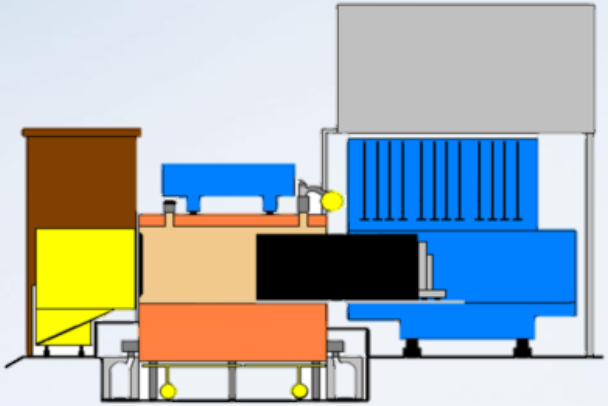
INSTYTUT CHEMICZNEJ PRZERÓBKI WĘGLA

niepodległa

POLSKA
STULECIE ODZYSKANIA
NIEPODLEGŁOŚCI



AGH

Wpływ czynników surowcowych i operacji ubijania wsadu na wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego i jakość otrzymanego koksu

Michał REJDAK*, Andrzej STRUGAŁA**, Aleksander SOBOLEWSKI*

*Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ** AGH Kraków

Koksownictwo 2018

Plan prezentacji

- Wprowadzenie
- Uzasadnienie wyboru tematu pracy
- Cel i koncepcja realizacji pracy
- Stosowane narzędzia badawcze
- Wyniki badań
- Podsumowanie

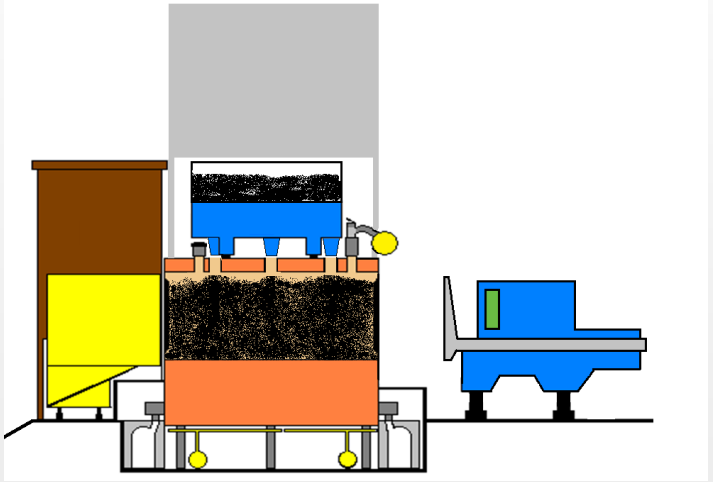
1. Wprowadzenie:

- W technologii koksowniczej stosowane są **dwa systemy** napełniania komór wsadem węglowym – **system ubijany i system zasypowy** (obecnie produkcja systemem ubijanym stanowi ok. 30-35%)
- W **systemie zasypowym** obsadzanie komór koksowniczych mieszanką węglową odbywa się w sposób **grawitacyjny**.
- W **systemie ubijanym**, wsad węglowy wprowadzany jest do komory w postaci **silnie zagęszczonego naboju** (brykietu).
- Zastosowanie każdego z tych systemów w sposób bezpośredni wpływa na **gęstość wsadu** a w konsekwencji na **jakość otrzymanego koksu** oraz **zdolność produkcyjną** komór koksowniczych

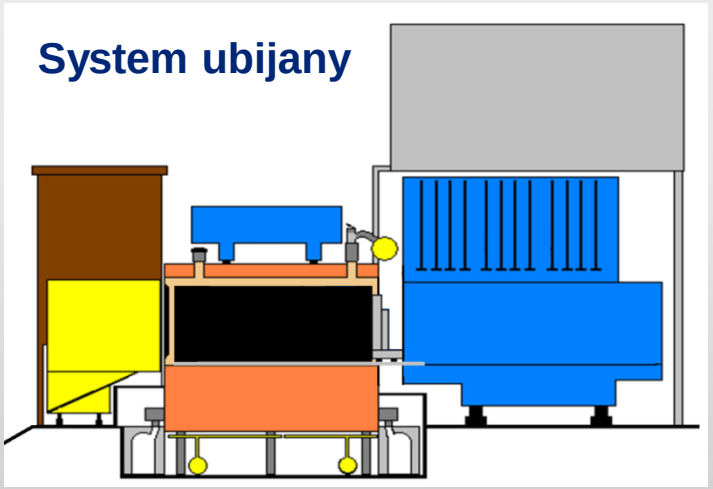
PARAMETRY WSADU WĘGLOWEGO - PORÓWNANIE

	System zasypowy	System ubijany
gęstość w st. roboczym, kg/m^3	750 - 850	1000 - 1150
gęstość w st. suchym, kg/m	690-780	900-1050
uziarnienie, % <3.15mm	75 - 85	90 - 95
zawartość wilgoci, %	8 - 9	9 -11
porowatość wsadu, %	~45 - 50	~25 - 35

System zasypowy

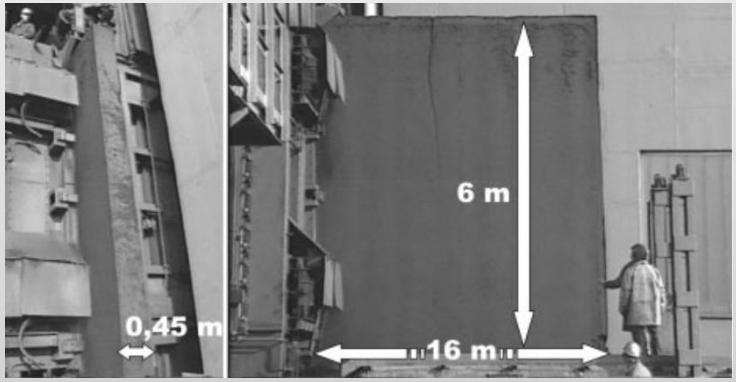


System ubijany



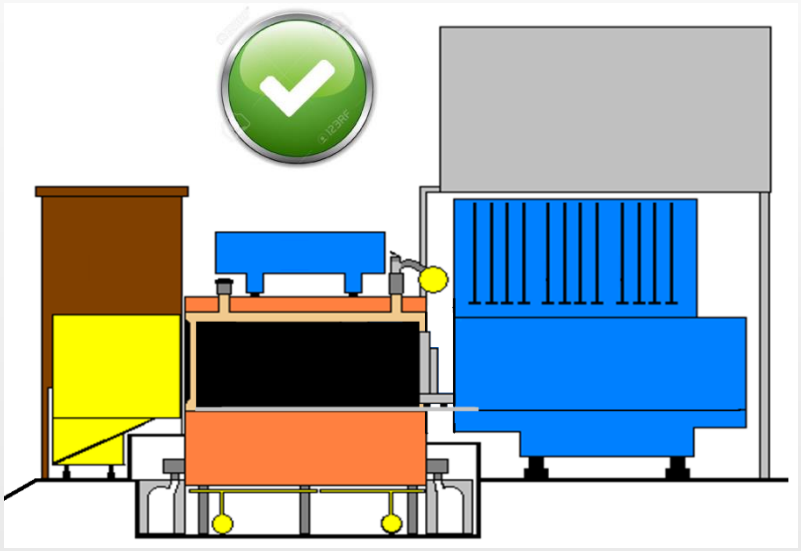
2. Uzasadnienie wyboru tematu pracy

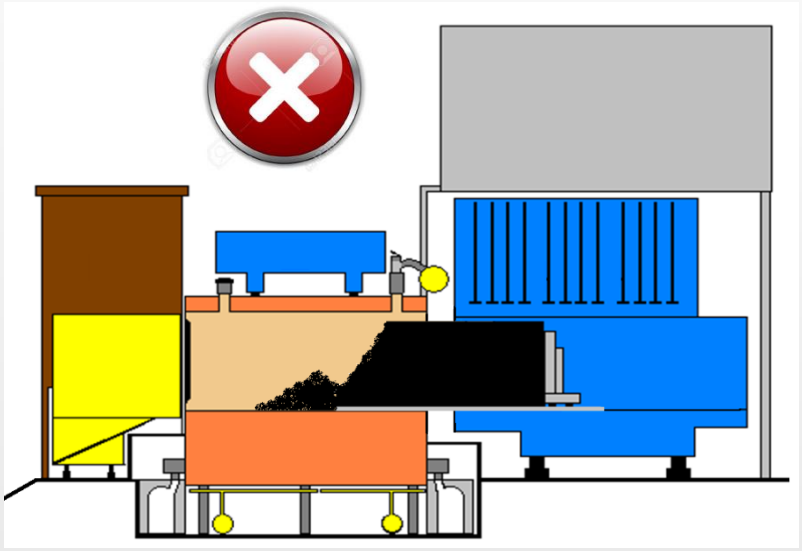
- ✓ **Wzrost zainteresowania produkcją koksu z wykorzystaniem metody wsadu ubijanego** - sygnalizowane przez „przemysł” problemy eksploatacyjne związane z destrukcją ubitego wsadu podczas obsadzania komór koksowniczych – (preparacja – gęstość wsadu, wytrzymałość mechaniczna, wdrożenie baterii wielkokomorowych)**.**
- ✓ **Konieczność weryfikacji i poszerzenia obecnego stanu wiedzy w zakresie przygotowania wsadu ubijanego:**
  - ✓ oddziaływania właściwości surowca oraz warunków prowadzenia procesu ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną naboju węglowego (**brak kompleksowych danych**).
  - ✓ wpływu procesu ubijania (gęstości wsadu) na właściwości charakteryzujące strukturę i teksturę koksu oraz parametry technologiczne koksu oceniane metodą **NSC** – **reakcyjność CRI i wytrzymałość poreakcyjna CSR**
- ✓ **Konieczność skwantyfikowania wpływu kluczowych czynników kształtujących proces produkcji koksu metodą wsadu ubijanego jako podstawa do jego dalszej „przemysłowej” optymalizacji**



2. Uzasadnienie wyboru tematu pracy

Aby wyprodukować koks trzeba przygotować wsad !





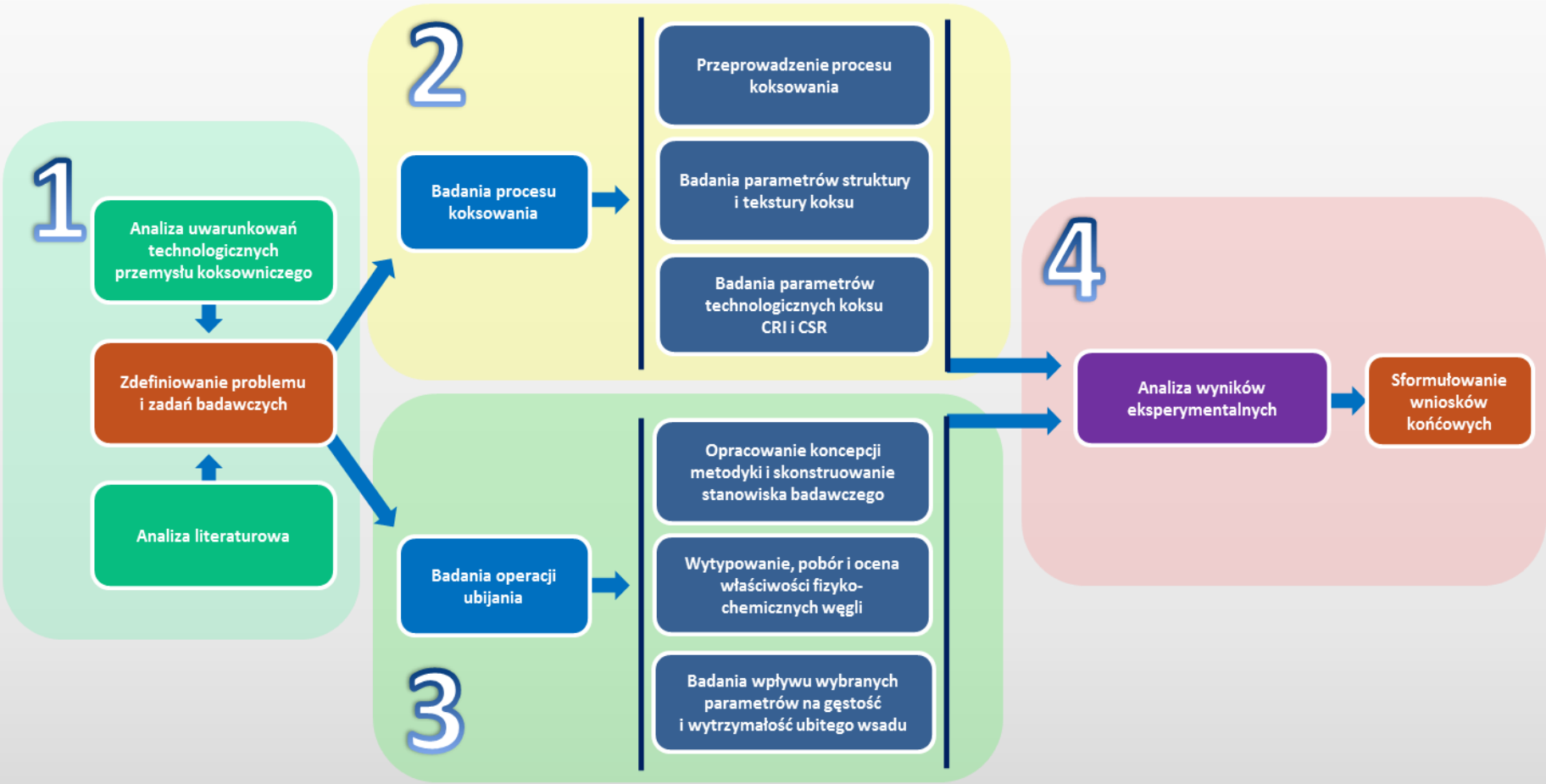
Zastosowanie systemu ubijanego wymaga przygotowania ubitego wsadu węglowego:

- ✓ **o gęstości zapewniającej otrzymanie koksu o odpowiedniej jakości**
- ✓ **wytrzymałości gwarantującej jego bezproblemowy załadunek do komory koksowniczej.**

3. Cel i koncepcja realizacji pracy

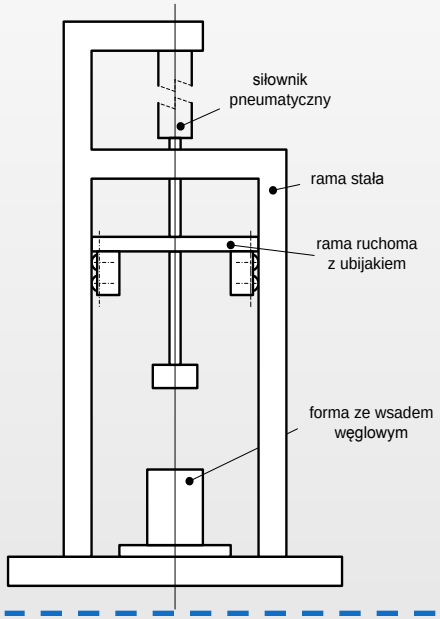
- ✓ **opracowanie koncepcji metodyki i skonstruowanie zestawu narzędzi badawczych do kompleksowej oceny operacji ubijania wsadu węglowego,**
- ✓ **ocena wpływu operacji ubijania wsadu (wpływu jego gęstości) oraz zawartości węgli gazowo-koksowych w mieszance wsadowej na wybrane parametry struktury, tekstury i jakościowe otrzymanego koksu (w tym określenie korelacji między nimi) w aspekcie możliwości wprowadzenia do mieszanki wsadowej większej ilości węgli gazowo-koksowych,**
- ✓ **identyfikacja wpływu czynników surowcowych i parametrów operacji ubijania wsadu na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego i opracowanie empirycznego opisu matematycznego**

3. Cel i koncepcja realizacji pracy

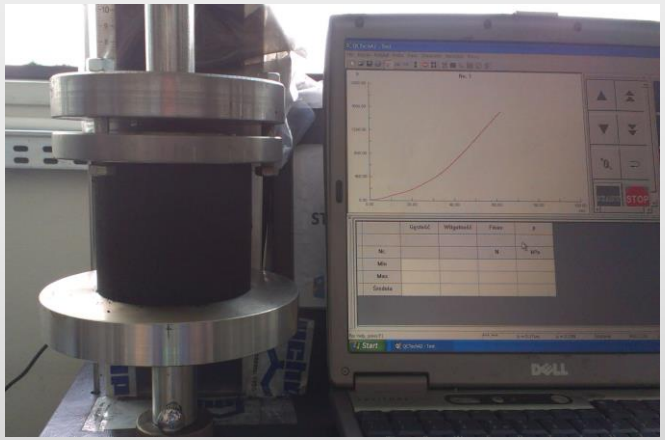


4. Stosowane narzędzia badawcze:

Stanowisko do badań przygotowania wsadu koksowniczego o wysokim zagęszczeniu metodą udarową



Stanowisko do badania wytrzymałości wsadu węglowego



Pozostałe metody/techniki badawcze

- Karbotest, test NSC (ocena jakości koksu)
- Mikroskopia optyczna, (ocena tekstury optycznej)
- Dyfraktometria XRD (ocena mikrotekstury)
- Adsorpcja N_2 i CO_2 (ocena mikrostruktury koksu)
- Piknometria (gęstość rzeczywista, porowatość całkowita)

5. Wyniki badań
Badania wpływu operacji ubijania na parametry strukturalne i jakościowe wytwarzanego koksu

TESTY KOKSOWANIA

- ✓ 3 mieszanki wsadowe o zróżnicowanej zawartości węgla typu 34 (20, 30 i 40%) i składzie zbliżonym do stosowanego w przemyśle
- ✓ 5 poziomów gęstości odpowiadających zakresowi uzyskiwanemu w przemyśle dla systemu zasypowego i ubijanego: 760 - 1100 kg/m^3 (w stanie roboczym), 686-990 kg/m^3 (w stanie suchym)
- ✓ Koksowanie w instalacji Karbotest
- ✓ Kompleksowe badania struktury, tekstury i jakości koksu
  - ✓ Mikrostruktura koksu (XRD)
  - ✓ Anizotropia optyczna koksu
  - ✓ Parametry struktury porowatej -metody adsorpcji CO_2 i N_2, metody piknometryczne
  - ✓ Parametry technologiczne koksu - NSC (CRI i CSR)

Oznaczenie	BD20	BD30	BD40
Zawartość wilgoci, W_t^r, %	10	10	10
Zawartość cz. lotnych, V^{daf}, %	26,64	27,98	29,01
Liczba Rogi RI	64	64	68
Wskaźnik wolnego wydymania FSI	7	7,5	7,5
Ciśnienie rozprężania P_{max}, kPa	116	66,5	67,2
Kontrakcja, a	22	28	27
Dylatacja, b	+100	+86	+74
Maksimum plastyczności F_{max}, ddpm	584	835	1080
Refleksyjność witrynitu R, %	1,07	1,05	1,03
Analiza sitowa, %:			
< 3,15mm	94,6	94,6	92,9
< 0,5mm	58,8	54,6	53,3

5. Wyniki badań – c.d.:
Zbiorcze wyniki badań parametrów struktury i tekstury koksu

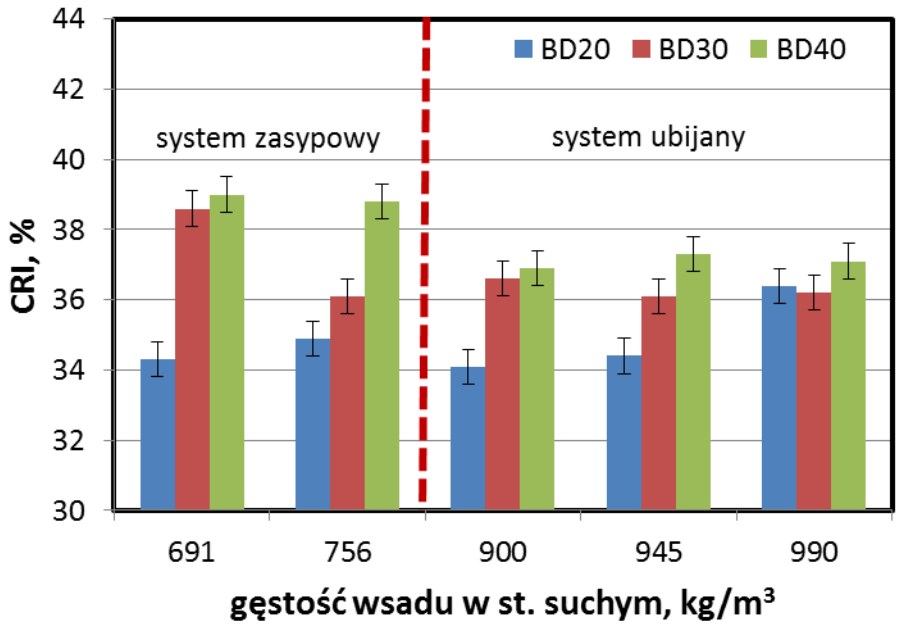
parametry technologiczne wsadu węglowego			parametry krystalograficzne koksu (XRD)			parametry strukturalne wyznaczone met. adsorpcyjnymi (CO_2/N_2)				Indeks włókn. tekstury	parametry strukturalne wyznaczone met. piknometrycznymi			
Lp.	Zaw. Węgla typ 34, %	ρ, kg/m^3	L_a, nm	L_c, nm	d_{002}, nm	V_{mikro}, cm^3/g ($\cdot 10^4$) (CO_2)	S_{DR}, m^2/g (CO_2)	V_{mezo}, cm^3/g ($\cdot 10^4$) (N_2)	S_{BET} m^2/g (N_2)	F	ρ_t, g/cm^3	V_{total}, cm^3/g	ρ_{app}, g/cm^3	P, %
BD20	20	762	4,16	1,35	0,351	42,38	9,16	8,41	0,4651	0,33	1,8043	0,5175	0,933	48,2
	20	840	4,31	1,38	0,351	58,68	12,69	6,17	0,3485	0,37	1,8053	0,4816	0,9656	46,5
	20	1000	4,1	1,40	0,351	32,35	7,0	6,79	0,4183	0,39	1,7955	0,474	0,9699	46,0
	20	1050	3,78	1,39	0,352	39,35	8,81	5,09	0,3225	0,38	1,8038	0,4944	0,9534	47,1
	20	1100	3,86	1,38	0,349	47,94	10,36	5,01	0,3088	0,38	1,8086	0,4381	1,009	44,2
BD30	30	768	3,31	1,37	0,350	35,78	7,73	6,08	0,3844	0,29	1,7838	0,5672	0,8824	50,5
	30	840	3,72	1,38	0,351	39,01	8,43	5,86	0,385	0,31	1,8234	0,5256	0,931	48,9
	30	1000	3,56	1,37	0,353	41,85	9,01	6,62	0,3265	0,38	1,8074	0,4929	0,9558	47,1
	30	1050	4,04	1,37	0,351	42,18	9,12	7,62	0,3482	0,40	1,8008	0,461	0,9839	45,4
	30	1100	4,62	1,42	0,352	37,18	8,03	5,95	0,3325	0,32	1,8297	0,4528	1,0006	45,3
BD40	40	778	3,93	1,39	0,351	37,97	8,21	6,0	0,3858	0,33	1,8079	0,5257	0,9268	48,7
	40	840	4,14	1,42	0,352	50,18	10,85	5,9	0,3637	0,33	1,8019	0,4923	0,9548	47,0
	40	1000	4,02	1,38	0,352	44,91	9,71	6,4	0,4075	0,38	1,8055	0,491	0,957	47,0
	40	1050	3,85	1,43	0,352	48,11	10,4	5,72	0,3781	0,38	1,8071	0,4622	0,9845	45,5
	40	1100	4,22	1,44	0,353	44,87	9,7	5,86	0,2785	0,36	1,8148	0,4553	0,9937	45,2

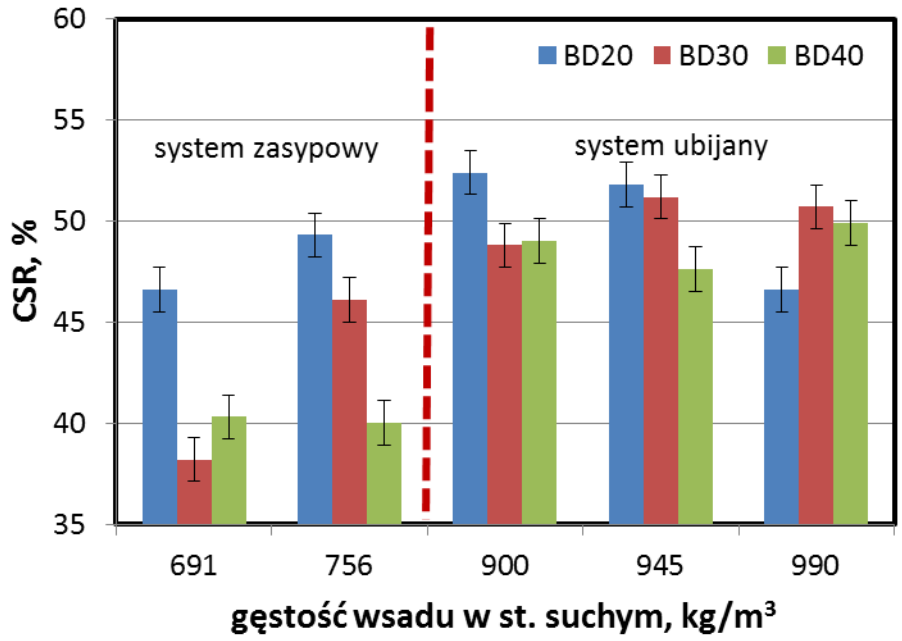
Na podstawie analizy wariancji stwierdzono:

- ✓ **brak istotnych zmian w obrębie struktury mikro- i mezoporów koksu**
- ✓ **Istotne zmiany w obrębie tekstury optycznej i struktury makroporów koksu (czynnik: ρ)**

5. Wyniki badań - c.d.:
Ocena wpływu operacji ubijania wsadu (gęstości) na parametry jakościowe produkowanego koksu CRI i CSR.

Wpływ gęstości wsadu i udziału węgla typu 34 na parametry jakościowe koksu wg metody NSC:





Na podstawie analizy wariancji stwierdzono:

- ✓ **Gęstość wsadu węglowego istotnie wpływa na wskaźnik CSR koksu**
- ✓ **Udział węgla gazowo-koksowego istotnie wpływa na wskaźnik CRI koksu**

Analiza korelacji (rho – Spearmana) wykazała, istotny wpływ tekstury optycznej i struktury makroporów na wskaźnik CSR otrzymanego koksu

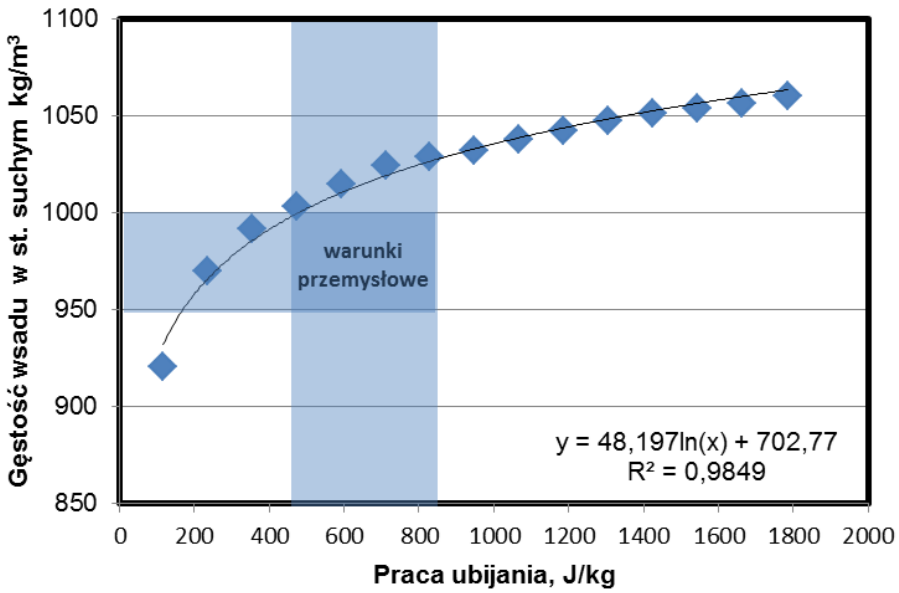
5. Wyniki badań:
Zidentyfikowanie wpływu czynników surowcowych i procesu przygotowania wsadu na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.

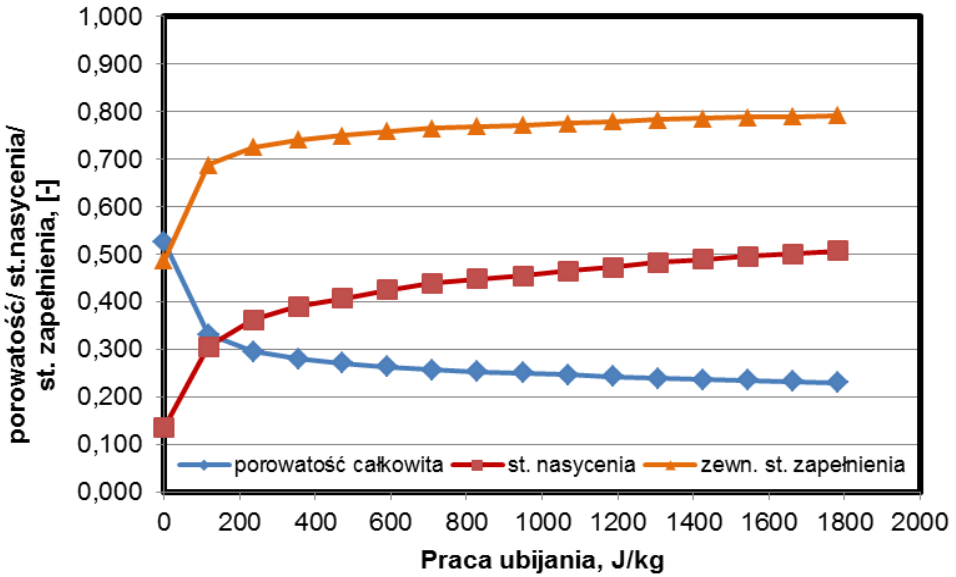
Do badań wytypowano pięć węgli koksujących będących podstawowymi komponentami mieszanek wsadowych oraz skomponowaną z nich czteroskładnikową mieszankę węglową

Oznaczenie	A- JasMos	B- ZofBor	C- Pniówek	D- Budryk	E- Marcel
wilgoć, W^a %	0,6	0,9	0,7	1	1,1
popiół , A^d, %	4,8	7,9	10,5	4,6	5,6
części lotne , V^{daf}, %	22,32	24,82	27,87	35,92	34,06
węgiel, C^{daf},%	90,2	89,3	88,4	85,4	86,3
azot, N^{daf},%	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5
wodór, H^{daf},%	4,7	4,8	5,0	5,3	5,24
siarka, S_t^{daf},%	0,12	0,47	0,52	0,49	0,3
tlen, O^{daf},%	3,8	4,0	4,5	6,4	6,6
RI	64	71	74	77	62
FSI	7,5	8	8	7,5	7
Gęstość rzecz. , ρ^t, g/cm^3	1,373	1,389	1,401	1,344	1,341
przemiał, %<3.15mm	92.9				

5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.

Wpływ pracy ubijania na gęstość, porowatość, stopień nasycenia i zewn. stopień zapełnienia ubitego wsadu węglowego - badania wykonano dla mieszanki czteroskładnikowej



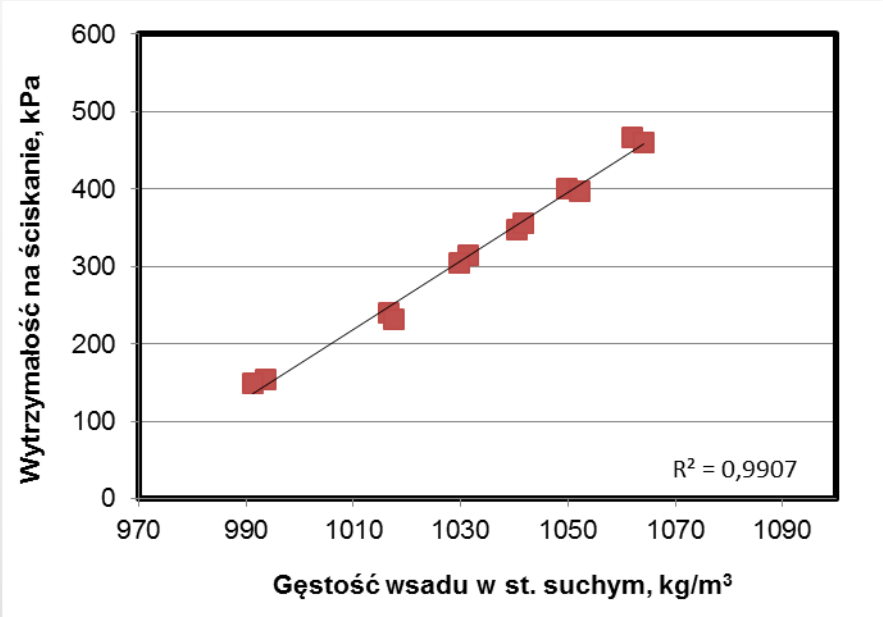


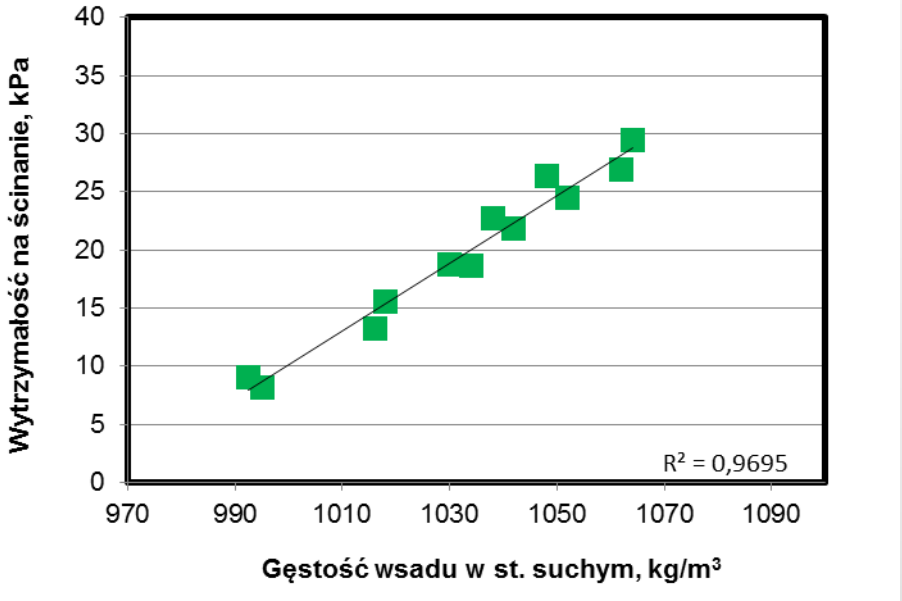
- ✓ **Gęstość wsadu węglowego rośnie wraz ze wzrostem pracy ubijania (charakter logarytmiczny).**
- ✓ **Równocześnie maleje porowatość wsadu oraz rośnie stopień zapełnienia i nasycenia złoża wilgocią – stosunek objętości wilgoci zajmującej pory do objętości porów wsadu.**
- ✓ **Ubijanie węgla pozwala uzyskać gęstość wsadu na poziomie ok. 75-80% gęstości rzeczywistej węgla.**

5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.

Wpływ pracy ubijania na wytrzymałość na ściskanie i ścinanie ubitego wsadu węglowego

Badania wykonano dla mieszanki czteroskładnikowej (W=10%, stopień przemiału 93%<3.15mm)





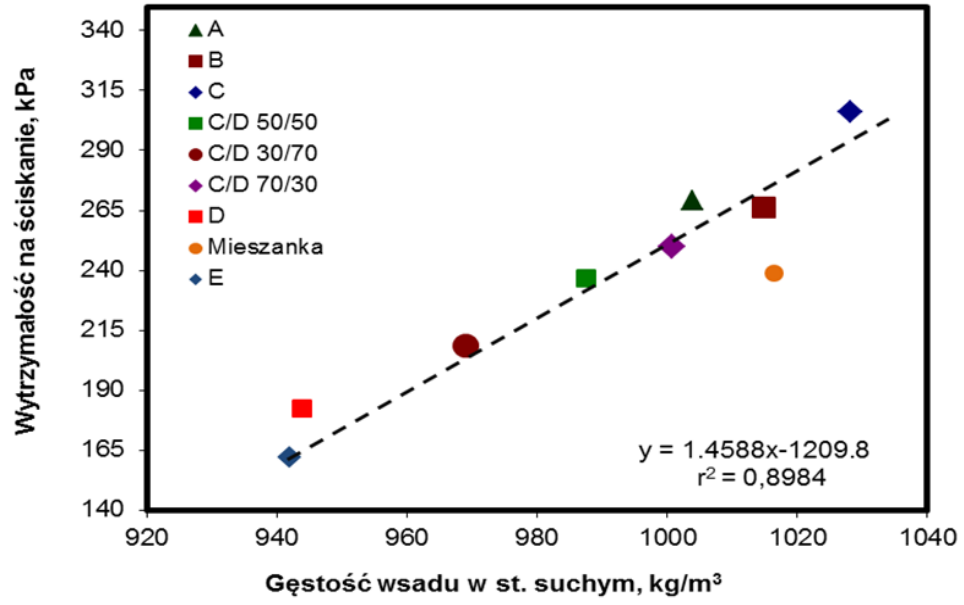
✓ **Wytrzymałość na ściskanie i ścinanie wsadu rośnie liniowo wraz ze wzrostem jego gęstości.**

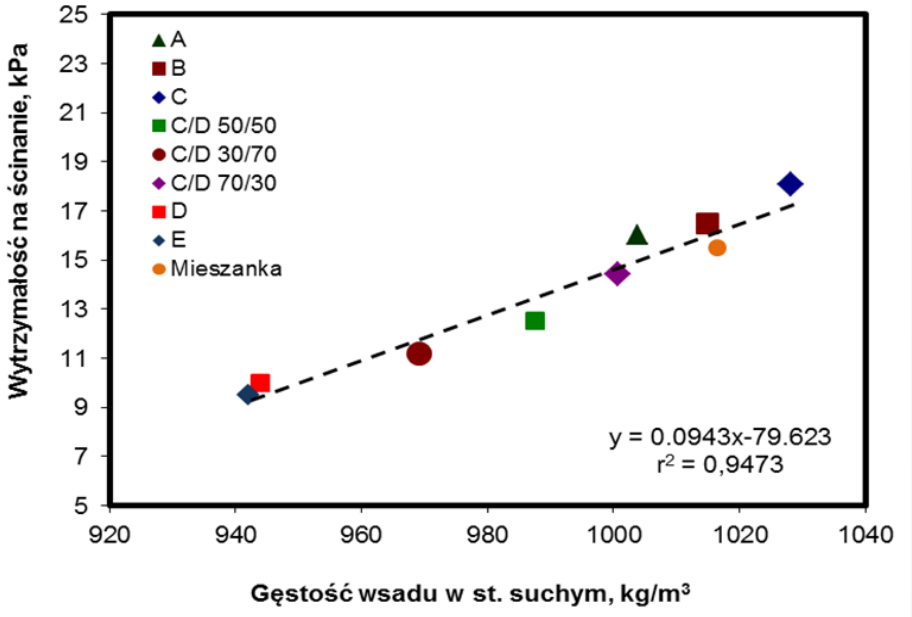
5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.

Wpływ gęstości na wytrzymałość mechaniczną ubitego wsadu węglowego w zależności od typu węgla

(zawartość wilgoci – 10%, stała praca ubijania - ok. 580 J/kg)

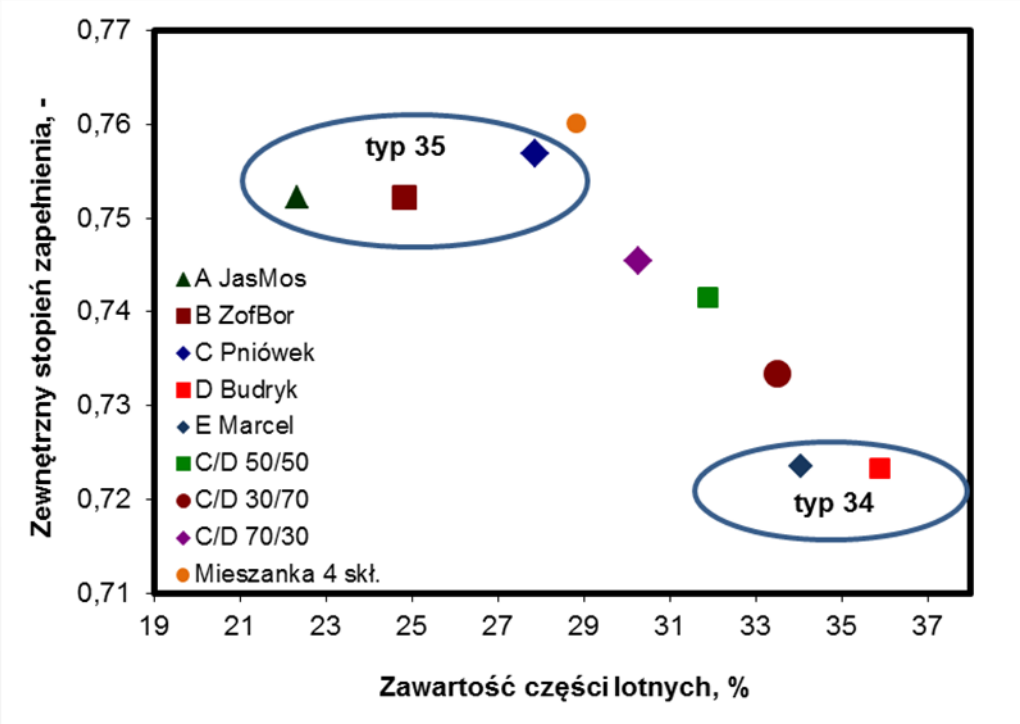
Węgle: A - JasMos, B - Zofiówka, C - Pniówek, D – Budryk, E - Marcel





- ✓ **W zależności od ubijanego węgla, wykonując tą samą pracę ubijania (580 J/kg) uzyskuje się wsad o różnej gęstości. Im wyższy stopień uwęglenia tym wyższa gęstość ubitego naboju węglowego .**
- ✓ **Wytrzymałość mechaniczna ubitego wsadu wzrasta liniowo wraz ze wzrostem jego gęstości.**

5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.



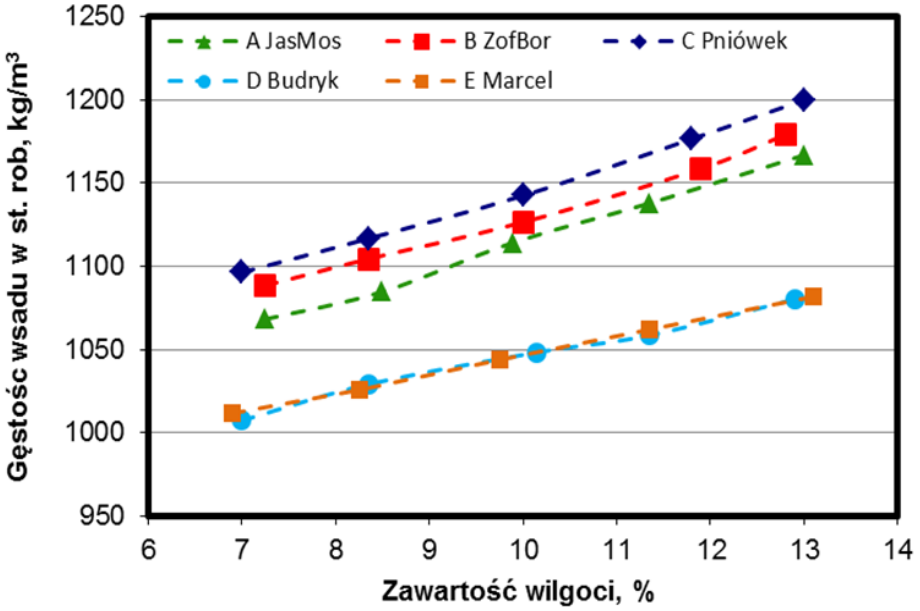
- ✓ Dla węgli typu 35 odnotowano wyższą wartość zewnętrznego stopnia zapełnienia złoża
- ✓ Dla węgli typu 34 odnotowano niższą wartość zewnętrznego stopnia zapełnienia złoża

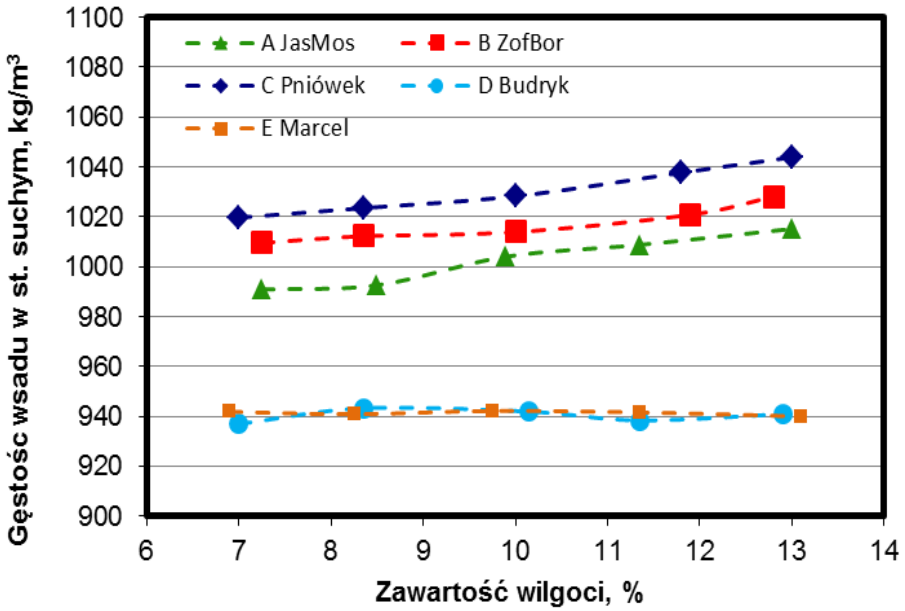
5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.

Wpływ zawartości wilgoci na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego wsadu węglowego

(stała praca ubijania – ok. 580 J/kg – 5 uderzeń ubijaka)

Węgle: A - JasMos, B - Zofiówka, C - Pniówek, D – Budryk, E - Marcel





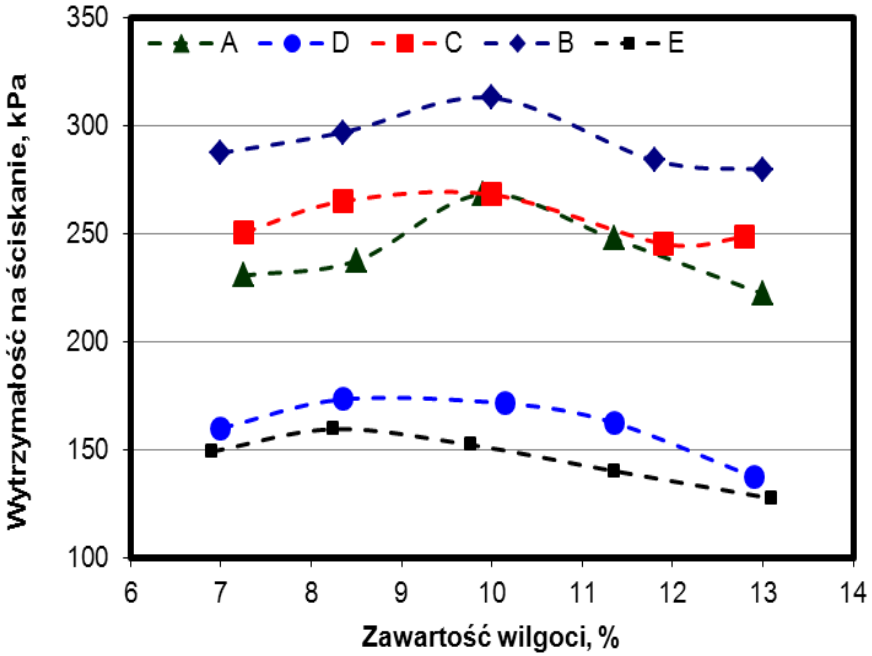
✓ **Znaczny wzrost gęstości wsadu w stanie roboczym, niewielki wzrost w przeliczeniu na stan suchy.**

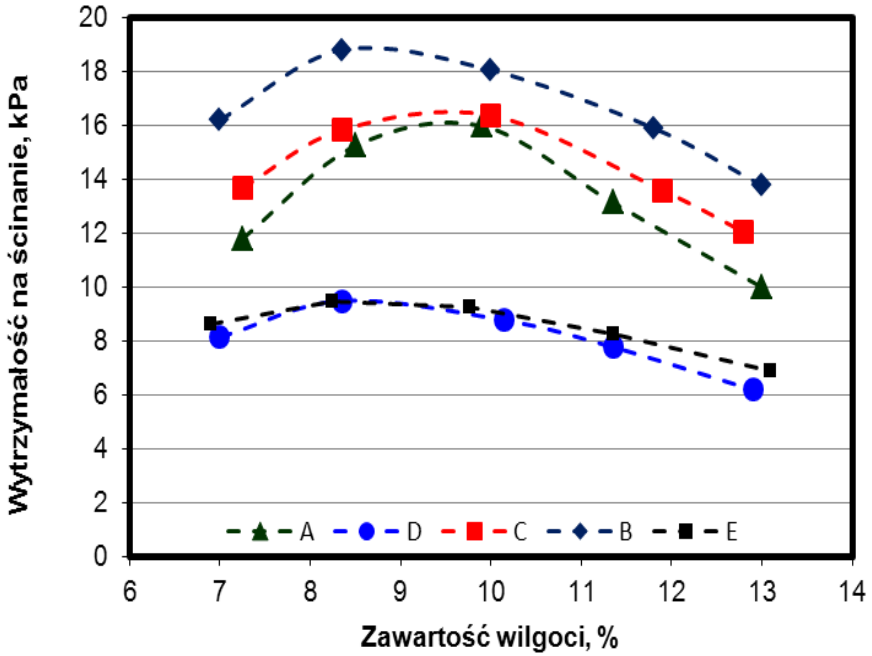
5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.

Wpływ zawartości wilgoci na wytrzymałość mechaniczną ubitego wsadu węglowego

(stała praca ubijania – ok. 580 J/kg – 5 uderzeń ubijaka)

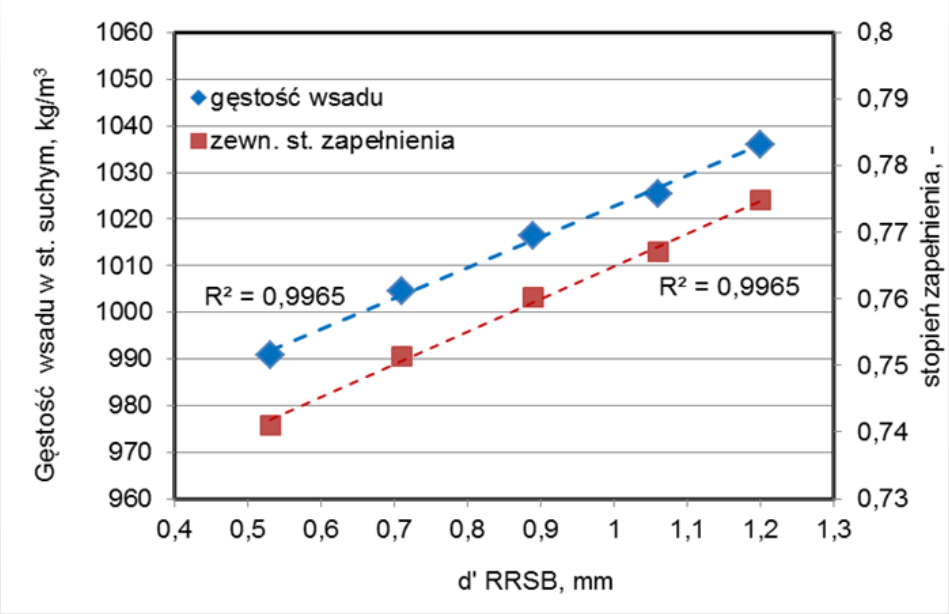
Węgle: A - JasMos, B - Pniówek, C - Zofiówka, D – Budryk, E - Marcel

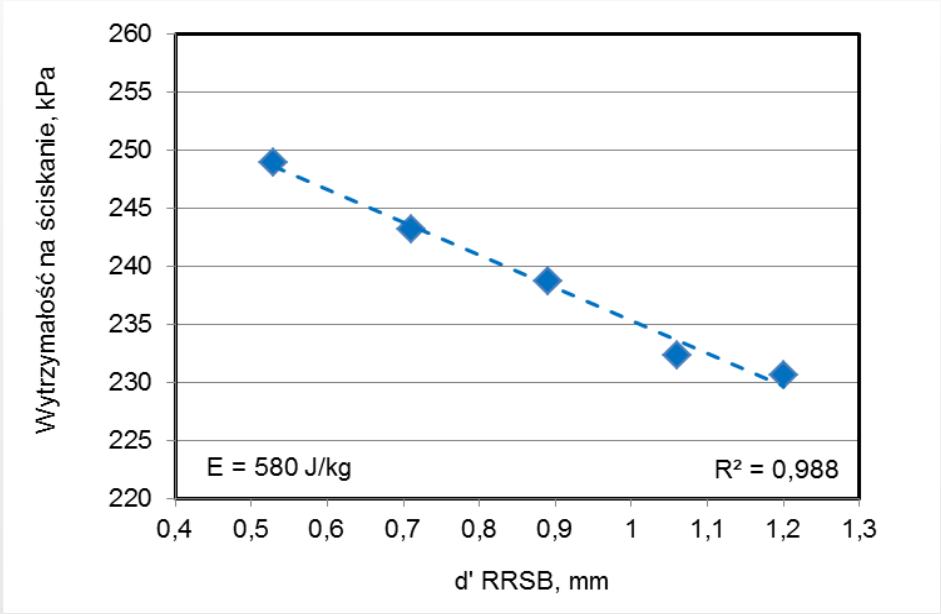




✓ **Najwyższą wytrzymałość mechaniczną uzyskano dla zaw. wilgoci 8,5-10%.**

5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.

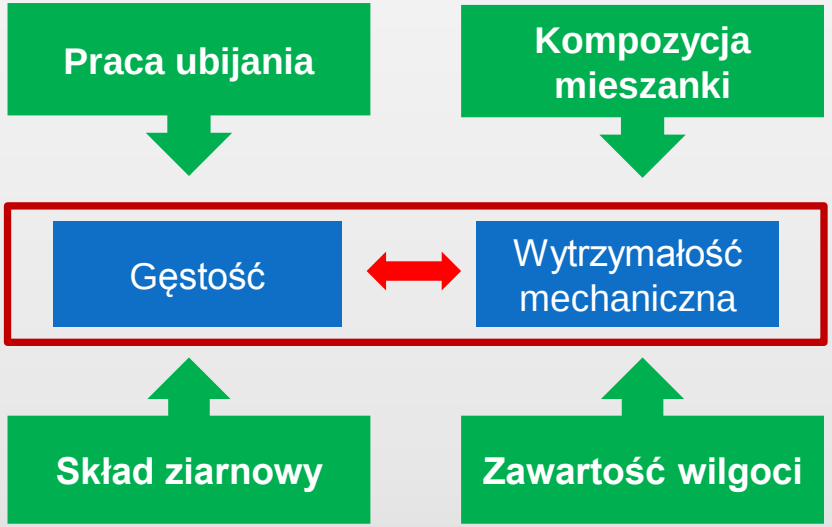




✓ **Wzrost wartości d' RRSB powoduje wzrost gęstości wsadu ale i spadek jego wytrzymałości na ściskanie**

Analiza jakościowa

Parametry oddziałujące na gęstość i wytrzymałość wsadu



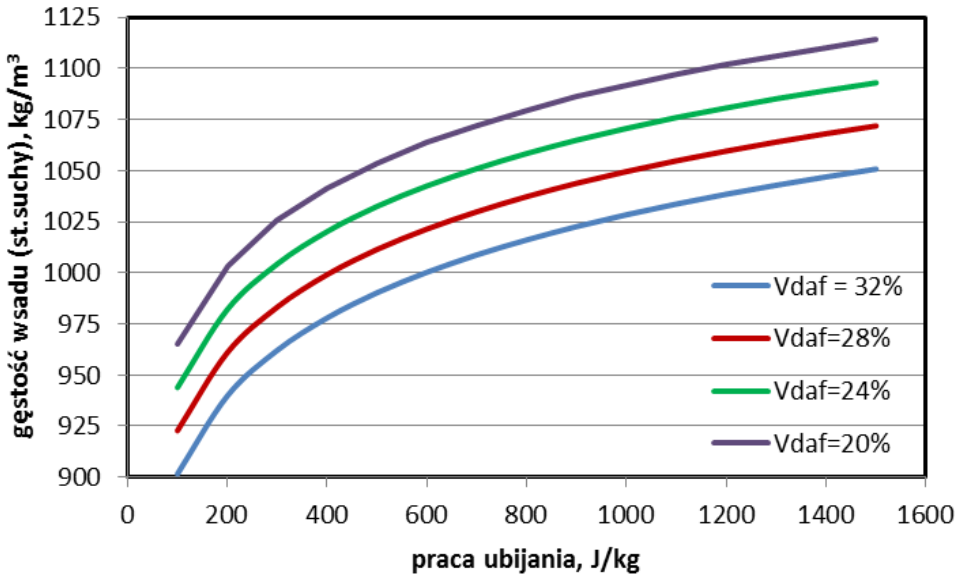
Analiza ilościowa - Modele regresyjne dla prognozowania gęstości oraz wytrzymałości mechanicznej ubitego wsadu

Zmienne zależne:

- gęstość wsadu w st. suchym ρ^d
- wytrzymałość na ściskanie i ścinanie,

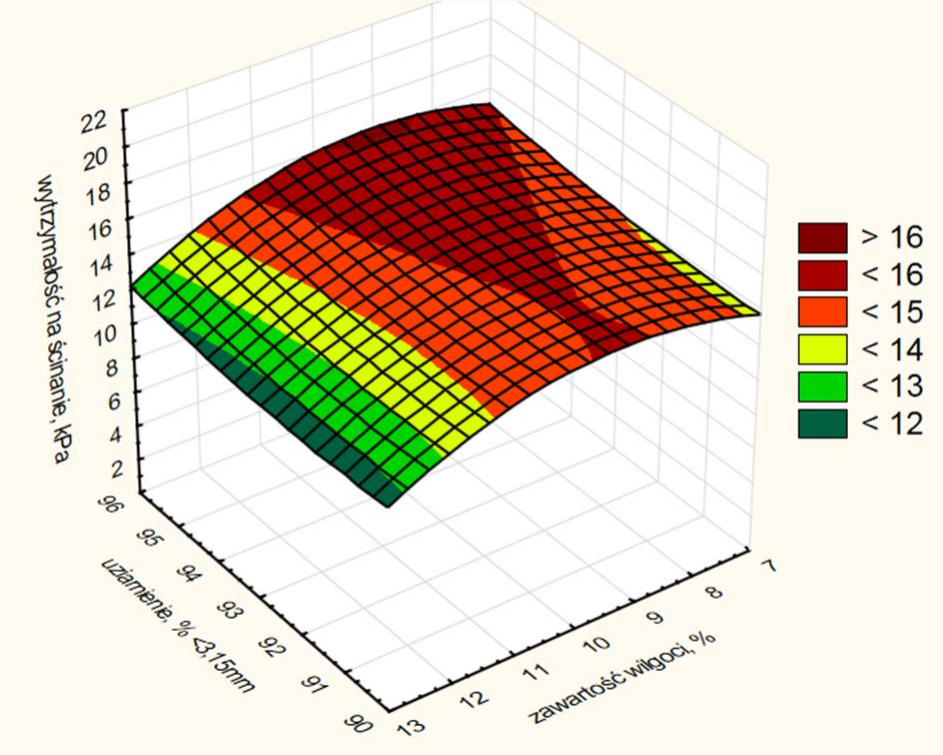
Zmienne niezależne:

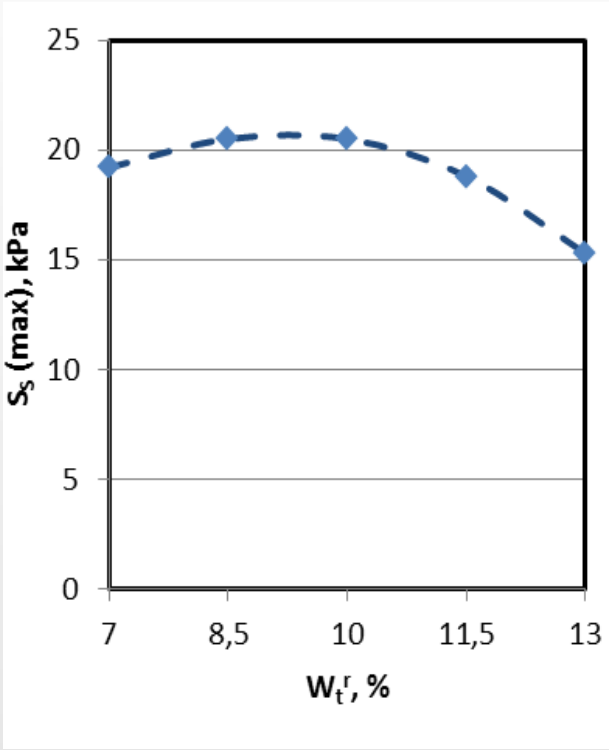
- zawartość części lotnych V^{daf}
- zawartość popiołu A^d
- parametry rozkładu uziarnienia RRSB
- zawartość wilgoci całkowitej W^r_t
- praca ubijania E



$E = exp[(\rho^d - \beta_0 \times (520,46 - 5,29 \times V^{daf} + 12,74 \times A^d + 82,03 \times d^{'} + 150,08 \times n + 2,13 \times W_t^r + 55,11 \times \ln E$	$R^2 = 0,982$
$S_C = 2671,93 - 66,09 \times V^{daf} + 1,05 \times (V^{daf})^2 - 17,88 \times A^d + 3,26 \times (A^d)^2 - 247,0 \times d^{'} + 129,74 \times (d^{'})^2 + 9890,61 \times n - 6816,20 \times n^2 + 0,47 \times E - 0,00012 \times E^2 + 45,39 \times W_t^r - 2,66 \times (W_t^r)^2$	$R^2 = 0,984$
$S_s = -318,45 - 0,307 \times V^{daf} - 2,41 \times A^d + 0,272 \times (A^d)^2 - 33,957 \times d^{'} + 17,924 \times (d^{'})^2 + 899,389 \times n - 628,097 \times n^2 + 0,029 \times E - 7,79 \times 10^{-6} \times E^2 + 5,309 \times W_t^r - 0,287 \times (W_t^r)^2$	$R^2 = 0,956$

5. Wyniki badań:
Ocena wpływu wybranych parametrów wsadu i operacji ubijania na gęstość i wytrzymałość mechaniczną ubitego naboju węglowego.





Wytrzymałość na ścinanie – optymalna zawartość wilgoci: 9,2-9,3%

6. Podsumowanie – ważniejsze wnioski

W odniesieniu do jakości koksu:

- ✓ Zidentyfikowano wielkość wpływu gęstości wsadu oraz udziału węgla typu 34 na właściwości struktury i jakość koksu
- ✓ wzrost gęstości wsadu węglowego pozytywnie wpływa na wskaźnik wytrzymałości poreakcyjnej CSR koksu
- ✓ wzrost udziału węgla typu 34 w mieszance wsadowej oddziałuje niekorzystnie na wskaźniki CRI otrzymanego koksu
- ✓ zwiększenie gęstości wsadu umożliwia wprowadzenie do mieszanki wsadowej większej ilości węgla typu 34 (KWK Budryk) bez pogorszenia jakości koksu.

W odniesieniu do operacji ubijania wsadu:

- ✓ zidentyfikowano wielkość wpływu poszczególnych czynników na gęstość i wytrzymałość wsadu węglowego (praca ubijania oraz parametry mieszanki wsadowej) oraz dokonano na tej podstawie opisu matematycznego (modele empiryczne)
- ✓ opracowano modele które mogą stanowić pomocne narzędzie dla kadry technologicznej zakładów koksowniczych celem prognozowania trendów zmian gęstości i wytrzymałości ubitego naboju węglowego

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

Praca doktorska została zrealizowana w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-24-017/08 "Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki" dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Dziękuję za uwagę