150.000	0.103	22.121	0.000	20.58	-131.09
14	MgSiO3	1150.000	0.034	3.408	0.001	4.51	-48.06
15	SiO2	1150.000	0.021	1.261	0.000	1.63	-17.49
16	Ca2SiO4(L)	1150.000	0.003	0.517	0.000	0.59	-6.33
17	*4CaO*Al2O3*Fe2O3	1150.000	0.005	2.351	0.000	0.00	-24.65
18	Na2SiO3	1150.000	0.000	0.043	0.000	0.08	-0.47
19	K2O*SiO2	1150.000	0.000	0.043	0.000	0.06	-0.38
20	MnSiO3	1150.000	0.001	0.079	0.000	0.08	-0.72
21	S	1150.000	0.000	0.008	0.000	0.01	0.01
22	P	1150.000	0.001	0.019	0.000	0.02	0.02



Model pri výpočtoch pracuje s predikciou **fázového zloženia** aglomerátu pri spekacích teplotách.

Termodynamický model umožňuje kontrolu celkového **tepelného efektu** aglomeračného procesu v priebehu experimentálnych spekaní, pričom materiálová bilancia vo výpočtoch uvažuje s rôznymi vstupnými komponentami (železonosné suroviny, bázičné prísady, palivá).



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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



Materiálovo - tepelná bilancia výroby aglomerátov

Palivo	Množstvo vsádzky v LSP [kg]	Množstvo aglomerátu [kg]		Množstvo pridaného paliva [kg]		Tepelný efekt spekania** [MJ/spekanie]
		LSP* (skutočné)	HSC (vypočítané)	LSP (skutočné)	HSC (vypočítané)	
Koks	72.30	57.12	55.38	3.60	4.40	-0.28
Lignin	72.30		54.92		4.40	32.45
Lignin	73.60		55.06		5.70	-1.84

Legenda: * - LSP – laboratórna spekacia panvička

** - záporný tepelný efekt znamená dostatok alebo prebytok tepla na spekanie

V tabuľke sú uvedené vybrané parametre materiálovo–tepelnej bilancie výroby aglomerátov za použitia prachového koksu (verifikované experimentom) a ligninu (predikcia na spekanie). V prípade spekania s **ligninom** bude potrebné **navýšiť** jeho množstvo vo vsádzke z dôvodu nižšej výhrevnosti ligninu.



Experimentálne štúdium horenia biomasy



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

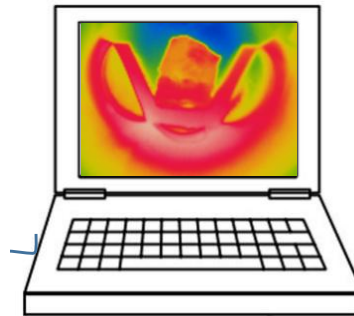
**Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513**

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Použité metodiky na štúdium horenia biomasy



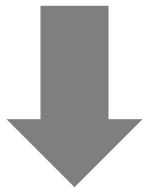
TG, DTG, DTA analýza



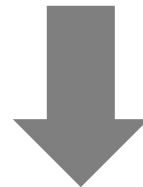
monitoring horenia za pomoci
termovízie



horenie v podmienkach
spekanej vrstvy



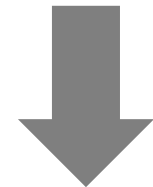
Derivatograph C/PC, MOM,
Hungary



HTF-horizontal tube furnace



štúdium horenia ligninu



Upravený model laboratórnej
spekacej panvičky

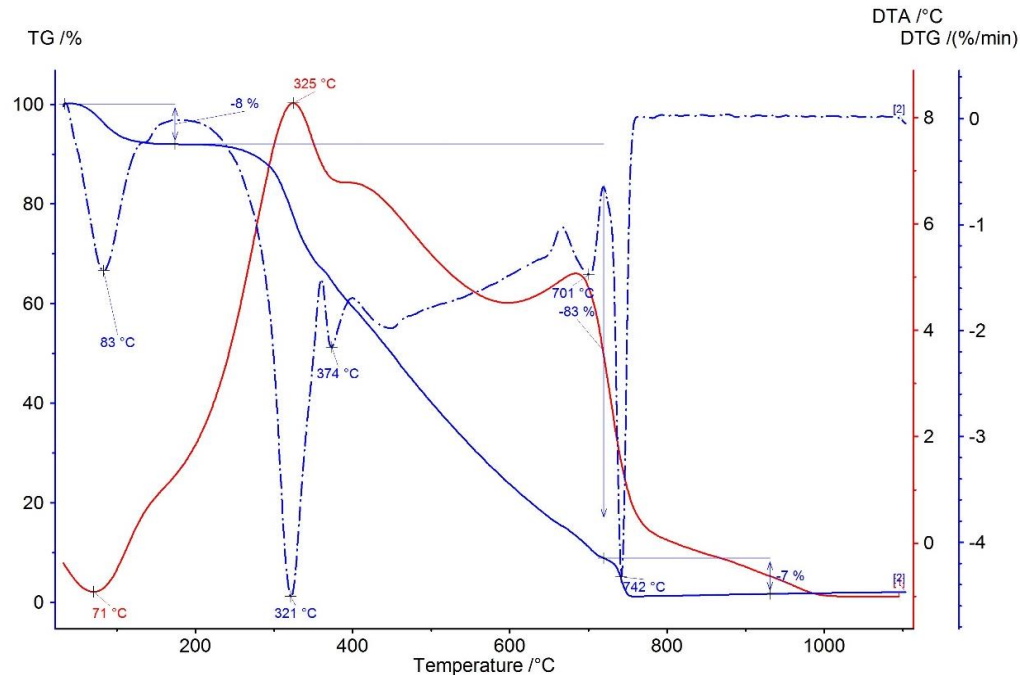


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Termogravimetrická analýza ligninu



$< 180^{\circ}\text{C}$ = endotermický efekt vyparovania vody,

276°C = iniciačná teplota uvoľňovania prchavých zložiek horľaviny a následného horenia,

420°C = BOT (BOT-burn out temperature) - teplota dohorievania prchavých zložiek,

666°C = iniciačná teplota horenia uhlíka,

751°C = BOT (BOT-burn out temperature) - teplota dohorievania uhlíka.

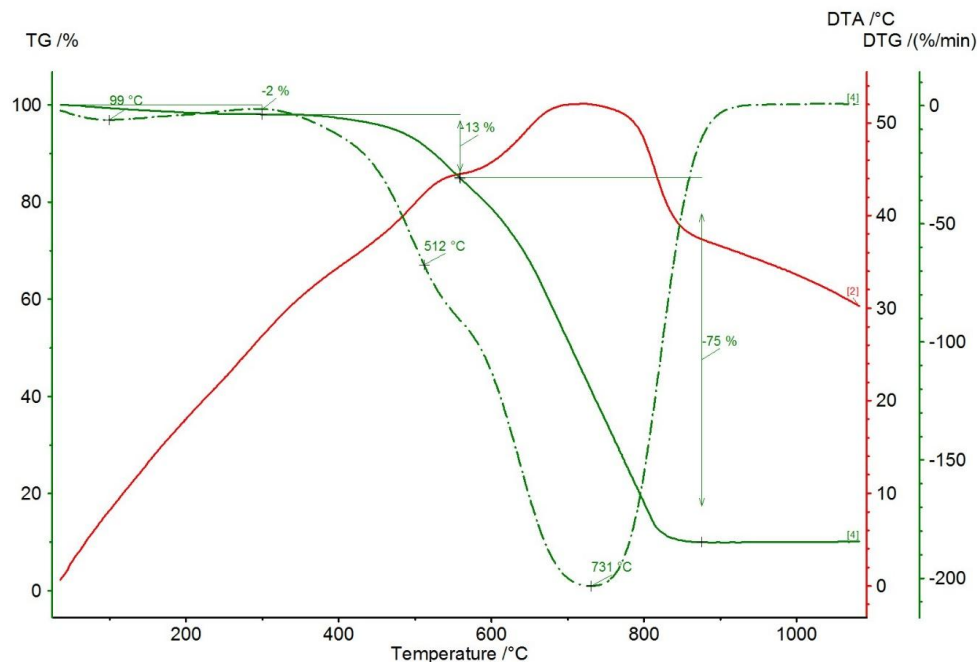


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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



Termogravimetrická analýza prachového koksu



< 100°C = endotermický efekt vyparovania vody,

380°C = iniciačná teplota uvoľňovania prchavých zložiek horľaviny,

590°C = iniciačná teplota horenia uhlíka,

830°C = BOT (BOT-burn out temperature) - teplota dohorievania uhlíka.

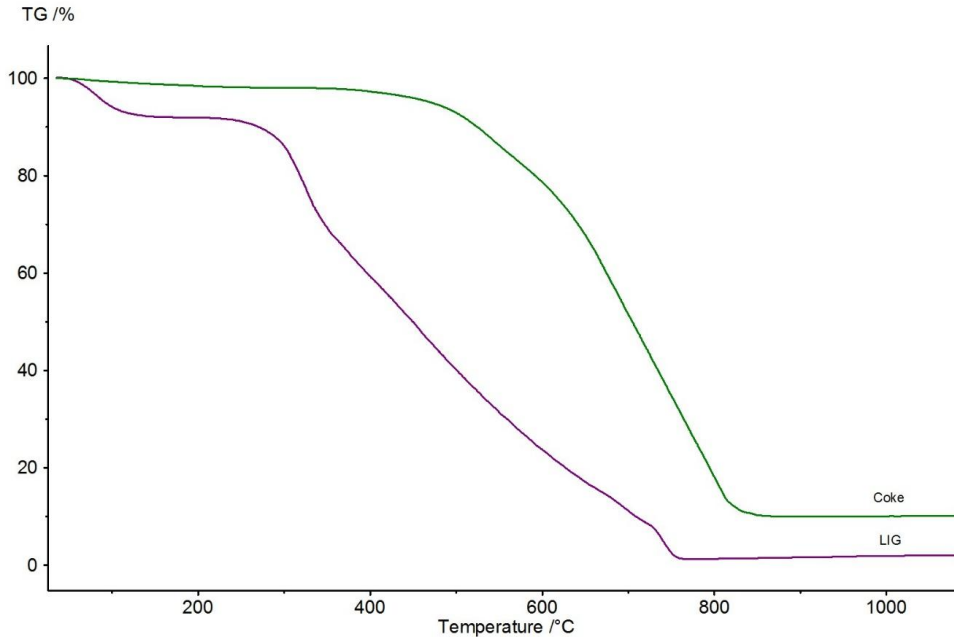


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

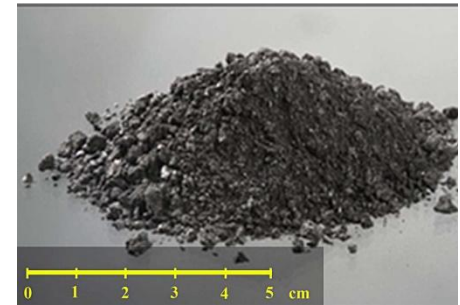
Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

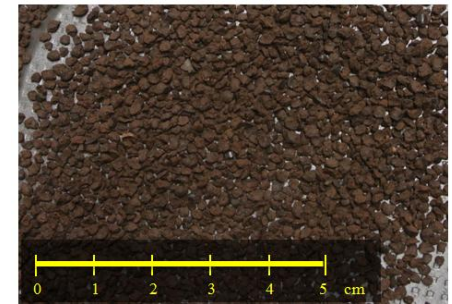
Porovnanie horenia palív



koks



lignin



Rozdiely TG kriviek vzoriek ligninu (LIG) a prachového koksu (Coke) pri rovnakej rýchlosti ohrevu ($10^{\circ}\text{C}/\text{min}$) v atmosfére vzduchu potvrdzujú **vyššiu reaktivnosť** testovanej biomasy (**lignin**) vzhľadom na jej štruktúrnu stavbu a zloženie.

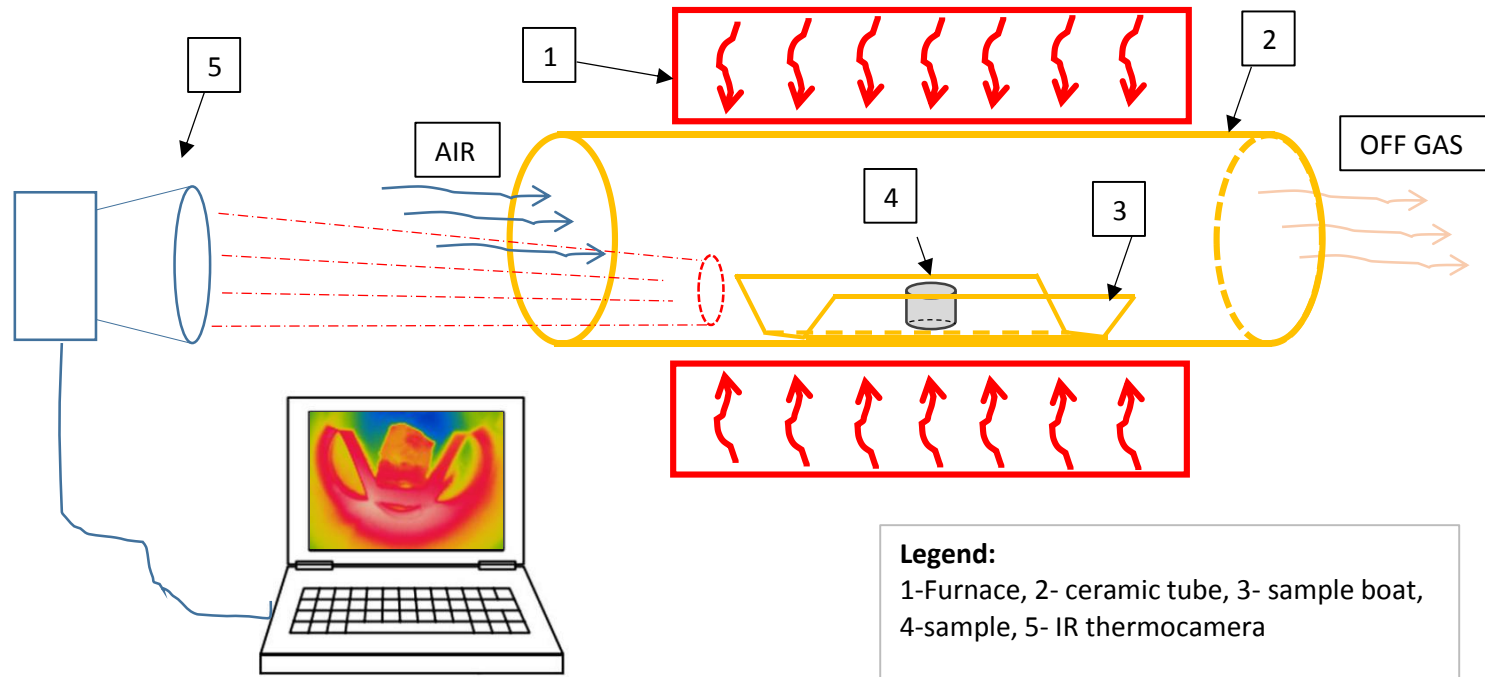


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Monitoring horenia za pomoci termovízie



Laboratórne experimenty **procesu horenia** s využitím **termokamery** boli realizované podľa schémy zapojenia vyobrazenej na obrázku. Vzorka pelety bola umiestnená v horizontálnej rúrovej peci (HTF-horizontal tube furnace), ktorá bola predohriata na 600°C. Zmena teplotného profilu vzorky bola zaznamenávaná v reálnom čase pomocou termokamery.

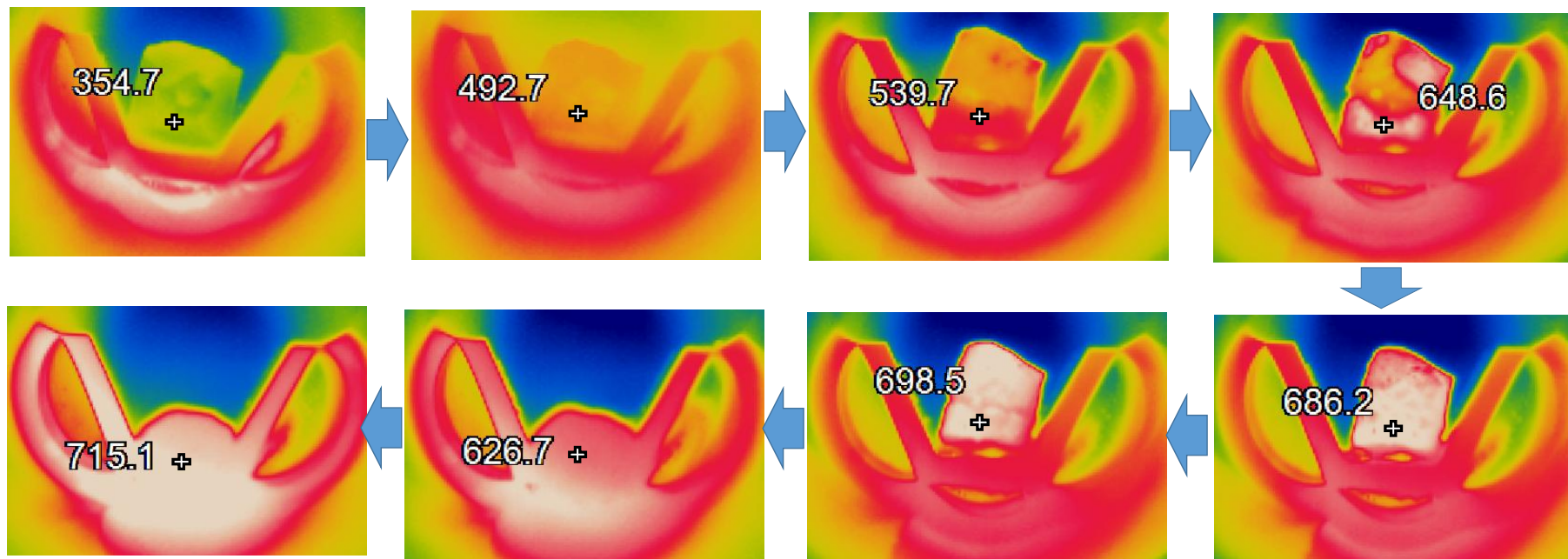


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Monitoring horenia za pomoci termovízie



Počas pomerne krátkeho časového intervalu (do 30 sekúnd) dochádza k zmene teploty vzorky. Taktiež je zreteľne badať rozsah jednotlivých teplotných polí na snímanej ploche, kde sa prejavuje jednak **spôsob prestupu tepla**, ako aj exotermický efekt z horenia hmoty a jej degradácie resp. **termickej stability**. Pri experimentoch bol pozorovaný jav uvoľňovania vzniknutých plynných splodín horenia, ktoré prebieha v širokom intervale.



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

Štúdium dezintegrácie a kompaktácie vybraných druhov biomasy



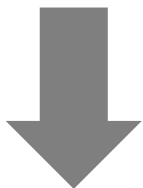
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

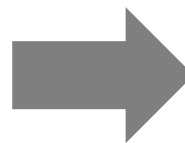
UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Použité metodiky na dezintegráciu a kompaktáciu biomasy

Dezintegrátor



Lis



Pre účely dezintegrácie a kompaktácie boli v rámci projektu APVV zakúpené **nové zariadenia** na úpravu fyzikálnych vlastností biomasy. Optimalizácia metodík, zameraných na úpravu fyzikálnych vlastností biomasy je dôležitá z hľadiska prípravy biomasy ako dôležitého komponentu aglomeračnej vsádzky - hlavne čo sa týka dosiahnutia **požadovanej zrnitosti** a **homogenity**.

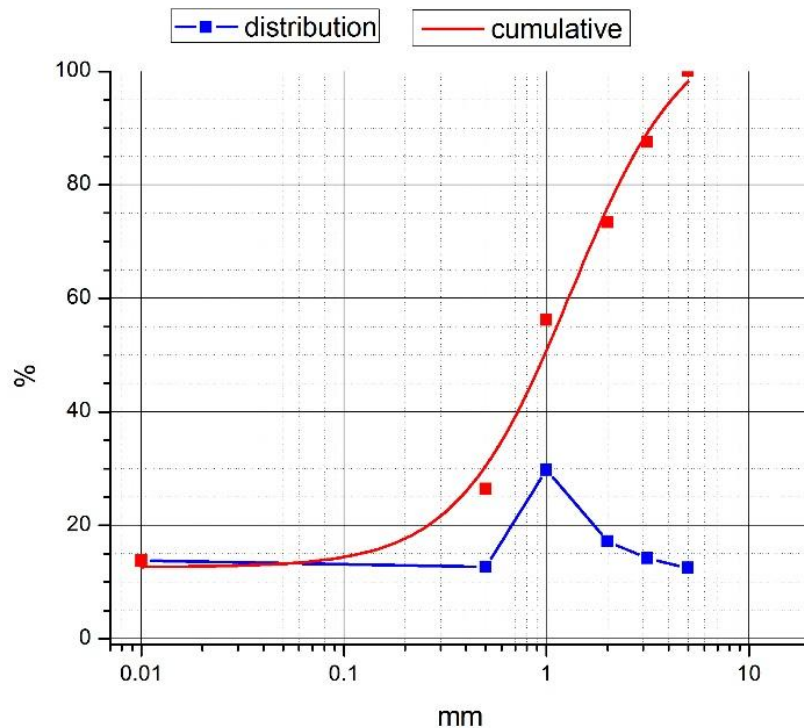


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Dezintegrácia ligninových peliet



Testovaná biomasa (ligninové pelety) bola dezintegrovaná pomocou **kladivového drviča**. Granulometrický rozbor dezintegrovanej biomasy v podobe distribučných a kumulatívnych kriviek ukazuje prerozdelenie zŕn v rámci vzniknutých podielov, čo do kvantity, rovnomernosti zrnienia a taktiež tzv. priemernej zrnitosti.



Vypočítaná hodnota strednej zrnitosti peliet po **úprave** bola **2,3 mm**.



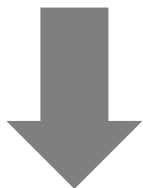
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

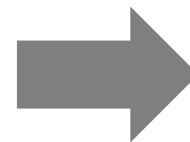
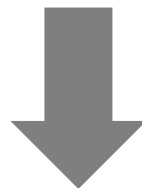
UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Kompaktácia biomasy

Pelety zo skúšobnej zmesi



Borovicové piliny



Lisované pelety z pilín



Medzi optimalizáciu metódik, zameraných na úpravu fyzikálnych vlastností biomasy je možné zaradiť aj kompaktáciu. Pomocou **nového lisovacieho zariadenia** bola odskúšaná aj kompaktácia pilín.



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

Štúdium horenia biomasy v modelovom experimentálnom zariadení laboratórnej spekacej panvičky (LSP)



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

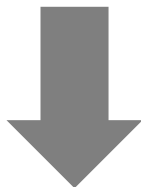
Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Špecifikácia metodiky na štúdium horenia biomasy v modelovom zariadení



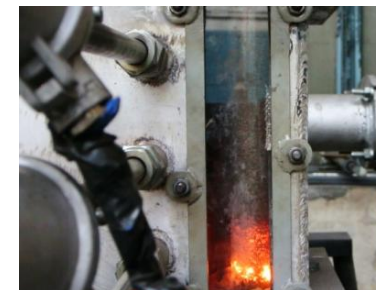
úprava granulometrie inertného materiálu



úprava granulometrie lignínu



horenie v podmienkach spekanej vrstvy

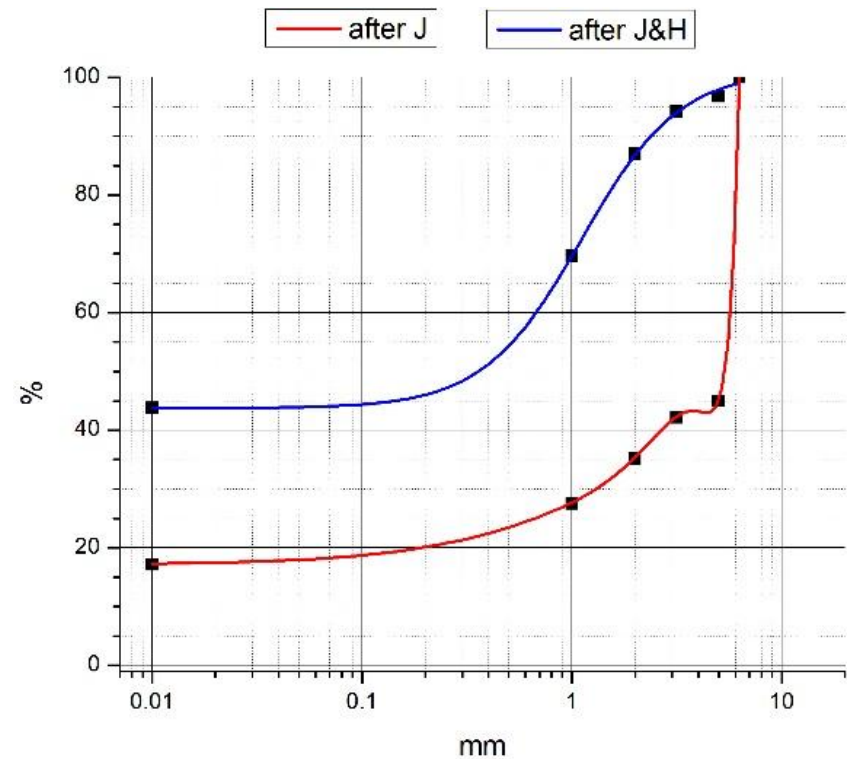
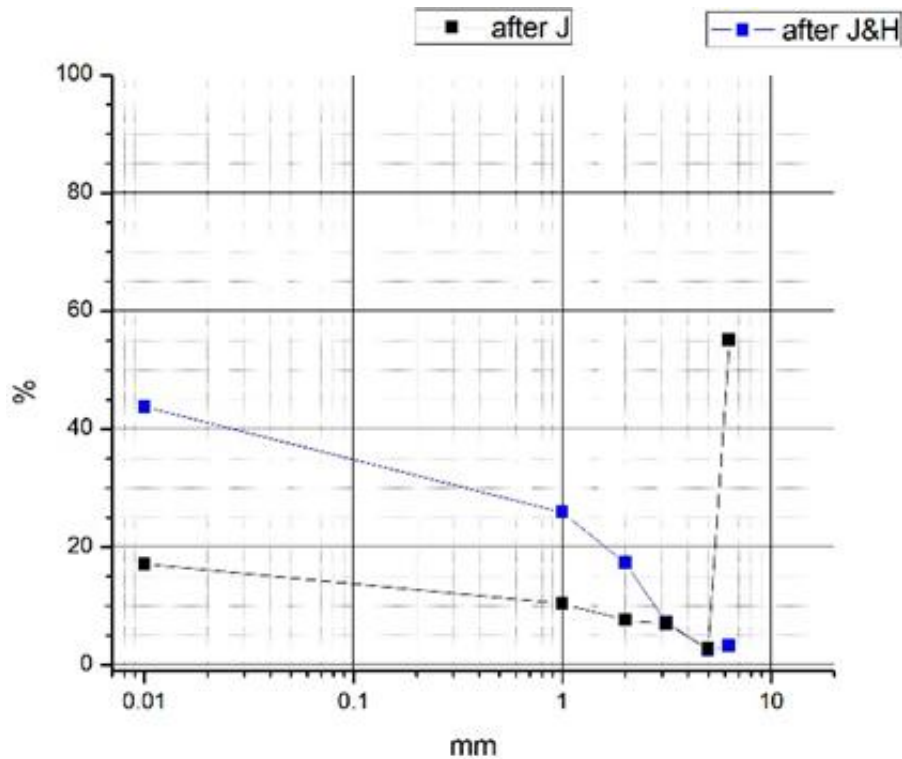


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Úprava zrnitosti inertného materiálu



Distribúcia a kumulatívne krivky dezintegrácie MgO v čeľust'ovom a kladivovom mlyne.

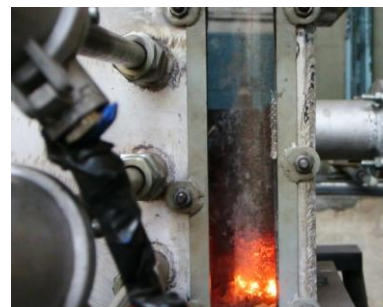


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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



Simulácia horenia lignínu v LSP (nový model simulácie horenia)



Granulometricky pripravené zmesi boli zapálené pomocou externého zdroja tepla z horáka zapalovacej hlavy LSP. Cieľom bolo zistiť **vplyv podtlaku** v presávanej vrstve a **vplyv zrnitosti paliva** na priebeh **horenia** v simulovaných podmienkach spekania aglomeračnej vrstvy.



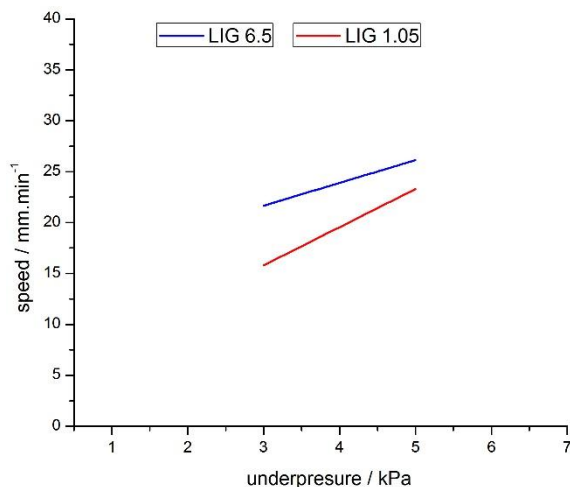
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

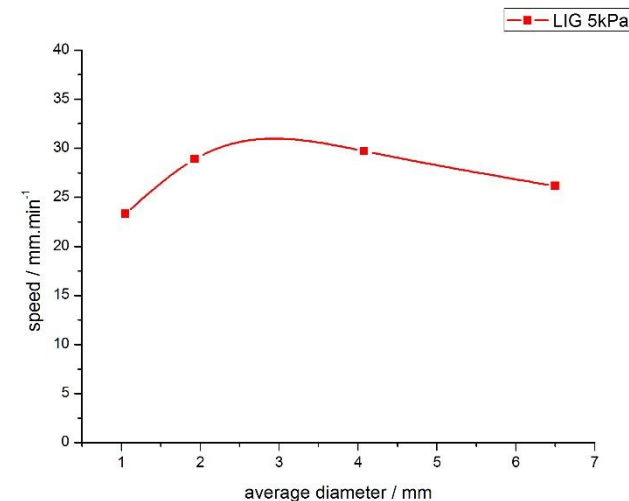


Simulácia horenia lignínu (LIG) v LSP

Experiment	fuel	D_{avg} /mm	ΔP /kPa	speed / mm.min ⁻¹	time / min:sec
K2	coke	1,55	5	11,8	33:50
LA3	LIG	1,93	5	28,9	13:50
LB1	LIG	4,08	5	29,7	13:27
LC1	LIG	6,5	5	26,14	15:18
LC2	LIG	6,5	3	21,66	18:28
LD2	LIG	1,05	5	23,3	17:08
LD1	LIG	1,05	3	15,8	25:16



LIG v definovanej granulometrii horí v spekanej vrstve rýchlosťou v intervale 23-30 mm/min. **Znížením podtlaku** na 3kPa sa ukazuje **zníženie rýchlosti horenia**, pričom výraznejší vplyv na znížení bol nameraný pri LD1.

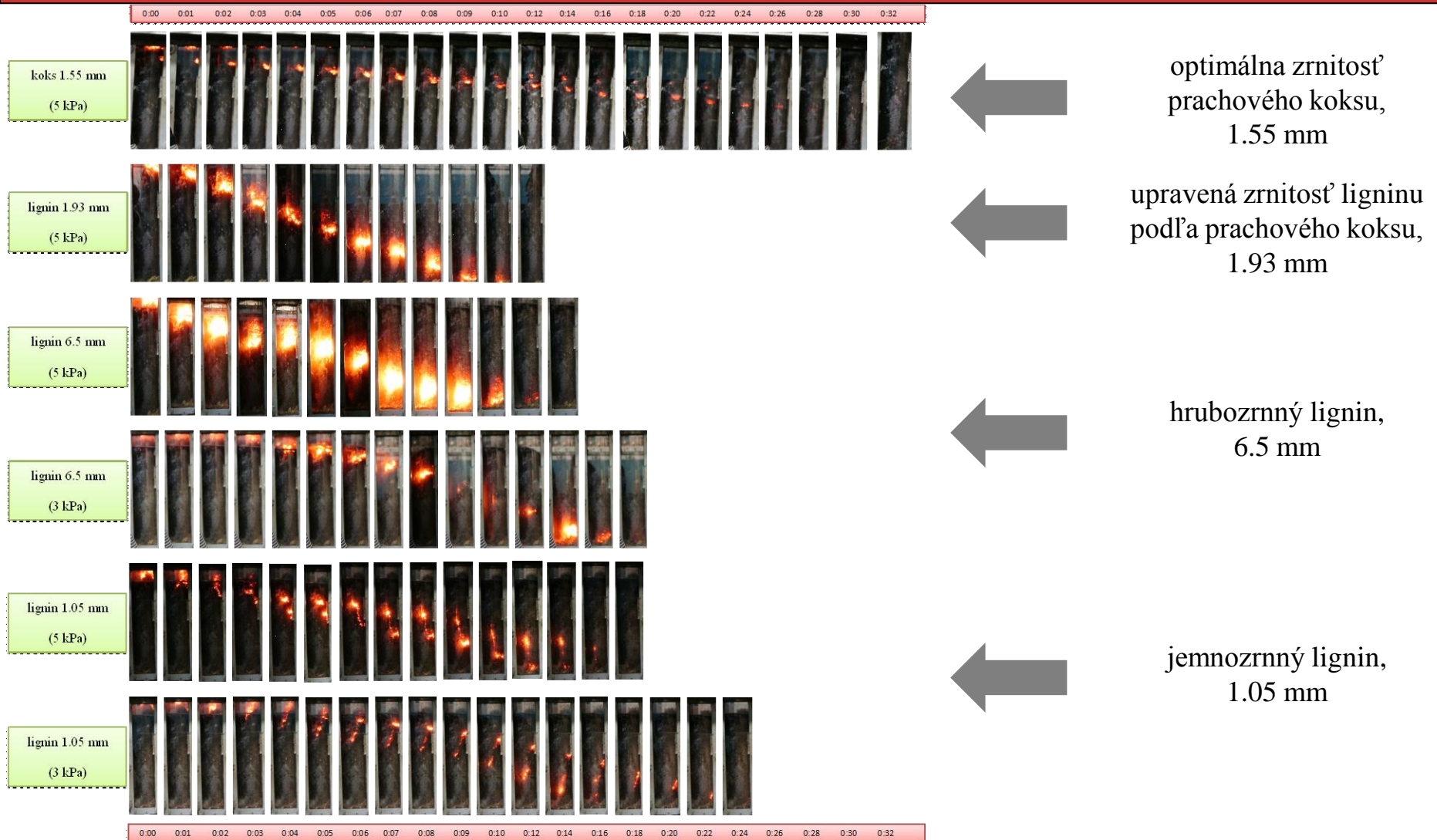


AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Simulácia horenia ligninu (LIG) v LSP



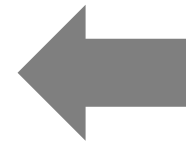
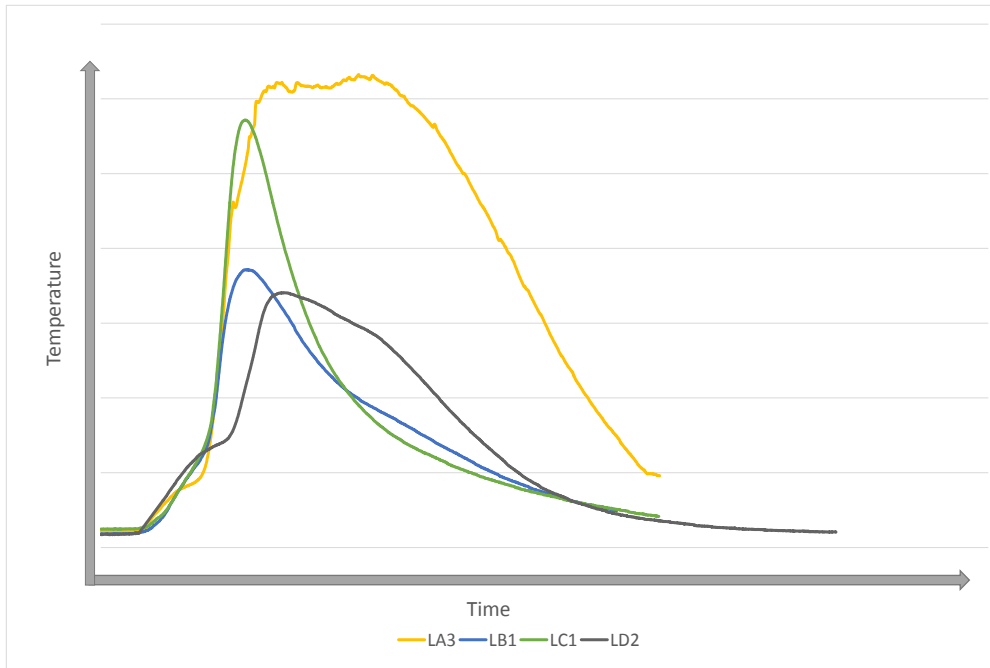
Zníženie energetickej a environmentálnej záťaže výroby
železorudného aglomerátu náhradou fosilného paliva
odpadnou biomasou APVV-16-0513



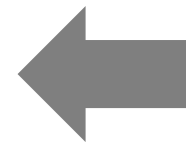
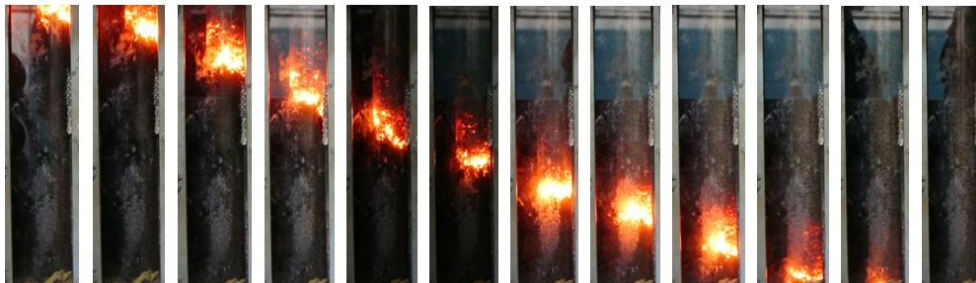
AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

UMET
ÚSTAV
METALURGIE

Simulácia horenia ligninu (LIG) v LSP



Priebeh zmeny teploty horenia ligninových peliet pri 5kPa.



Vizuálne znázornenie zóny horenia ligninových peliet LA3.



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 z experimentov horenia ligninu

- Použitie TGA analýzy vzorky za rôznych podmienok ohrevu t.j. teplotného režimu a atmosféry je vhodnou metódou pre popis dôležitých parametrov z hľadiska použitia v podmienkach aglomeračného procesu.
- Metodika termovízneho monitoringu počas tepelného namáhania môže prispieť k objasneniu správania sa testovaných druhov biomasy za rôznych podmienok ohrevu (teplota, atmosféra, a pod.).
- Z pilotných testovaní horenia ligninu v podmienkach simulácie aglomeračnej vrstvy možno vyvodit' nasledujúce poznatky:
 - a) rýchlosť horenia ligninu narastá so zvyšovaním podtlaku pri zachovaní medzerovitosti vsádzky,
 - b) granulometria ligninu ovplyvňuje celkovú priedušnosť zmesi a podmienky prívodu oxidačného činidla na reakčný povrch ligninu,
 - c) testovaná biomasa (lignin) horí intenzívnejšie v celom rozsahu použiteľnej zrnitosti v porovnaní s aglomeračným koksom.



Závery z riešenia projektu APVV - 2. časť (r. 2018)

- bol realizovaný komplexný materiálový výskum ligninu,
- hydrolyzovaný lignin sa na základe analyzovaných vlastností javí ako vhodná čiastočná náhrada koksu v aglomeračnom procese,
- boli vytvorené nové termodynamické modely horenia biomasy a nová materiálovo – tepelná bilancia výroby aglomerátu za použitia biomasy,
- v prípade spekania s ligninom bude potrebné navýšiť jeho množstvo v aglomeračnej vsádzke z dôvodu nižšej výhrevnosti ligninu,
- boli vytvorené a odskúšané dva nové modely na simuláciu procesu horenia biomasy (monitoring horenia za pomoci termovízie a horenie v podmienkach spekanej vrstvy),
- testovaná biomasa (lignin) horí intenzívnejšie v celom rozsahu použiteľnej zrnitosti v porovnaní s aglomeračným koksom.



Použitá literatúra

- [1] Rakitova, O., and V. Kholodkov. "The Pellet market and wood resources in the North-West of Russian." Final report. Baltic 21 (2009).
- [2] Verhoest, Chrystelle, and Yves Ryckmans. "Industrial wood pellets report." Laborelec, PellCert, and Intelegant Energy Europe (2012).
- [3] Niu, Yanqing, et al. "Study on fusion characteristics of biomass ash." Bioresource technology 101.23 (2010)
- [4] Koukouzas, Nikolaos, et al. "Quantitative evaluation of minerals in fly ashes of biomass, coal and biomass–coal mixture derived from circulating fluidised bed combustion technology." Journal of Hazardous Materials
- [5] STN ISO 540, 2008: Hard coal and coke: Determination of ash fusibility
- [6] Golovko, M. B. "Chemical composition and melting point of ash in Western Donets Basin coal." Coke and Chemistry 58.8 (2015): 279-283.
- [7] Ulanovskii, M. L. "Influence of the Composition of Coal Ash on Its Flow Temperature and on the CSR and CRI Values of the Coke Produced." Coke and Chemistry 53.1 (2010): 19-24.
- [8] Vassilev, Stanislav V., et al. "Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. Characterization of feed coals and fly ashes." Fuel 82.14 (2003): 1793-1811.
- [9] Vassilev, Stanislav V., et al. "Phase–mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes and fly ashes at the Soma power station, Turkey." International Journal of Coal Geology
- [10] Roine, A. "HSC chemistry for Windows, version 5.1, chemical reaction and equilibrium software with extensive thermochemical database, 1999." Outokompu Research Oy, Pori, Finland (2002).
- [11] Outotec, H. S. C. "Chemistry 8." (2016).
- [12] Outotec, H. S. C. "Chemistry 9." (2018).
- [13] <https://>
- [14] <https://www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--thermoIMAGER-TIM-Connect--en.pdf>



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

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

