

Raport z badań demonstracyjnych realizowana w ramach projektu pt. *Opracowanie innowacyjnej metody wykorzystującej technikę ewolucyjną do projektowania matryc kształtujących stosowanych w procesie wylączania skryształizowanego CO₂ w celu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej i surowca* (nr umowy: **LIDER/3/0006/L-11/19/NCBR/2020**), finansowanym przez **Narodowe centrum Badań i Rozwoju** w ramach programu **LIDER**

Wykonawcy: dr inż. Jan Górecki, dr inż. Mateusz Kukla

1. Metodyka badań

1.1. Założenia ogólne

Badania miały na celu porównanie efektywności surowcowej i energetycznej maszyny służącej do wylączania dwutlenku węgla w fazie stałej w zależności od cech geometrycznych zastosowanych matryc jednokanałowych.

Podczas badań wykorzystano maszynę firmy Triventek model PE80 wraz z matrycą jednokanałową stanowiącą fabryczne, dostarczane przez producenta wyposażenie urządzenia. Zebrane wyniki posłużyły jako dane referencyjne do których porównano wyniki uzyskane przy zastosowaniu autorskich matryc jednokanałowych. Matryce te zostały skonstruowane przy użyciu opracowanej na te potrzeby metodyki projektowania matryc jednokanałowych wykorzystującej metody sztucznej inteligencji w postaci algorytmów ewolucyjnych.

Wyniki badań były porównywane w zakresie zużycia surowca w postaci ciekłego dwutlenku węgla oraz energii elektrycznej przeliczonych na 1 kg wyprodukowanego peletu o średnicy 16 mm.

Podczas prac projektowych założono, że proces realizowany przy zastosowaniu proponowanych matryc poza obniżeniem zużycia surowca i energii elektrycznej powinien cechować się zbliżoną wartością kwantyfikowalnego parametru określającego jakość produktu końcowego jakim jest gęstość peletu.

1.2. Pomiar zużycia energii elektrycznej oraz ciekłego dwutlenku węgla

W badaniach realizowanych z wykorzystaniem proponowanej w opracowaniu metodyki, możliwe jest określenie zmiany wartości wskaźników efektywności procesu peletyzacji CO₂ w przypadku zastosowania różnych matryc o identycznej średnicy wejściowej i wyjściowej oraz całkowitej długości kanału. W analizie statystycznej wyników zasadne jest przyjęcie jako podstawę wyników uzyskanych przy wykorzystaniu standardowej matrycy w jaką fabrycznie jest wyposażony badany peletyzer.

Badania, były oparte na wyznaczeniu wartości czterech parametrów tj.: zużycia energii elektrycznej P_C mierzonej w [Wh], zużycie surowca mierzone jako masa wykorzystanego ciekłego dwutlenku węgla m_{LCO_2} , a także masa m_P oraz gęstość ρ_P wyprodukowanego peletu. Pozwoliło to na wyznaczenie war-

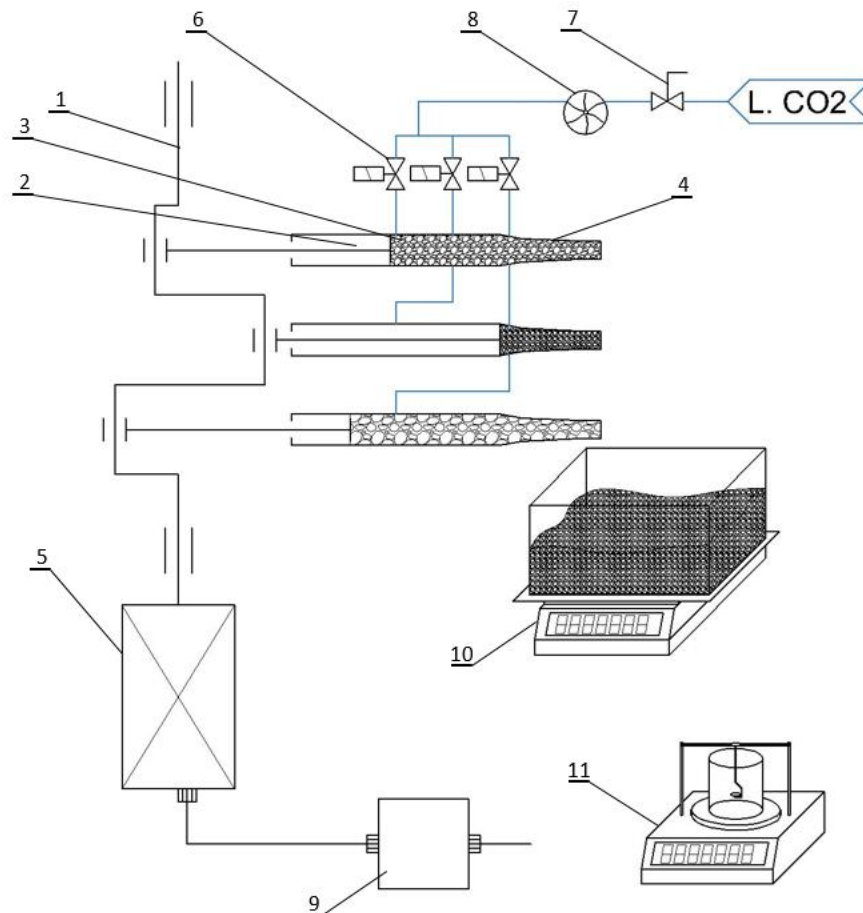
tości współczynników efektywności związanych z energochłonnością procesu η_E oraz ciekłego dwutlenku węgla η_{RM} w przeliczeniu na masę wyprodukowanego peletu. Wartość wskazanych współczynników wyznaczano za pomocą zależności (1) oraz (2).

$$\eta_E = \frac{P_C - P_{C.0} \cdot t}{m_p} \left[Wh/kg \right], \quad (1)$$

gdzie: $P_{C.0}$ to średnia wartość energia zużywana podczas jednej sekundy biegu jałowego urządzenia, natomiast t to czas trwania próby.

$$\eta_{RM} = \frac{m_{LCO_2}}{m_p} [-], \quad (2)$$

Stanowisko pomiarowe, przedstawione na Rys. 1, składało się z peletyzera PE80 oraz licznika energii elektrycznej (Rys. 1, etykieta 9), licznika przepływu ciekłego CO₂ (Rys. 1, etykieta 8), zespołu wagowego do pomiaru masy wyprodukowanego peletu (Rys. 1, etykieta 10) oraz zespołu pomiarowy do hydrostatycznego pomiaru gęstości peltu (Rys. 1, etykieta 11). Dodatkowo podczas badania odczytywano wartość ciśnienia LCO₂, co umożliwiło przeliczenie objętości zużytego materiału na jego masę.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania efektywności procesu peletyzacji suchego lodu w technice korbowo tłokowej. 1 – wał korbowy, 2 – tłok, 3 – komora zagęszczająca, 4 – matryca zagęszczająca, 5 – motoreduktor trójfazowy, 6 – elektrozawór wtrysku ciekłego CO₂, 7 – ręczny zawór odcinający dopływ ciekłego CO₂, 8 – licznik przepływu ciekłego CO₂, 9 – licznik energii elektrycznej, 10 – zespół wagowy do pomiaru masy wyprodukowanego peletu CCD, 11 – zespół pomiarowy do hydrostatycznego pomiaru gęstości peltu suchego lodu.

Przed rozpoczęciem badania przeprowadzono demontaż matryc (Rys. 1, etykieta 4) na końcu komór zagęszczających (Rys. 1, etykieta 3). Następnie zgodnie z instrukcją obsługi peletyzera przygotowano urządzenie do pracy, po czym zerowano wskazania urządzeń pomiarowych. Następnie uruchamiano maszynę w cyklu normalnej pracy. Pozwoliło to na zarejestrowanie zużycia energii elektrycznej, które wynikało z oporów wewnętrznych pracy urządzenia. Zaliczyć do nich można takie, jak na przykład tarcie elementów przesuwnych czy opory występujące w węzłach łożyskowych. Badanie było prowadzone przez 10 min z interwałami co 30 s. Zarejestrowana wartość zużycia energii elektrycznej została oznaczana jako $E_{c,0}$. Jej wartość zmieniała się w przedziale od 665,2 do 680,3 J/s. Z kolei mediana (wartość środkowa) populacji wyników wynosiła 670,6 J/s.

W kolejnym etapie, montowano matryce w układzie roboczym i przeprowadzono procedurę wstępnego ich zapełnienia. W następnym kroku zerowano wskazania urządzeń pomiarowych. Po przygotowaniu stanowiska rozpoczynano proces wytlaczania dwutlenku węgla w fazie stałej (CCD). W pięciominutowych interwałach odczytywano wartości oraz zapisywano wskazania urządzeń pomiarowych. Odczyt wartości z urządzeń powtórzono 16 krotnie dla każdego z typu matryc.

Po zakończeniu badania efektywności peletyzera przeprowadzono pomiary gęstości produkowanego peletu, przy wykorzystaniu metody hydrostatycznej, szczegółowo opisane w kolejnym podrozdziale.

Badania były prowadzone w ciągu jednego dnia, wartość temperatur i wilgotności powietrza były mierzone w jednoczynowych interwałach z wykorzystaniem Multimetru Testo 440 wyposażonego w sondę do pomiaru wilgotności i temperatury – model 6369770 firmy Testo Test Sp. z o.o. (wyprodukowanej w Pruszkowie, Polska) o dokładności pomiaru $\pm 1,3$ %rH oraz $\pm 0,3$ K.

1.3. Pomiar gęstości peletu suchego lodu

Jak podaje fachowa literatura hydrostatyczna metoda pomiaru gęstości jest szeroko stosowana w do pomiaru gęstości materiałów podatnych na odkształcenia, jak np. tworzyw sztucznych. Dzięki temu unika się konieczności pomiaru objętości próbek, co w tym przypadku stanowiłoby dużą trudność. Do wykonania pomiarów wykorzystano wagę ACN220, z zamontowanym modułem umożliwiającym pomiar hydrostatyczny (Rys. 2). Badania były wykonywane w dwóch etapach. W pierwszym z nich wyznaczano wartość masy próbki w powietrzu m_0 . W tym celu próbka była umieszczana na górnej szalce wagi (Rys. 2, etykieta 3). W kolejnym etapie próbkę umieszczano na dolnej szalce (Rys. 2, etykieta 4), która była zanurzona w cieczy (Rys. 2, etykieta 6), którą w tym przypadku był alkohol izopropylowy. Pozwalało to na odczytanie wartości masy m_1 , o zredukowanej wartości względem m_0 w wyniku działającej siły wyporu. Przedstawiona metoda pomiaru pozwalała na uzyskanie wyników przy użyciu których możliwe jest ustalenie wartości gęstości próbki CCD, dla której przyjęto oznaczenie ρ_{CCD} .

W trakcie trwania pomiaru musiały być spełnione wymagania dotyczące temperatury cieczy T_L . Jej wartość powinna być zbliżona do temperatury CCD celem ograniczenia szybkości z jaką sublimował

badany materiał. Równolegle proponowana metoda zakładała, że znana jest zależność temperatury i gęstość cieczy ρ_L w jakiej zostaje zanurzona próbka.

Utrzymanie stałej wartości temperatury cieczy T_L podczas wykonywania pomiarów jest problematyczne, ponieważ jest ona zdecydowanie niższa niż temperatura otoczenia i wynosi około $-72.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (200.65 K). Z tego względu wyznaczono doświadczalnie zależność opisującą zmianę gęstości alkoholu izopropylowego w funkcji temperatury T_L (mierzonej w Kelwinach), którą można zapisać za pomocą równania:

$$\rho_{Et}(T_L) = -0,947 \cdot T_L + 1,07 \cdot 10^3. \quad (3)$$

Wartość temperatury cieczy T_L była odczytywana przy użyciu multimetru Testo 440 (Rys. 2, etykieta 8) wyposażonego w termoparę typu K (Rys. 2, etykieta 7) o dokładności $\pm 0,3\text{ K}$ (Test Sp. z o.o., Pruszków, Polska). Wyznaczone w ten sposób wartości mas m_0 i m_1 umożliwiły obliczenie wartości gęstości próbki po podstawieniu do zależności:

$$\rho_{CCD} = \frac{m_0}{m_0 - m_1} \rho_L(T_L). \quad (4)$$

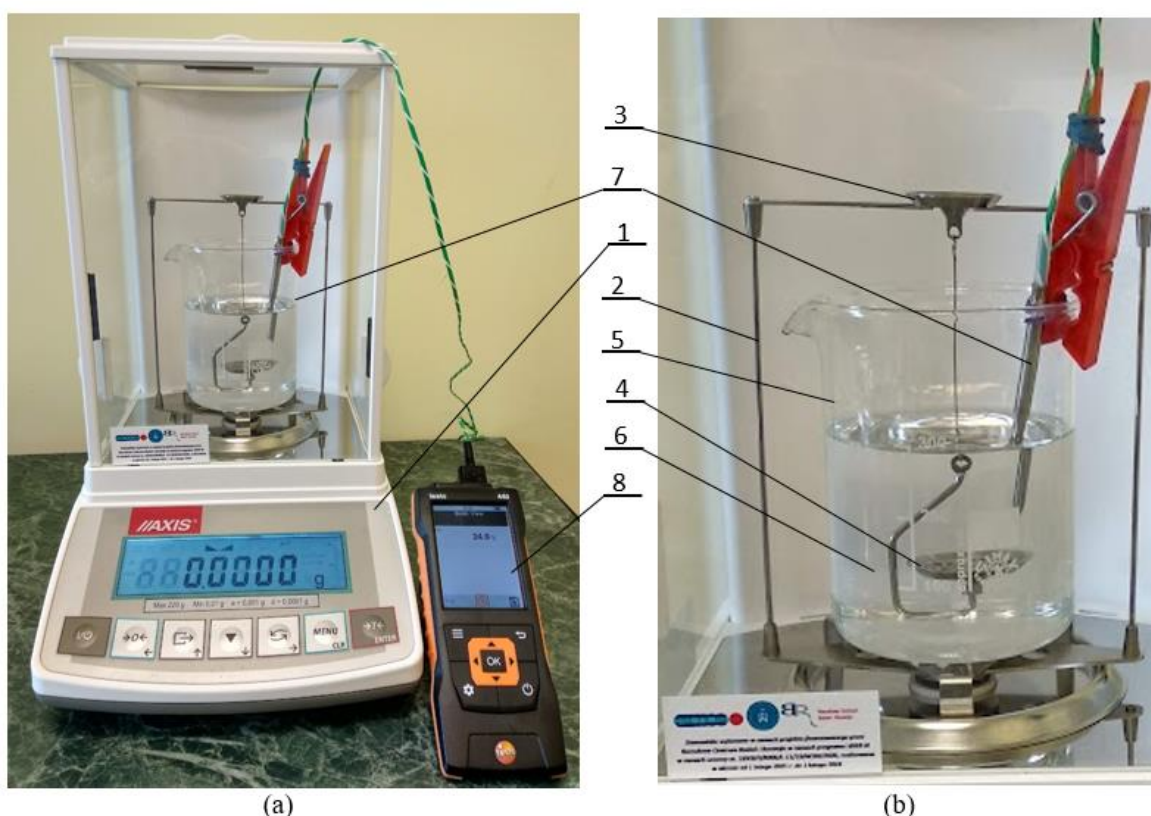


Fig. 2. Zestaw do pomiaru gęstości z wykorzystaniem metody hydrostatycznej, a) widok ogólny, b) zbliżenie modułu do pomiaru hydrostatycznego, 1 – waga ACN220 z zamontowanym kloszem, 2 – zestaw do pomiaru hydrostatycznego, 3 – szalka górna, 4 – szalka dolna, 5 – zlewka, 6 – ciecz pomiarowa, 7 – termopara typu K, 8 – Multimetr Testo 440 do odczytu wartości temperatury

1.4. Parametry geometryczne matryc jednokanałowych

Na Rys. 3 zaprezentowano uproszczony rysunek ilustrujący wartości poszczególnych parametrów geometrycznych matrycy fabrycznie dostarczanej wraz z peletyzерem model PE80 firmy Cold Jet. Kanał wewnętrzny matrycy jest podzielony na dwa odcinki. Pierwszy z nich jest odcinkiem zbieżnym o kształcie a stożkowym. W przypadku odcinka końcowego jest to otwór cylindryczny o stałej wartości średnicy. Populacja wyników badań demonstracyjnych dotyczących tej matrycy w kontekście zużycia energii, surowca oraz końcowej gęstości produktu została oznaczona symbolem CS.

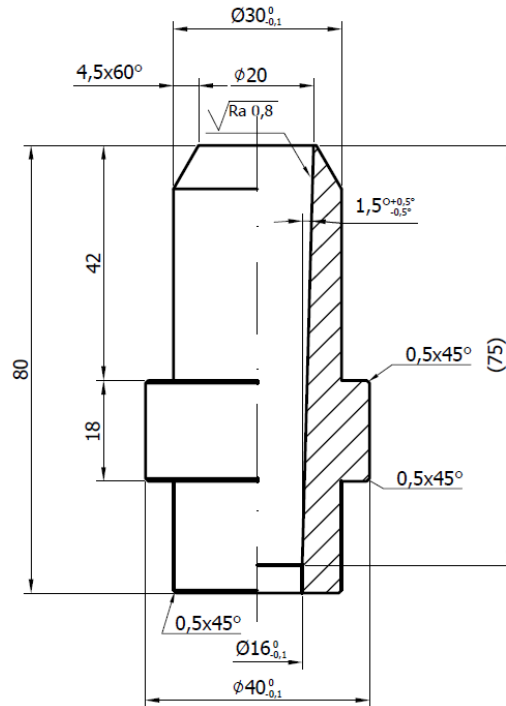
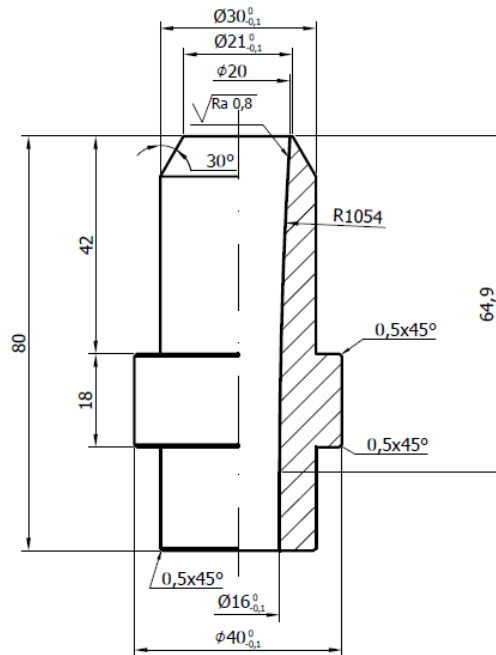


Fig. 3. Matryca jednokanałowa o stożkowo-cylindrycznym kształcie kanału formującego – stanowiąca standardowe wyposażenie peletyzera PE80 firmy Cold Jet

W przypadku dwóch kolejnych matryc zmodyfikowano kształt odcinka zbieżnego kanału formującego. Pierwsza z matryc miała kształt wypukły i została ona oznaczona symbolem WP. Parametry geometryczne tej matrycy zostały zaprezentowane na Rys. 4.



Rys 4. Matryca jednokanałowa o wypukło-cylindrycznym kształci kanału formującego – skonstruowana przy wykorzystaniu opracowanej w projekcie metody projektowania matryc jednokanałowych z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych. Kształt kanału wewnątrz matrycy został objęty ochroną w poprzez zgłoszenie wzoru użytkowego do UPRP (W.131209).

W przypadku trzeciej matrycy odcinek zbieżny miał kształt wklęsło-wypukły i została ona oznaczona symbolem WKWP. Analogicznie do wcześniejszych matryc parametry geometryczne zostały zaprezentowane na Rys. 5.

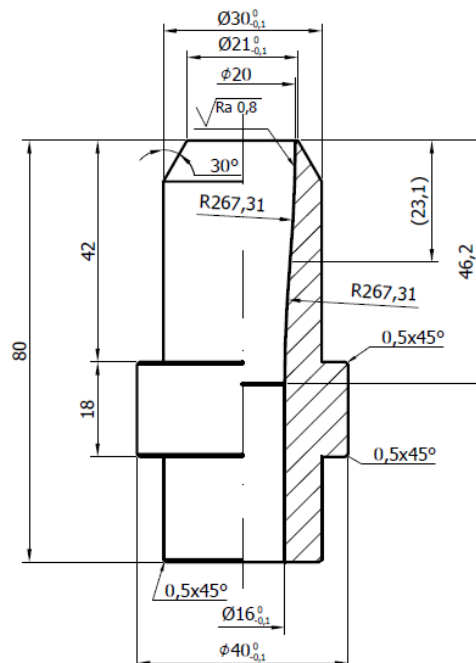


Fig. 5. Matryca jednokanałowa o wklęsło-wypukło-cylindrycznym kształci kanału formującego – skonstruowana przy wykorzystaniu opracowanej w projekcie metody projektowania matryc jednokanałowych z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych. Kształt kanału wewnątrz matrycy został objęty ochroną w poprzez zgłoszenie wzoru użytkowego do UPRP (W.131208).

1.5. Statystyczna analiza wyników

Analiza statystyczna została przeprowadzona trójkierunkowo z wykorzystaniem analizy wariancji (ANOVA) przy zastosowaniu testu post-hoc Tukey'a dla trzech populacji wynikających z stosowanego rodzaju matrycy.

W pierwszej części analizy ocenie podlegała istotność statystyczna różnic średniej wartości gęstości peletu wyprodukowanego z wykorzystaniem poszczególnych matryc. W drugim etapie przy wykorzystaniu wskazanego testu ustalono istotność statystyczną różnic pomiędzy wartościami średniego zużycia energii elektrycznej w przeliczeniu na 1 kg wyprodukowanego peletu dla każdej z populacji wyników. W końcowym etapie wykonano analizę w celu sprawdzenia istotności statystycznej różnic średniego zużycia surowca.

Analiza danych została przeprowadzona przy użyciu oprogramowania Statistica (wersja 13.3, TIBCO Software Inc.). Wszystkie porównania były jednostronne, a wartość $p < 0,05$ została uznana za istotną statystycznie.

2. Wyniki Badań

2.1. Pomiar zużycia energii i surowca

Podczas badań szesnastokrotnie zapisano wartości E_C, m_p, m_{LCO_2} w określonych interwałach czasowych. Na ich podstawie wyznaczono wartość współczynnika η_E oraz η_{RM} .

W kolejnym kroku potwierdzono założenie wstępne postulowane przez ANOVA dotyczące rozkładu normalnego wyników, co zostało zweryfikowane z wykorzystaniem testu Shapiro-Wilka. W Tab. 1 zaprezentowano wartość parametru tego testu dla poszczególnych populacji i współczynników η_E oraz η_{RM} . Uzyskane wyniki przekraczają wartość 0,05 co świadczy tym, że wyniki w badanych populacjach cechują się rozkładem normalnym.

Tab. 1. Wyniki testu Shapiro-Wilka dla wyników obliczeń efektywności zużycia energii elektrycznej oraz surowca

	CS	WP	WKWP
η_E	0,0943	0,3361	0,978
η_{RM}	0,6078	0,5929	0,0701

Następnie przy zastosowaniu testu Levene'a, zweryfikowano założenie dotyczące jednorodności wariancji populacji dla każdego z badanych parametrów efektywności. Wartości zostały zaprezentowane w Tab. 2. Jak wynika z analizy otrzymanych danych, obie wartości były mniejsze niż 0.05, co pozwala potwierdzić założenie związane z jednorodnością.

Tab. 2. Wyniki testu Levene'a dla wartości η_E oraz η_{RM}

	p
η_E	0,036742
η_{RM}	<0,00001

W efekcie spełnienia założeń początkowych przeprowadzono analizę wariancji z wykorzystaniem test post-hoc Tukeya. Wyniki dla wskaźnika η_E oraz η_{RM} zostały zaprezentowane w Tab. 3 i 4.

Tab. 3. Istotność statystyczna porównania wartości parametru η_E uzyskana dla poszczególnych populacji

	CS	WP	WKWP
CS	-	0,00012	0,00012
WP	0,00012	-	0,9457
WKWP	0,00012	0,9457	-

Tab. 4. Istotności statystyczna porównania wartości parametru η_{RM} uzyskana dla poszczególnych populacji

	CS	WP	WKWP
CS	-	0,00105	0,00012
WP	0,00105	-	0,07118
WKWP	0,00012	0,07118	-

Zaprezentowane w powyższych tabelach wyniki pozwalają wskazać, że w przypadku obu parametrów porównanie danych pomiędzy populacją WKWP oraz WP cechuje się prawdopodobieństwem po-

pełnienia błędu przekraczającym 5%. Przez wzgląd na sformułowane w metodyce założenie, nie pozwala to na porównanie wyników pomiędzy populacjami. Natomiast w przypadku różnic pomiędzy populacją CS a pozostałymi zaobserwowane różnice są statystycznie istotne.

W Tab. 5a zostały przedstawione informacje pozwalające na porównanie wyników uzyskanych dla populacji CS z pozostałymi.

Tab. 5a. Dane opisowe wyników poszczególnych populacji wyników

	CS		WP		WKWP	
	η_E [Wh/kg]	η_{RM} [m ³ /kg]	η_E [Wh/kg]	η_{RM} [m ³ /kg]	η_E [Wh/kg]	η_{RM} [m ³ /kg]
Min.	16,984	2,324	13,926	1,942	14,429	2,196
I kw.	17,05409	2,335	14,000	2,231	14,220	2,104
II kw.	17,339	2,356	14,308	2,246	14,574	2,155
III kw.	17,857	2,360	14,733	2,262	15,079	2,286
Max	18,413	2,386	15,0	2,324	15,556	2,336
Średnia	17,449	2,352	14,441	2,247	14,496	2,190

Średnia wartość wyników w poszczególnych populacjach była wysoce zbliżona do wartości mediany (II kwartyli). Wskazuje to na wysoką powtarzalność wyników zarejestrowanych w ramach 16 powtórzeń, podczas których zapisywano wcześniej wspomniane dane.

Celem uproszczenia obliczeń związanych z porównaniem kosztów produkcji peletu wynikających z zużycia energii zdecydowano się pozostawić jednostkę [Wh] bez przeliczania jej na [J].

Porównując wartość mediany związanej z konsumpcją energii pomiędzy populacją CS a WP oraz WKWP możemy zaobserwować, że proces realizowany z wykorzystaniem matrycy CS cechuje się wyższym zużyciem energii na 1 kg peletu. Różnica ta wynosi dla matrycy WP 3,031 Wh/kg, natomiast dla WKWP 2,765 Wh/kg.

W Tab. 5b przedstawiono wyniki związane z wartością wydajności produkcji peletu w przypadku użycia poszczególnych matryc. Wyniki wskazują na pomijalnie mały wzrost średniej wartości wydajności produkcji.

Tab. 5b. Wydajność produkcji peletu mierzona w kg/s

	CS	WP	WKWP
II kw. [kg/s]	0,021	0,022	0,022
Średnia [kg/s]	0,020	0,022	0,022

Po pomnożeniu wskazanych wartości przez 3600 s, można uzyskać przybliżoną wartość wydajności podczas 1h pracy. W tym przypadku wynosiła ona $Q_m = 79,2$ kg/h.

2.2. Pomiary gęstości

Po zakończeniu badania efektywności procesu wykonywano badanie gęstości peletu. Doświadczenie wykonano dla 16 losowo wybranych próbek uzyskanych przy wykorzystaniu matryc CS, WP i WKWP.

Istotność statyczną dotycząca średnich wartości uzyskanych dla poszczególnych populacji zweryfikowano przy użyciu metody ANOVA.

Analogicznie jak w przypadku wcześniejszego badania, w pierwszej kolejności zweryfikowano hipotezy początkowe metody dotyczące rozkładu normalnego populacji. Wyniku testu Shapiro-Wilka zostały zaprezentowane w Tab. 6 – potwierdzają one zaobserwowane rozkłady normalne.

Tab. 6. Wyniki testu Shapiro-Wilka dla wyników obliczeń efektywności zużycia energii elektrycznej oraz surowca

	CS	WP	WKWP
ρ_{CCD}	0,1344	0,8255	0,5730

W przypadku testu Levene'a wartość p była równa 0,261906, co nie potwierdza potwierdzić jednorodności wariancji. Pomimo niespełnienia założenia początkowego z wykorzystaniem testu post-hoc Tukey'a, ustalono wartość istotności statystycznej w przypadku porównania poszczególnych wartości średnich. Wartości p były większe niżeli 0,3 co wskazuje na brak istotnych statycznie różnic pomiędzy wynikami. Dane charakteryzujące poszczególne z omawianych wartości przedstawiono w Tab. 7.

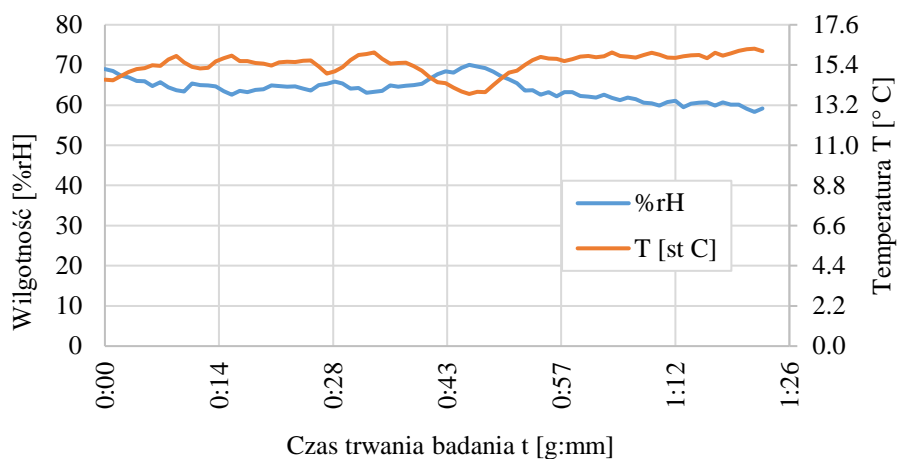
Tab. 7. Dane opisowe wyników poszczególnych populacji wyników

	CS	WP	WKWP
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Min.	1 375,58	1 332,78	1 399,21
I kw.	1 414,09	1 453,49	1 484,01
II kw.	1 471,72	1 490,96	1 512,13
III kw.	1 539,20	1 524,08	1 536,26
Max	1 567,03	1 634,03	1 575,38
Średnia	1 473,32	1 484,81	1 506,55

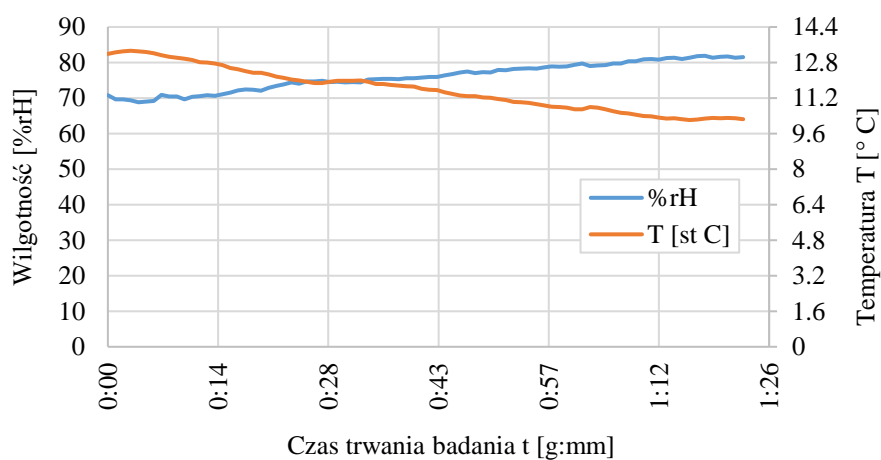
Przedstawione w Tab. 6 i 7 wyniki potwierdzają, że podczas badań demonstracyjnych kwantyfikowalny wskaźnik jakości peletu, którym była jego gęstość, został utrzymany na porównywalnym poziomie we wszystkich z przeprowadzonych testów.

2.3. Pomiary warunków temperatury i wilgotności podczas prowadzonych badań

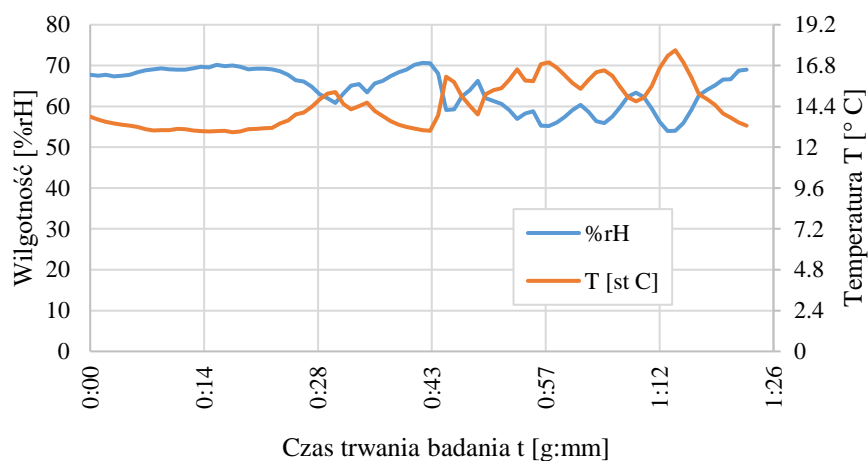
Podczas wykonywania prób demonstracyjnych rejestrowano wartości temperatury oraz wilgotności powietrza w bezpośrednim sąsiedztwie peletyzera. Zarejestrowane wartości zostały przedstawione na Rys. 6-8 oraz Tab. 8 i 9. Wartość temperatury powietrza w istotny sposób może wpływać na wydajność procesu. Dlatego w przypadku próby wykorzystania przedstawionych w raporcie wyników badań na potrzeby komparacji z innymi badaniami należy zwrócić uwagę, że różnice mogą wynikać z odmiennych warunków środowiskowych, na które wykonawcy badań nie mieli wpływu.



Rys. 6. Zmiana wartości wilgotności powietrza oraz temperatury podczas badania z wykorzystaniem matrycy CS



Rys. 7. Zmiana wartości wilgotności powietrza oraz temperatury podczas badania z wykorzystaniem matrycy WP



Rys. 8. Zmiana wartości wilgotności powietrza oraz temperatury podczas badania z wykorzystaniem matrycy WKWP

Tab. 8. Zestawienie zmiany wartości wilgotności powietrza w funkcji czasu dla poszczególnych badań demonstracyjnych

Matryca	Min [°C]	I kwartył [°C]	II kwartył [°C]	III kwartył [°C]	Max [°C]
CS	58,3	62,04	63,86	65,36	70,02
WP	68,81	72,75	75,83	79,21	81,89
WKWP	53,96	59,67	65,55	68,86	70,65

Tab. 9. Zestawienie zmiany wartości temperatury powietrza w funkcji czasu dla poszczególnych badań demonstracyjnych

Matryca	Min [°C]	I kwartył [°C]	II kwartył [°C]	III kwartył [°C]	Max [°C]
CS	13,81	15,22	15,61	15,87	16,29
WP	10,21	10,75	11,60	12,29	13,33
WKWP	12,88	13,19	14,18	15,57	17,70

Wartość temperatura w otoczeniu stanowiska badawczego zmieniała się w zakresie od 10,2°C do 17,7°C a wilgotność powietrza od 54 do 82 %rH. Porównując wyniki z efektywnością procesu nie odnotowano znaczącego wpływu temperatury na badane wskaźniki związane z energochłonnością oraz efektywnością procesu peletyzacji skryształizowanego dwutlenku węgla. Jak wskazano podczas opisu metodyki badania, pomiary miały na celu umożliwienie w przyszłości porównania zebranych w tym eksperymencie wyników z rezultatami innych prac badawczych. Ze względu na zmienność wartości wydajności maszyny w zależności od warunków otoczenia za konieczne należy uznać realizowanie badań w zbliżonych warunkach atmosferycznych. W przypadku braku takiej możliwości należy tą kwestię uwzględnić podczas formułowania wniosków.

3. Wnioski

Zaprezentowane w Tab. 5a i 5b dane przedstawiają zużycie energii oraz wydajność produkcji podczas 1 godziny trwania procesu. W efekcie możliwe jest określenie przybliżonego zużycia energii elektrycznej podczas 1h produkcyjnej maszyny, co zostało zaprezentowane w Tab. 10. Dodatkowo wyznaczono o ile procentowo może zostać ograniczone zużycie energii przy zastosowaniu proponowanych matryc.

Tab. 10. Zużycie energii elektrycznej podczas 1h produkcji

Rodzaj matrycy	CS	WP	WKWP
Średnie zużycie energii elektrycznej [Wh]	1 394	1 154	1 158
Różnica [Wh]		240	236
Procentowa różnica zużycia energii względem CS		17,22%	16,93%

W przypadku pomiaru wartości zużycia surowca jakim był ciekły dwutlenek węgla nie zaobserwowano istotnych różnic w przypadku zastosowania matryc WP i WKWP. Wynika to z wartości gęstości produkowanego peletu, która wynosiła około 1500 kg/m³.

Zgodnie z założeniem wniosku projektowego efektywność zużycia surowca może zostać ograniczona w przypadku kiedy wartość naprężenia zagęszczającego przekracza graniczną wartość efektywną pozwalającą na uzyskanie materiału o gęstości wynoszącej 1650 kg/m³. Ze względu na wskazane różnice efektywność zużycia surowca przez maszynę nie wynika z procesu wytłaczania materiału a z procesu jego rozprężenia. Autorzy raportu zastrzegają, że procentowa różnica zużycia energii elektrycznej jest zależna od wartości temperatury i wilgotności powietrza w otoczeniu maszyny. W przypadku znaczących różnic wskazanych parametrów należy oczekiwać, że wyniki badań mogą ulec zmianie.