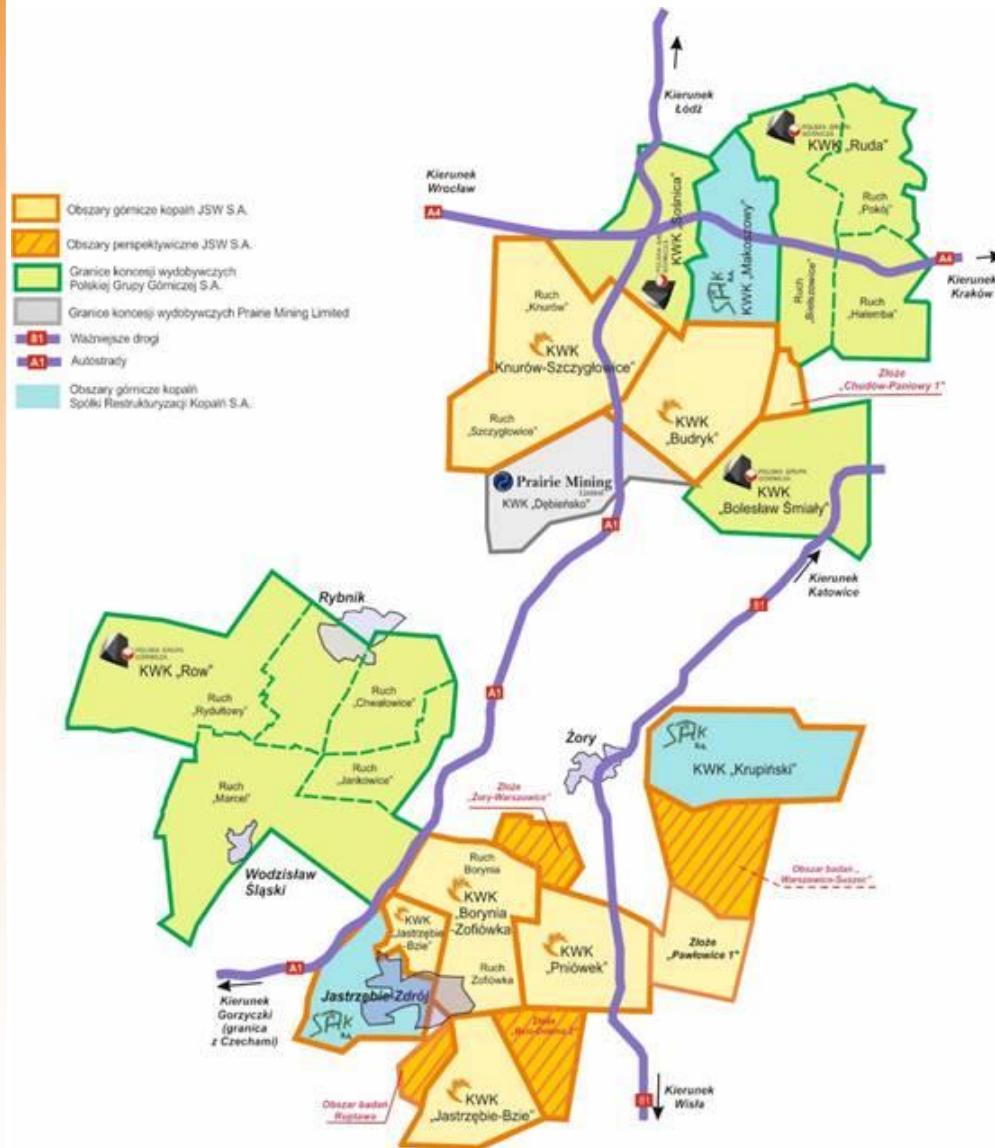


OD WĘGLA
DO
KOKSOWEGO
STALI



Rozpoznanie jakości złoża jako podstawowy element wpływający na optymalne harmonogramowanie biegu ścian kopalni węgla kamiennego

mgr inż. Jan Marcisz;
dr inż. hab. Piotr Michorczyk, prof. PK;
dr inż. Aleksandra Burczyk;



Skala GK JSW:

- 4 Kopalnie
- 7 Obszarów
górnictw
- 24 aktywne ściany
przeróbczych
- 6 Zakładów
przeróbczych
- 3 Koksownie

Produkcja roczna:

- 14,07 mln ton węgla
- 11 mln ton węgla
koksowego
- 4 mln ton koksu

Jakość węgla od rozpoznania do sprzedaży

Rozpoznanie złoża:

- odwierty, zarówno powierzchniowe jak i dołowe (rdzeniowe lub bezrdzeniowe)
- opróbowanie węgla pokładowego podczas prowadzonych prac udostępniających i eksploatacyjnych
- strategiczne decyzje w zakresie wyceny złoża, opłacalności eksploatacji, koncesji

Harmonogramowanie biegu ścian:

- krótko i długookresowe planowanie produkcji w sposób gwarantujący stabilną jakość węgla
- bieżące modyfikacje harmonogramów produkcji w celu optymalnego wykorzystania złoża przy jednoczesnym utrzymaniu jakości produkcji

Sprzedaż:

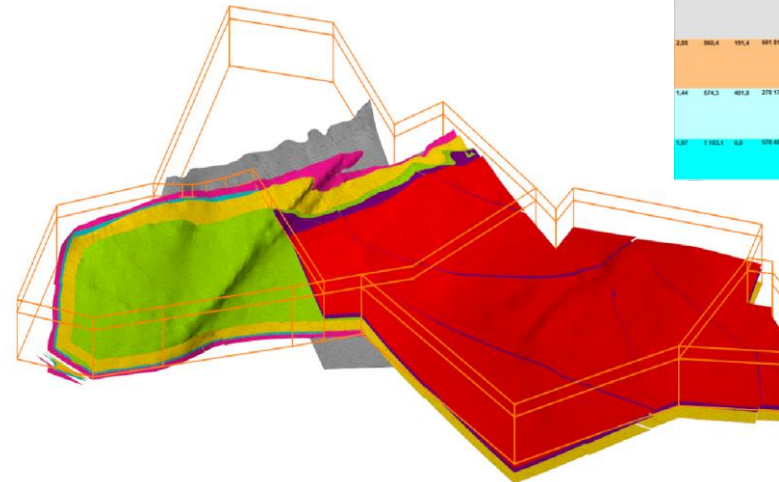
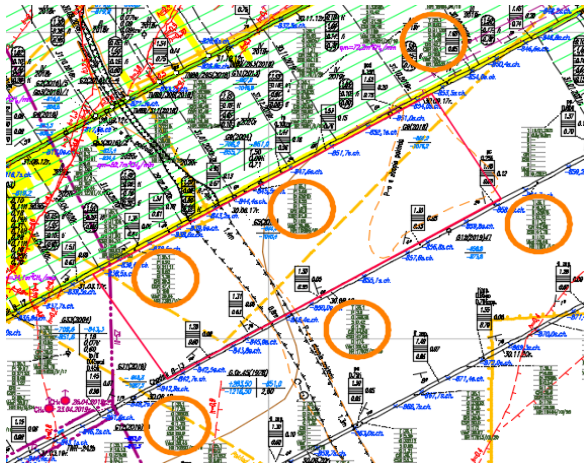
- stałe monitorowanie jakości produkcji
- rozliczanie jakościowe kontaktów determinuje stawki cenowe
- rozliczanie procesów reklamacyjnych / upustowych itp.

System do zarządzania złożem i harmonogramowania produkcji

Mapy Cyfrowe

MineScape

Deswik



okres	produkt	region	tonaż	średnia	A*	V**	S*	S*	C*	CS*	CS*	CS*	CS*	n
WĘGIEL	362/1	1	2 400	9,7	5,5	29,0	0,57	0,1510	0,17	78	8,0	29,9	99,1	81
	404/2	2	2 000	33,9	3,4	24,0	0,1068	0,17	81	8,5	37,0	51,6	30	
	404/2	3	3 000	20,8	3,4	25,6	0,0800	0,15	85	8,5	28,1	59,5	29	
	362/3+363	4	2 500	17,4	4,7	27,0	0,0790	0,18	81	8,0	31,0	62,5	31	
	404/1	5	3 000	20,8	4,5	28,0	0,0690	0,20	83	8,5	29,5	57,0	31	
Średnia	-	14 000	OK	3,4	26,5	0,0862	0,17	82	8,5	31,2	56,6	30	144	
KOKS	362/1	1	1 000	7,1	5,1	28,2	0,54	0,1510	0,17	79	8,5	29,3	59,5	29
	404/2	2	1 500	10,7	3,3	25,8	0,51	0,1195	0,17	82	8,0	35,4	54,0	29
	404/2	3	2 000	14,0	3,4	25,8	0,150	0,0800	0,15	85	8,5	28,1	59,5	29
	362/3+363	4	4 000	28,8	3,6	26,3	0,53	0,0558	0,15	82	8,0	27,9	64,0	31
	404/2	5	3 000	21,4	4,9	25,8	0,42	0,0513	0,17	81	8,5	33,6	49,2	31
Średnia	-	14 000	OK	4,9	26,3	0,55	0,0710	0,16	82	8,5	30,8	57,1	30	
ŻELAZNY	362/1	1	3 000	23,0	4,7	27,6	0,49	0,1240	0,19	75	8,0	31,0	62,3	30
	404/2	2	2 800	18,4	3,5	23,8	0,51	0,1195	0,17	82	8,0	35,4	54,0	29
	404/2	3	2 000	14,0	2,9	24,3	0,46	0,0810	0,12	85	9,0	30,9	62,2	29
	362/3+363	4	2 500	17,3	4,1	26,5	0,53	0,0575	0,14	82	8,0	27,8	63,5	31
	404/2	5	3 000	28,8	3,8	25,1	0,46	0,0458	0,15	82	8,5	29,8	58,8	31
Średnia	-	14 300	OK	4,2	25,9	0,49	0,0766	0,16	81	8,5	31,0	59,9	30	

Prawo Ochrony Środowiska nakłada obowiązek:

- Racjonalne gospodarowanie zasobami złóż (art.125)
- Zapewnienie racjonalnego wydobycia i zagospodarowania kopalin (art. 126)

Prognoza jakości węgla koksowego

KWK – Zakład Górniczy JSW S.A.

Przewidywany poziom średnich parametrów jakości węgla handlowego w okresie IV.2023 – XII.2023.

rok	miesiąc	W_t^r	A^d	V^{daf}	S_t^d	P^a	Cl^a	RI	SI	handlowe wg prognozy		dylatacja	petrografia
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			CRI (%)	CSR (%)	b (%)	Ro (%)
Pniówek													
2023	kwiecień												
	maj	11,0	8,0	24 - 28	0,5 - 0,8	0,06 - 0,08	0,10 - 0,20	75 - 85	7,5 - 8,5	22 - 26	62 - 66	80 - 120	1,10 - 1,15
	czerwiec												
	lipiec												
	sierpień	11,0	8,0	24 - 28	0,5 - 0,8	0,06 - 0,08	0,10 - 0,20	75 - 85	7,5 - 8,5	22 - 26	62 - 66	80 - 120	1,10 - 1,15
	wrzesień												
	październik												
	listopad	11,0	8,0	24 - 28	0,5 - 0,8	0,06 - 0,10	0,10 - 0,20	75 - 85	7,5 - 8,5	22 - 26	62 - 66	80 - 120	1,10 - 1,15
grudzień													

CRI i CSR jako kluczowy parametr jakości węgla koksowego.

Wskaźniki CRI/CSR od momentu ich wprowadzenia przez Nippon Steel Co (NSC) w latach osiemdziesiątych zyskiwały na popularności by ostatecznie służyć w wymianie handlowej jako jedno z podstawowych kryteriów oceny jakości węgla.

Test ten pozwala zasymulować zachowanie się koksu w wielkim piecu:

Zasada oznaczenia reakcyjności **CRI** (coke reactivity index) polega na zgazowaniu 200 g próbki koksu o uziarnieniu 20 ± 1 mm w strumieniu CO_2 przy temperaturze 1100°C i określeniu procentowego ubytku jej masy

Wytrzymałość koksu po reakcyjności **CSR** (coke strength after reaction) określa się na zgazowanej uprzednio próbce bębnując (600obrotów), a następnie oceniając masę ziaren, które po bębnowaniu zachowały wymiary powyżej 10 mm.

Oznaczenie parametrów CRI i CSR to badanie czasochłonne i wymagające dużego nakładu pracy. Wraz z przygotowaniem próby i jej koksowaniem badanie trwa 2-3dni.

CRI i CSR jako kluczowy parametr jakości węgla koksowego.

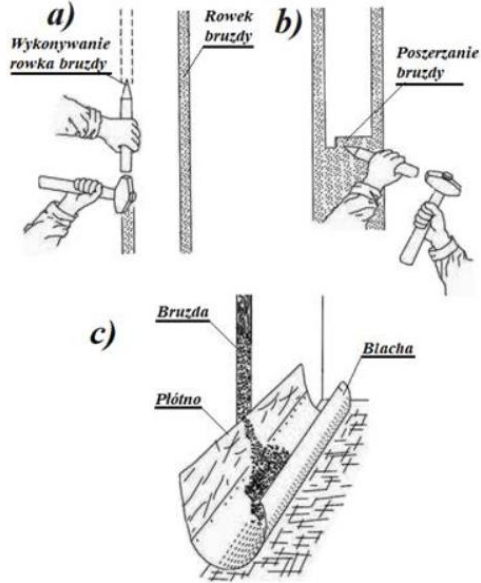
OD WĘGLA
KOKSOWEGO
DO STALI



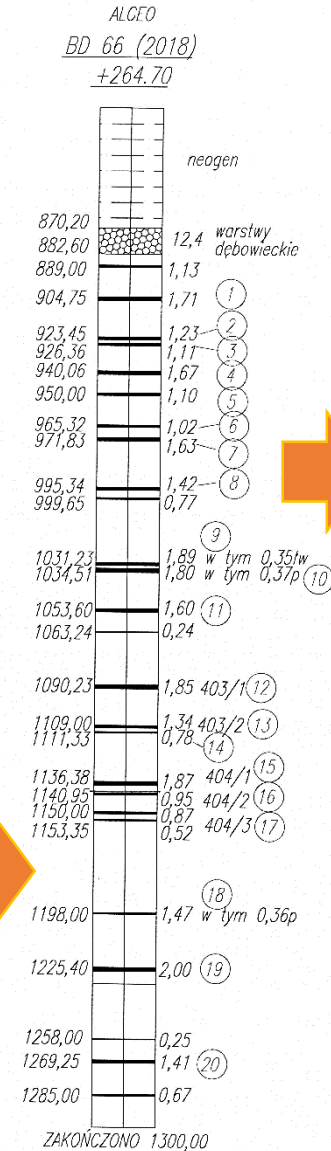
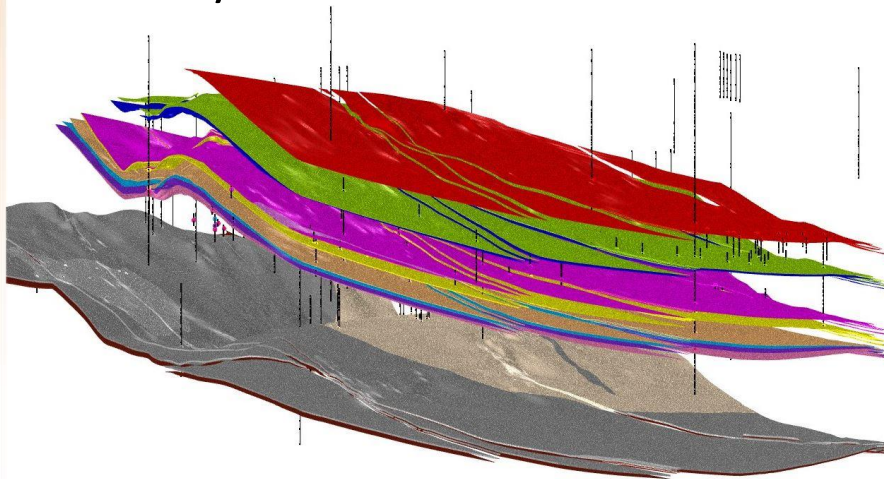
Urządzenia do procesu koksowania w warunkach laboratoryjnych oraz oznaczania CRI/CSR wg ISO 18894:2018 (Centralne Laboratorium Badawczo Pomiarowe)

Pobieranie prób geologicznych do badań

Próba bruzdowa



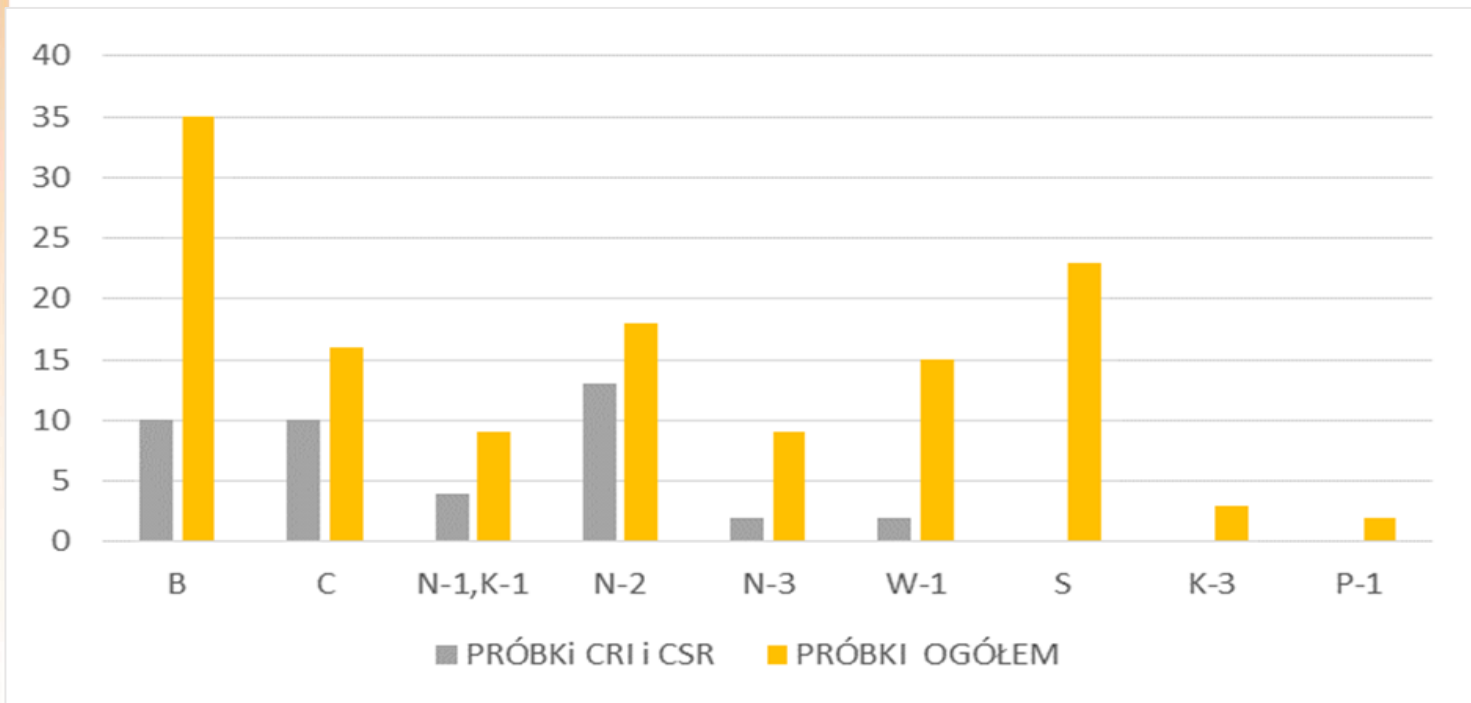
Odwierty



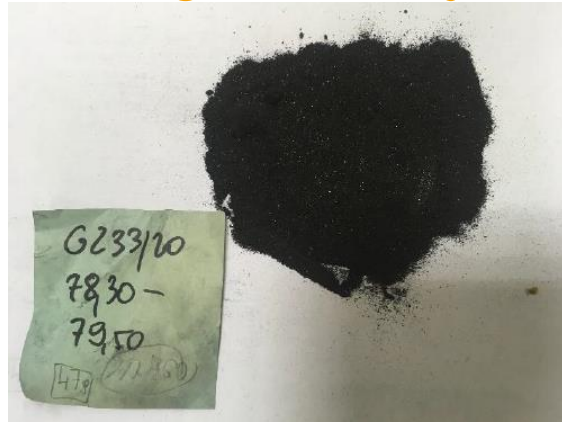
Badanie jakości złoża a liczność próbek

OD WĘGLA
KOKSOWEGO
DO STALI

PARTIA	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	
N-1	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█																	
B			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█																
C				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
N-2							█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
W-1														█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
N-3														█	█														
P-1																						█	█	█	█	█	█	█	█
K-3																													



Prognozowanie CRI/CSR na podstawie parametrów petrograficznych



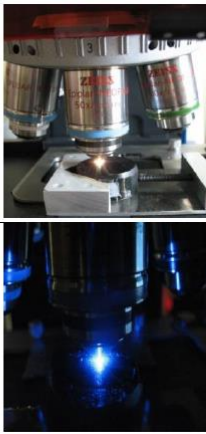
próba z otworu badawczego



automatyczna szlifierko-polerka



automatyczny mikroskop optyczny

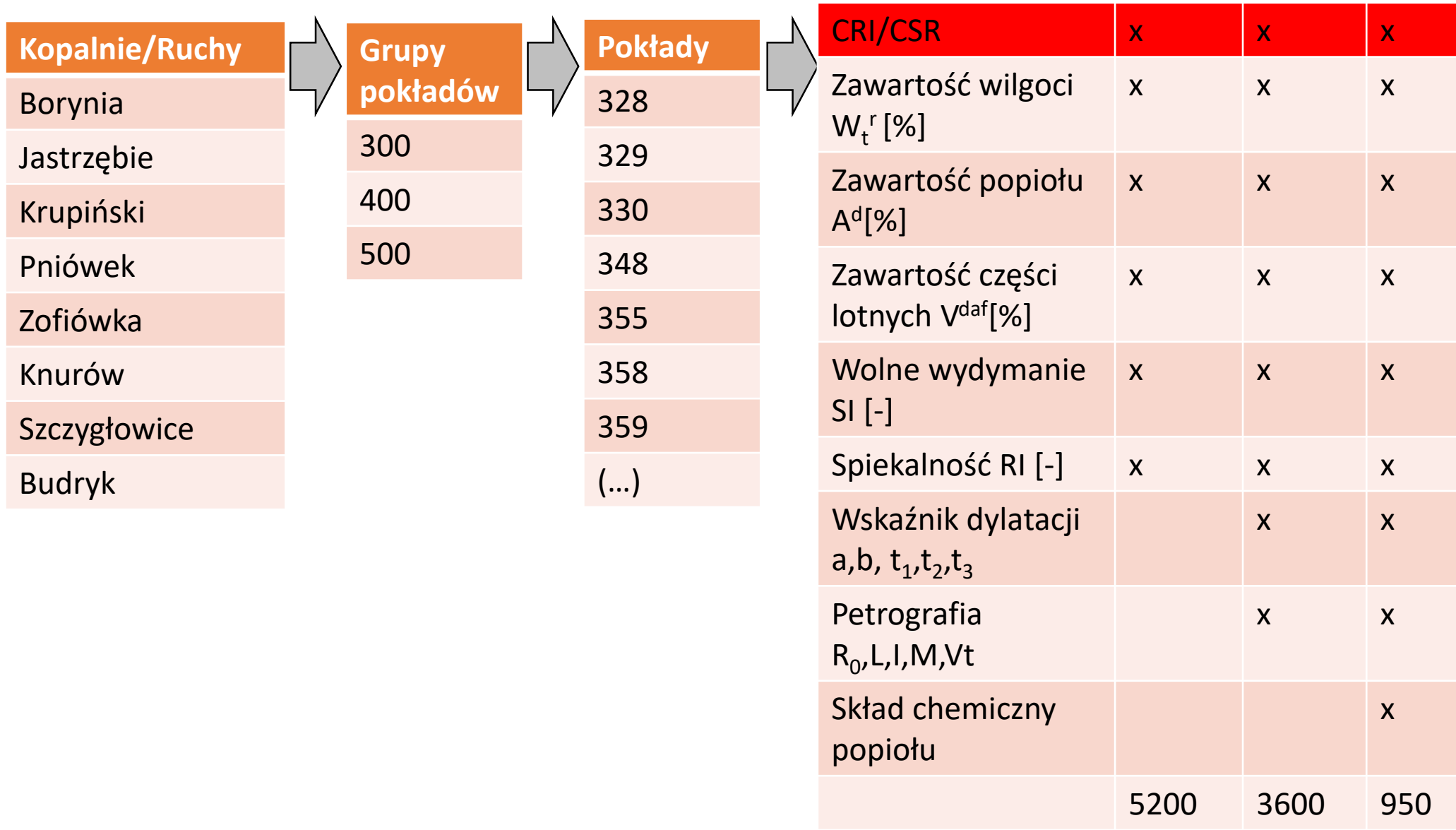


NR SZYK	Nr próbki KWK	Nr próbki UŚ	R ₀ refleksyjność wityrynytu	RfScan refleksyjność Scamu	ReScan parametr do prognozy CSR CRI	prognoza CSR		prognoza CRI		Σ Wityrynit wraz z sub. min.	Σ Lipitynit wraz z sub. min.	Σ Inertynyit wraz z sub. min.	materia mineralna	Σ Wityrynit bez sub. miner.	Σ Lipitynit bez sub. miner.	Σ Inertynyit bez sub. miner.	materia mineralna	PMW - Ocena porowatości próby węglowej na podstawie petrografii optycznej
						50,97	36,33	53,52	33,96									
42 023 058	3726/20	20.421	1,0725			50,97	36,33	58,6	5,8	34,4	1,2	59,3	5,9	34,8	0,0	0,00		
42 023 024	3717/20	20.425	1,1407			53,52	33,96	58,6	8,2	33,2	0,0	58,6	8,2	33,2	0,0	0,40		
42 023 063	3722/20	20.428	1,1726			54,33	33,59	60,3	4,2	28,7	6,8	64,7	4,5	30,8	0,0	0,21		
42 023 023	3716/20	20.433	1,1735			65,19	27,85	67,2	7,0	20,6	5,2	70,9	7,4	21,7	0,0	0,00		
42 023 025	3718/20	20.420	1,2916			61,17	29,11	61,8	7,6	24,8	5,8	65,6	8,1	26,3	0,0	0,00		
42 023 060	3719/20	20.430	1,1891			65,67	27,25	66,2	8,4	24,2	1,2	67,0	8,5	24,5	0,0	0,81		
42 023 061	3720/20	20.422	1,1922			62,14	29,88	56,0	5,8	23,6	14,6	65,6	6,8	27,6	0,0	0,00		
42 023 062	3721/20	20.423	1,2429			66,47	25,82	60,8	4,6	23,2	11,4	68,6	5,2	26,2	0,0	0,00		
42 023 064	3723/20	20.429	1,2089			60,85	30,61	59,4	5,8	25,4	9,4	65,6	6,4	28,0	0,0	0,00		
42 023 065	3724/20	20.432	1,2176			63,58	28,40	61,4	5,6	23,8	9,2	67,6	6,2	26,2	0,0	0,22		
42 023 059	3725/20	20.426	1,1704			67,92	25,82	67,6	9,0	22,6	0,8	68,1	9,1	22,8	0,0	0,00		
42 023 057	3727/20	20.427	1,1752			64,87	28,07	64,2	8,0	23,4	4,4	67,1	8,4	24,5	0,0	0,42		
42 023 149	3730/20	20.431	1,1658			68,72	25,28	62,4	5,6	20,8	11,2	70,3	6,3	23,4	0,0	0,00		

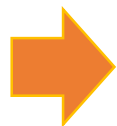
raport z badań

Analiza archiwalnych danych jakościowych

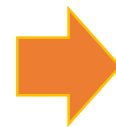
OD WĘGLA
KOKSOWEGO
DO STALI



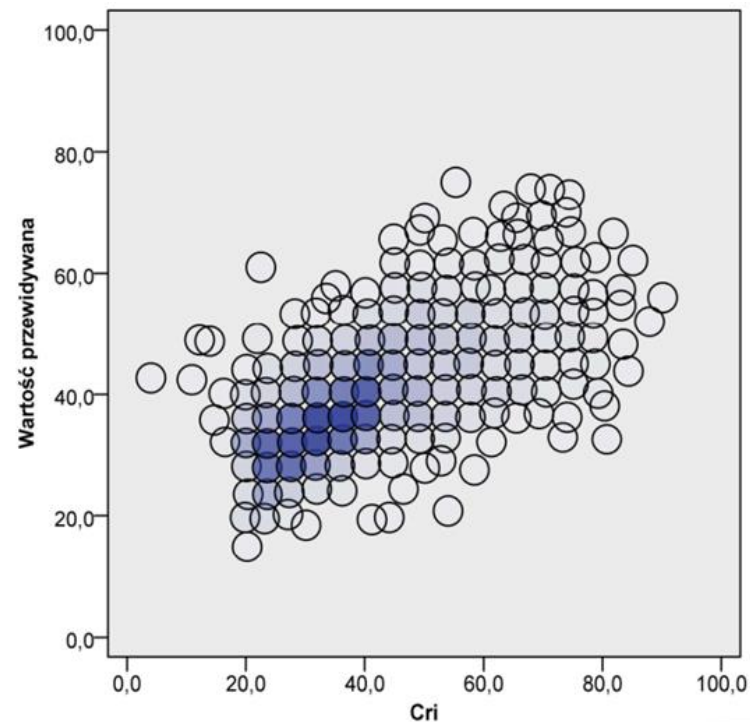
CRI/CSR
W_t^r [%]
A^d [%]
V^{daf} [%]
SI [-]
RI [-]
a, b, t_1, t_2, t_3
R_0, L, I, M, Vt
SChP



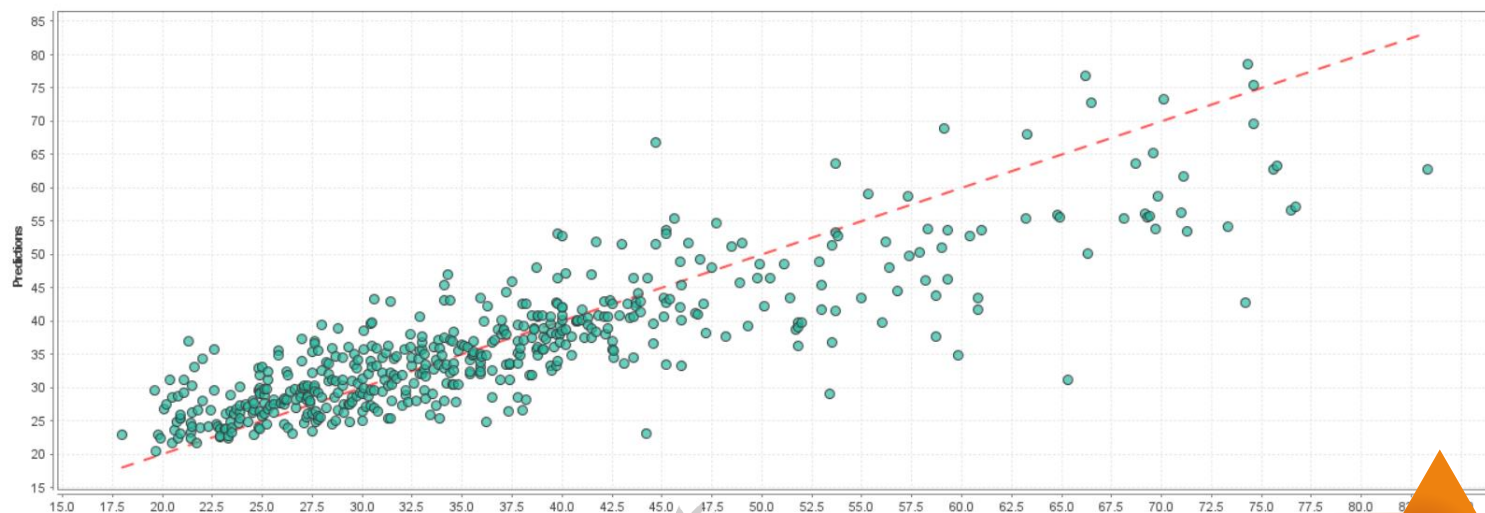
Al_2O_3	-0,669
SiO_2	-0,619
K_2O	-0,455
SI	-0,450
B	-0,374
P_2O_5	-0,324
RI	-0,317
Ad	-0,248
TiO_2	-0,203
Na_2O	-0,095
Std	-0,078
V^{daf}	0,116
Fe_2O_3	0,412
Mn_3O_4	0,561
CaO	0,700
SO_3	0,721
MgO	0,735



Analiza regresji liniowej



Model	Korelacja Liniowa
Generalized Linear Model	0,84
Deep Learning	0,86
Decision Tree	0,71
Random Forest	0,85
Gradient Boosted Trees	0,79
Support Vector Machine	0,85



Baza danych i statystyka

Globalne znaczenie poszczególnych parametrów wejściowych na prognozowaną wartość parametru CRI, niezależnie od algorytmu.

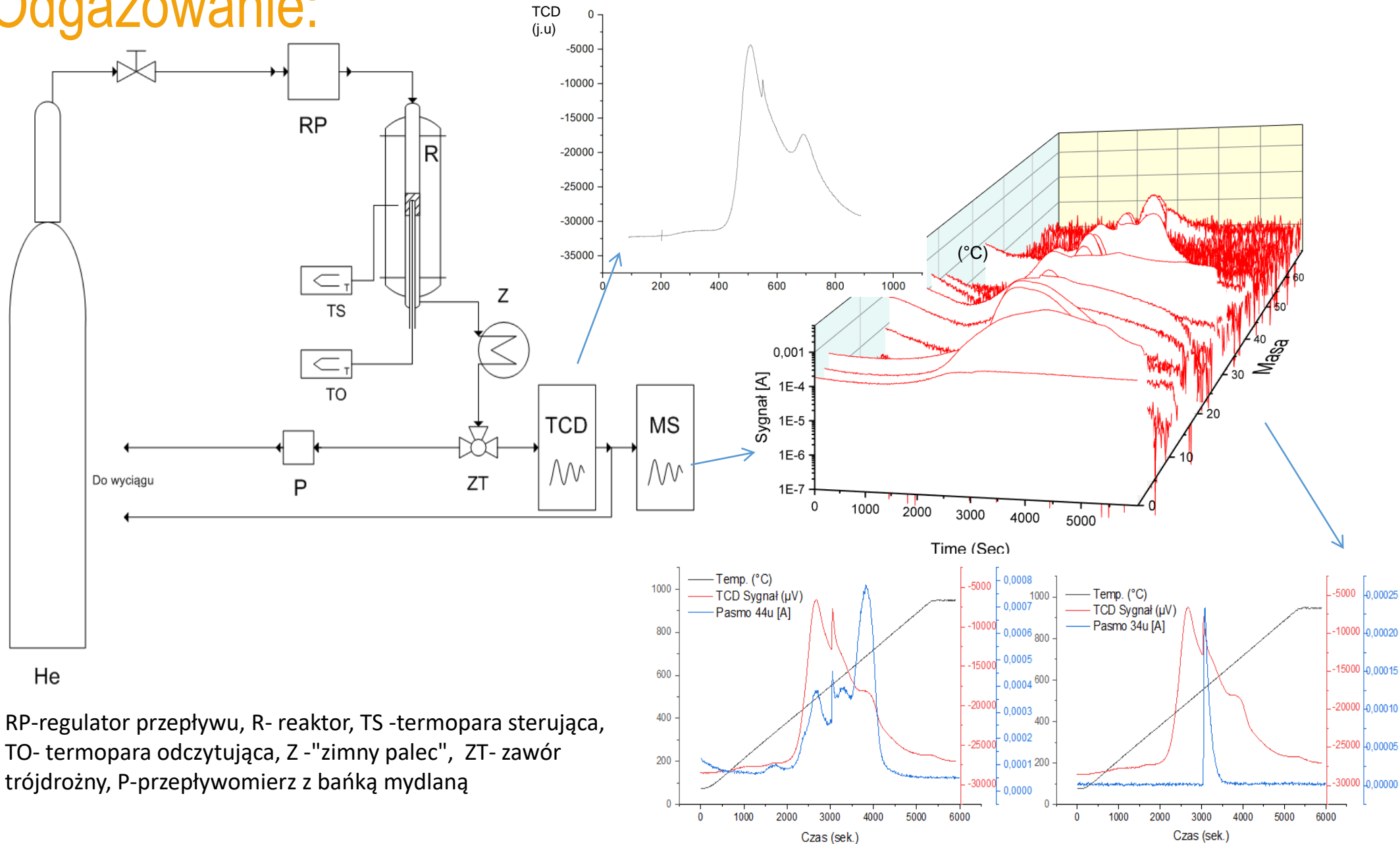
Model	Korelacja Liniowa
Generalized Linear Model	0,84
Deep Learning	0,86
Decision Tree	0,71
Random Forest	0,85
Gradient Boosted Trees	0,79
Support Vector Machine	0,85



Attribute	Weight
Mgo	0.728
So3	0.704
Cao	0.673
Al2o3	0.636
Sio2	0.583
Mn3o4	0.491
K2o	0.434
Si	0.402
Fe2o3	0.367
B	0.341
T lii	0.332
P2o5	0.300
Pa	0.298

Nowa alternatywna metoda prognozowania CRI/CSR: Odgazowanie:

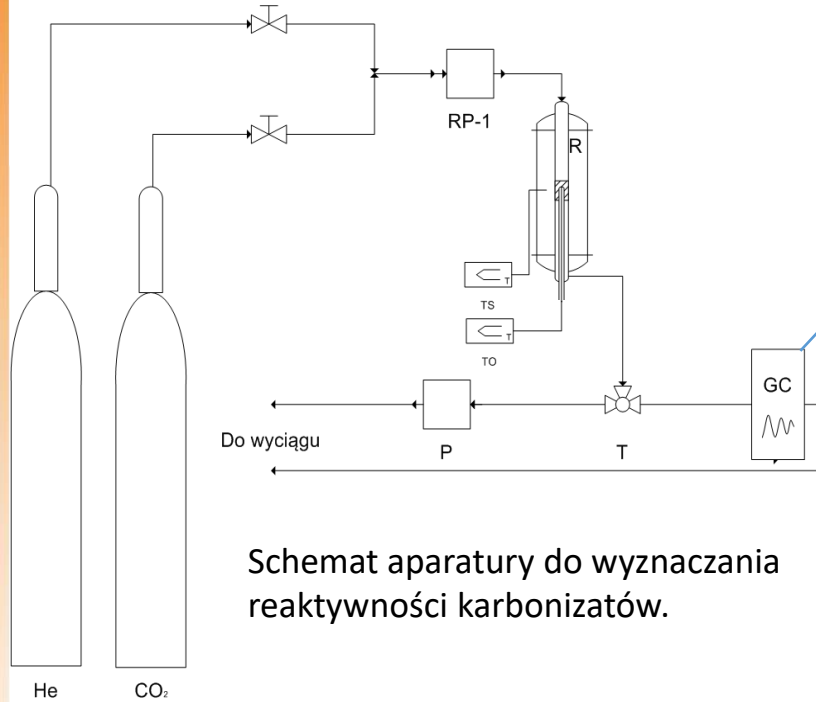
OD WĘGLA
KOKSOWEGO
DO STALI



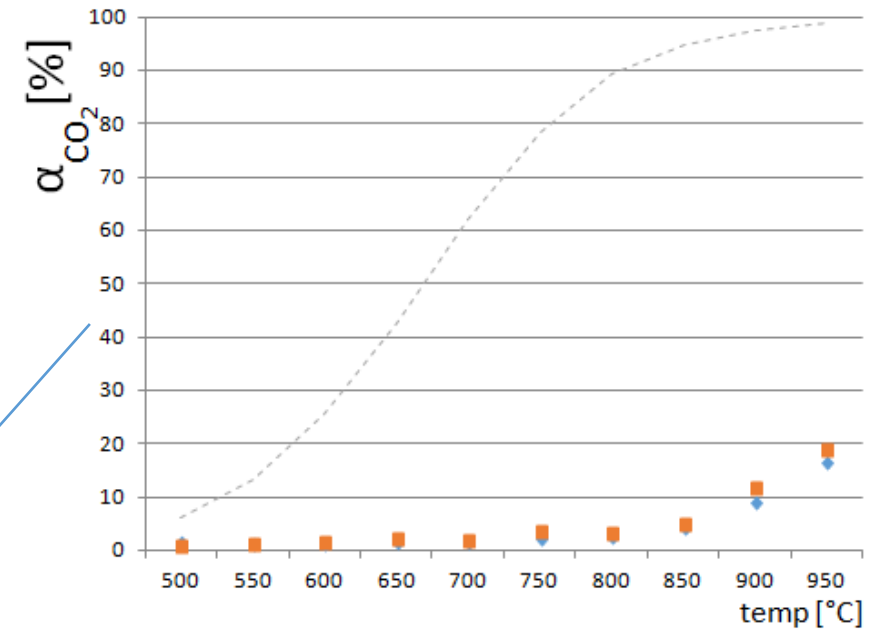
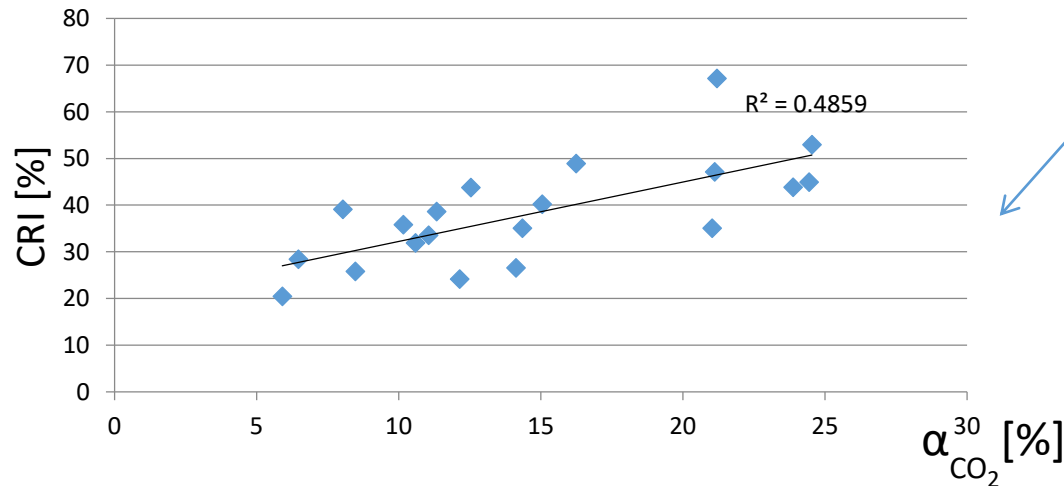
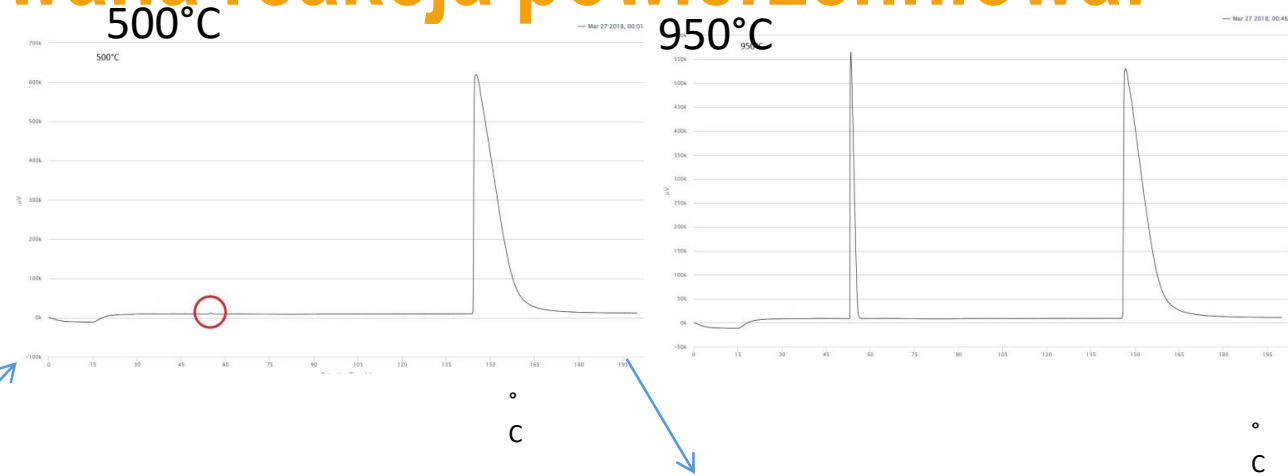
RP-regulator przepływu, R- reaktor, TS -termopara sterująca,
TO- termopara odczytująca, Z -"zimny palec", ZT- zawór
trójdrożny, P-przepływomierz z bańką mydlaną

TPRS- termoprogramowana reakcja powierzchniowa:

OD WĘGLA
KOKSOWEGO
DO STALI



Schemat aparatury do wyznaczania reaktywności karbonizatów.



TPRS- termoprogramowana reakcja powierzchniowa

skład chemiczny popiołu

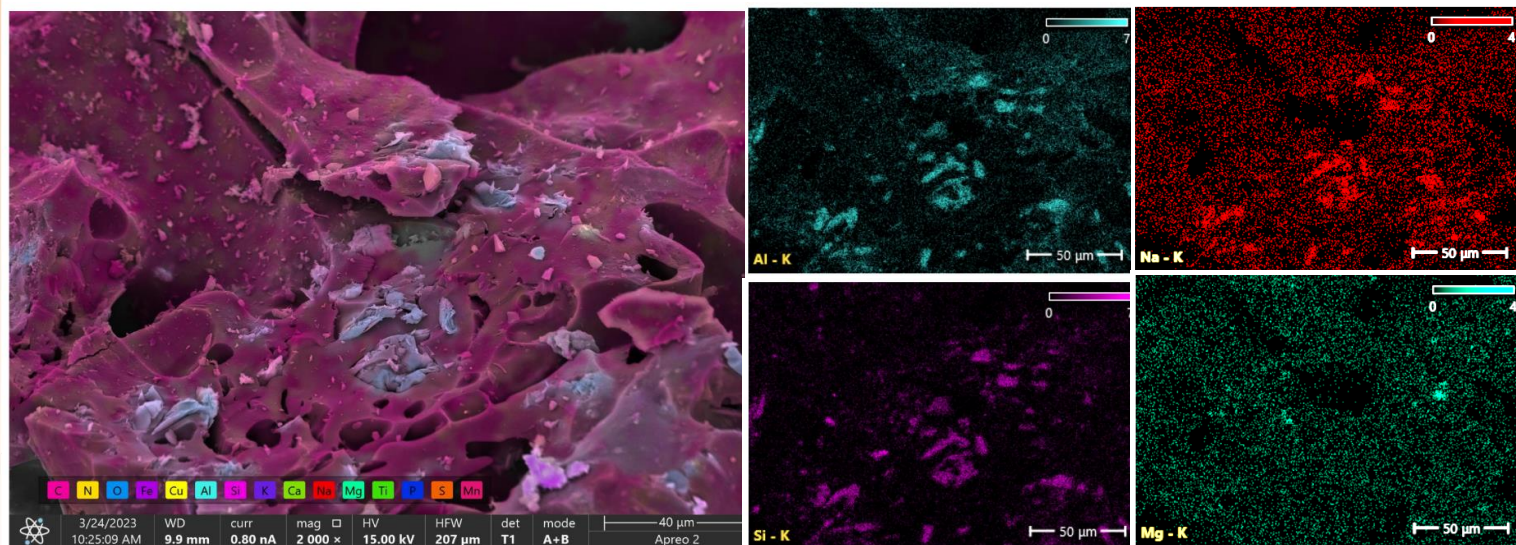
Niektóre składniki substancji mineralnej działają katalizująco na reakcje Boudouarda, powodują lokalny spadek stopnia anizotropii bądź ulegają redukcji bezpośrednio na matrycy osłabiając jej wytrzymałość.

$$\left(\frac{CaO + MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3} \right)$$

powierzchnia właściwa

Kluczowym czynnikiem wpływającym na zdolność reakcyjną jest powierzchnia właściwa oraz zawartość makro-, mezo- i mikroporów.

OD WĘGLA
KOKSOWEGO
DO STALI



Analiza składu chemicznego w mikroobszarach metodą SEM\EDS pozwala oznaczyć stopień dyspersji składników co może dać lepsze rezultaty w oznaczaniu reaktywności niż opis tylko stosowany do tej pory opis ilościowy.

Wnioski

- Prawidłowe rozpoznanie złoża jest niezbędne, ponieważ pozwala podejmować strategiczne decyzje w zakresie: wyceny, opłacalności eksploatacji i koncesji
- Prognozowanie kluczowych parametrów jakości węgla koksowego jest strategicznym procesem w JSW S.A.
- Prace nad zastosowaniem AI w prognozowaniu jakości złoża w JSW są perspektywiczne i będą kontynuowane wraz z rzeczywistym opróbowaniem złoża i wykonywaniem badań jakościowych.
- Możliwość prognozowania wskaźników CRI/CSR dla próbek o małej masie jest niezbędna z punktu widzenia możliwości rozpoznania złoża
- Kluczowym zagadnieniem w prognozowaniu wskaźnika reakcyjności koksu i wskaźnika wytrzymałości poreakcyjnej jest opracowanie matematycznego modelu wpływu poszczególnych parametrów na reaktywność koksu



Dziękuję za uwagę

Jan Marcisz

Aleja Jana Pawła II 4
44-330 Jastrzębie-Zdrój

tel.: +48 32 756-41-13 fax: +48 32 476-26-71
www.jsw.pl js@jsw.pl

