POLITECHNIKA BYDGOSKA
Wydział Inżynierii Mechanicznej

HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Zintegrowana inżynieria maszyn i urządzeń procesów rozdrabniania uziarnionej biomasy

dr inż. Weronika Kruszelnicka

Stypendystka korzystająca ze wsparcia finansowego Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP)

Badania finansowane w ramach projektów:

- *Diamentowy Grant, nr DI2016 00164, MNiSW*
- *MINIATURA 5, nr 2021/05/X/ST8/00114, NCN*
- *Program im. Bekkera, nr BPN/BEK/2021/1/00201, NAWA*

1. Wprowadzenie
2. Koncepcja Integronu
3. Cel i problem badań
4. Badania energii minimum w ujęciu fenomenologicznym
5. Badania piętrowej struktury systemu rozdrabniania
6. Autoregulacja
7. Zastosowanie praktyczne wyników badań
8. Podsumowanie i wnioski

ZAKRES PREZENTACJI

WPROWADZENIE

Pęknięcia wewnętrzne

Pęknięcia zewnętrzne

Różne postaci uszkodzeń zewnętrznych

Kawałkowanie

Odłupywanie

Ścieranie

Ali Daouadji, Pierre-Yves Hicher, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.2010;34:555–580

POSTACI USZKODZEŃ MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH PODDANYCH OBCIĄŻENIOM

WPROWADZENIE

RUMPF AND SCHÖNERT[1]	THOMAS ET. AL.[2]	REYNOLDS ET. AL.[3]

Source: Salman, Alexander Russell, Sergej Aman, Jürgen Tomas, *Powder Technology* 269 (2015) 541–547

[1] H. Schubert, Handbuch der Mechanishen Verfahrenstechnik, vol. 2, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2003.
[2] J. Tomas, M. Schreier, T. Gröger, S. Ehlers, *Powder Technol*. 105 (1999) 39–51.
[3] G.K. Reynolds, J.S. Fu, Y.S. Cheong, M.J. Hounslow, A.D. Salman, *Chem. Eng. Sci*. 60 (2005) 2969–3992

POSTACI USZKODZEŃ MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH PODDANYCH OBCIĄŻENIOM

WPROWADZENIE

Próba: 100 ziaren, 16% MC, pojedyncze obciążenia

A) Widoczne pęknięcie zewnętrzne	B) Podział na dwie części	C) Podział na kilka fragmentów

Poziome boczne	Pionowe boczne	Piono-we, środek	Wewnę-trzne

POSTACI USZKODZEŃ MATERIAŁÓW ZIARNISTYCH PODDANYCH OBCIĄŻENIOM

WPROWADZENIE

Operacje przetwórcze

Zbiór

https://blog.machinefinder.com/30492/corn-harvest-2019-tips-tools

Transport

https://www.dreamstime.com/corn-processing-line-perspective-view-ripe-conveyor-image188773020

Omłot

https://www.ecvv.com/product/4686809.html

Suszenie

https://www.cimbria.com/en/products/drying/ear-corn-dryer.html

Magazynowanie

https://www.adascan.ca/blog/what-you-should-do-long-term-grain-storage/

Tłoczenie

Rozdrabnianie

https://pl.aliexpress.com/i/32785163975.html?gatewayAdapt=glo2pol

Poprawa efektywności

Pogorszenie jakości

- Uszkodzenia ziaren zbóż podczas przetwarzania nawet do 20-25% światowych plonów zbóż

PĘKANIE I ROZDRABNIANIE PODCZAS PRZETWARZANIA

WPROWADZENIE

PROBLEMY MASZYN I URZĄDZEŃ PROCESÓW ROZDRABNIANIA

WPROWADZENIE

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA PROCES ROZDRABNIANIA

WPROWADZENIE

Dla projektowania wysokowydajnych, niskoenergochłonnych maszyn rozdrabniających istotne jest:

- Wyznaczenie energii minimum rozdrabniania ziaren o różnych właściwościach,
- Wyznaczenie wpływu typu obciążeń, krotności obciążeń, cech geometrycznych i procesowych na wskaźniki maszynowego rozdrabniania,
- Określenie efektów poddawania materiału obciążeniom – jednostkowe zużycie energii i granulometria produktu.

ROZWIĄZANIE???

||

ZINTEGROWANA INŻYNIERIA MASZYN WG ZASAD INTEGRONU

WYZWANIA DLA ROZWOJU KONSTRUKCJI MASZYN I URZĄDZEŃ ROZDRABNIAJĄCYCH

KONCEPCJA INTEGRONU

Celowość

Zasada energii minimum

Piętrowa struktura

INTEGRON

Autoregulacja

INTEGRON

CEL I PROBLEM BADAŃ

- eksperymentalne wyznaczenie wpływu wybranych cech materiału rozdrabnianego (wielkości ziarna, wilgotności) oraz warunków obciążenia (różny rodzaj obciążeń: ściskanie i ścinanie, wielokrotność obciążania) na energię minimum i prawdopodobieństwo rozdrabniania;
- eksperymentalne wyznaczenie zależności piętrowej struktury systemu zachodzących pomiędzy prędkością elementów rozdrabniających i objętością dozowanego wsadu a wybranymi wskaźnikami oceny rozdrabniania;
- opracowanie postaci matematycznych modeli prawdopodobieństwa rozdrabniania dla ziaren ryżu i kukurydzy na podstawie energii minimum i modeli rozdrabniania dla rozdrabniaczy wielotarczowych.
- opracowanie zaleceń dla rozwoju projektowania i konstrukcji maszyn i urządzeń procesów przetwórczych

CEL BADAŃ

CEL I PROBLEM BADAŃ

- Jakie jest prawdopodobieństwo rozdrobnienia ziaren ryżu i kukurydzy w zależności od poziomu energii odkształcenia?
- Jak wielkość ziaren, wilgotność i krotność obciążania wpływa na energię i prawdopodobieństwo rozdrobnienia ziaren ryżu i kukurydzy?
- Czy możliwe jest opisanie empirycznych funkcji prawdopodobieństwa rozdrabniania dla ziaren biomasy za pomocą znanych statystycznych rozkładów prawdopodobieństwa, np. Weibulla, Gamma, log-normalnego?
- Jaki wpływ na wybrane wskaźniki rozdrabniania będą wywierały zmiany prędkości elementów rozdrabniających oraz wielkości strumienia dozowania wsadu i krotności przejścia materiału przez zespół rozdrabniający?
- Jaki jest związek pomiędzy kształtem krzywej rozdrabniania w wielotarczowym zespole roboczym a energią rozdrabniania maszynowego?

PROBLEM BADAŃ

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

Prawdopodobieństwo rozdrabniania

$$P(E_m) = \frac{1}{2}\left[1 + erf\left(\frac{\ln E_m - \ln E_{m,50}}{\sqrt{2\sigma^2}}\right)\right]$$

Związek mediany rozkładu i wielkości ziaren

$$E_{m50} = E_{m,\infty}\left[1 + \left(\frac{d_{p,0}}{d_p}\right)^{\varphi}\right]$$

Osłabienie materiału

$$E_m^{'} = E_m\left(1 - D\right)$$

$$D = \left[\frac{2\gamma}{\left(2\gamma - 5D + 5\right)}\frac{eE_k}{E_m}\right]^{\frac{2\gamma}{5}}$$

Związek energii rozdrabniania i wielkości cząstek po rozdrobnieniu

$$t_{10} = A \cdot (1 - e^{-b \cdot \frac{eE_k}{E_m}})$$

$E_{m,50}$ – Mediana rozkładu, σ^2 – wariancja, E_m – energia rozdrabniania, D – uszkodzenie, eE_k – jednostkowa energia obciążania, γ – stała akumulacji uszkodzenia, t_{10} – udział procentowy cząstek o wymiarze równym 1/10 wymiaru początkowego, d_p – wielkość ziarna, $E_{m,oo}$, $d_{p,0}$, ϕ , A, b – parametry wyznaczane doświadczalnie

MODEL ROZDRABNIANIA

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

Zmienne

Materiałowe

- Rodzaj materiału

Ryż

Kukurydza

- Wilgotność: 8-26%
- Grubość ziarna: 4 przedziały wielkości

Rodzaj obciążeń

- Pojedyncze
- Wielokrotne

Sposób obciążania

Ścinanie

Ściskanie

WARUNKI EKSPERYMENTU

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

Energia jednostkowa

$$E_{T,e,p} = \frac{E_{T,e,p}}{m}$$

WARUNKI EKSPERYMENTU

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

$$P(X_i) = \frac{i - 0,5}{N}$$

$P(X_i)$ jest wartością skumulowanego rozkładu prawdopodobieństwa danej cechy, X_i definiuje analizowaną cechę

$$P(n) = \frac{N_{b,n}}{N_o} \cdot 100\%$$

$P(n)$ - jest prawdopodobieństwem pęknięcia lub skumulowaną liczbą uszkodzonych cząstek, n – liczba cykli, $N_{b,k}$ - liczba cząstek, które uległy zniszczeniu po n cyklach, N_o - początkowa liczba cząstek

$$P(n) = \frac{1}{2}\left[1 + erf\left(\frac{\ln n - \ln n_{50}}{\sqrt{2\sigma^2}}\right)\right]$$

n_{50} – mediana rozkładu, σ^2 – wariancja rozkładu

PRAWDOPODOBIEŃSTWO ROZDRABNIANIA

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURYDZA

	Fitting function	Adj. R^2
B	$E_b(\bar{H}) = 28445.24 \cdot \bar{H}^{-2.60}$	0.988
C	$E_c(\bar{H}) = 2339.07 \cdot \bar{H}^{-1.55}$	0.813

RYŻ

Fitting function	Adj. R^2
$E_b(\bar{H}) = 6540.17 \cdot \bar{H}^{-3.30}$	0.922

Fitting function	Adj. R^2
$E_c(\bar{H}) = 1093.96 \cdot \bar{H}^{-1.31}$	0.917

ŚREDNIA JEDNOSTKOWA ENERGIA ROZDRABNIANIA A ŚREDNIA GRUBOŚĆ ZIARNA

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURYDZA

	4,0-4,5 mm
R^2	0,979
e_{50}	527,929
σ	0,945
	4,5-5,0 mm
R^2	0,985
e_{50}	396,409
σ	0,685
	5,0-5,5 mm
R^2	0,989
e_{50}	341,213
σ	0,601
	>5,5 mm
R^2	0,912
e_{50}	220,791
σ	0,659

RYŻ

	1,30-1,43 mm
R^2	0,956
e_{50}	1956,906
σ	0,798
	1,43-1,50 mm
R^2	0,975
e_{50}	1399,680
σ	0,735
	1,50-1,60 mm
R^2	0,983
e_{50}	1332,680
σ	0,798
	1,60-1,75 mm
R^2	0,980
e_{50}	902,203
σ	0,947

PRAWDOPODOBIEŃSTWO ROZDRABNIANIA A ŚREDNIA GRUBOŚĆ ZIARNA

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURYDZA

$E_{m,\infty}$ [J/kg]	k_p [MPa]	k_{st} [GPa]	$d_{p,0}$ [mm]	ϕ [-]
26.96	89.00	230.00	12.51	2.75

RYŻ

$E_{m,\infty}$ [J/kg]	k_p [MPa]	k_{st} [GPa]	$d_{p,0}$ [mm]	ϕ [-]
57.84	1186.00	230.00	3.11	4.30

MEDIANA ROZKŁADU PRAWDOPODOBIEŃSTWA A ŚREDNIA GRUBOŚĆ ZIARNA

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURYDZA

RYŻ

PRAWDOPODOBIEŃSTWO ROZDRABNIANIA A WILGOTNOŚĆ ZIARNA

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURY

MEDIANA VS MC

PRAWDOPODOBIEŃSTWO ROZDRABNIANIA A WILGOTNOŚĆ ZIARNA

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURYDZA

$$e_{50} = \alpha \cdot MC^2 + \beta \cdot MC + \gamma \cdot T + \delta \cdot MC \cdot T + \lambda$$

α = 0,22
β = 3,10
γ = -7,26
δ = -0,85,
λ = 110,43
adj. R^2 = 0,886

RYŻ

$$e_{50} = \alpha \cdot MC^2 + \beta \cdot MC + \gamma \cdot T + \delta \cdot MC \cdot T + \lambda$$

α = 0,29
β = -21,94
γ = -190,35
δ = 5,63
λ = 497,16
adj. R^2 = 0,962

MEDIANA ROZKŁADU LOG-NORMALNEGO W FUNKCJI GRUBOŚCI ZIARNA I WILGOTNOŚCI

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURYDZA, MC = 8,20%, F = 240 N

RYŻ, MC = 12,8%, F = 30 N

JEDNOSTKOWA ENERGIA ROZDRABNIANIA W FUNKCJI CYKLI OBCIĄŻEŃ

BADANIA ENERGII MINIMUM W UJĘCIU FENOMENOLOGICZNYM

KUKURYDZA

F=4500 N, MC = 8%

F=4500 N, H = 5,05-5,15 mm

$$P(n) = \frac{1}{2}\left[1 + erf\left(\frac{\ln n - \ln n_{50}}{\sqrt{2\sigma^2}}\right)\right]$$

RYŻ

F=200 N, MC = 8%

F=200 N, H=1,90-2,00 mm

$$P(n) = \frac{1}{2}\left[1 + erf\left(\frac{\ln n - \ln n_{50}}{\sqrt{2\sigma^2}}\right)\right]$$

PRAWDOPODOBIEŃSTWO ROZDRABNIANIA W FUNKCJI LICZBY CYKLI OBCIĄŻEŃ

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

1 – jednostka sterownicza, 2 – rozdrabniacz pięciotarczowy, 3 – szafa sterownicza, 4 – podajnik ślimakowy, 5 – silnik krokowy, 6 – kosz odbiorczy, 7 – waga

STANOWISKO BADAWCZE ROZDRABNIACZA WIELOTARCZOWEGO

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

KUKURYDZA

$P = -0{,}17 - 5{,}14\cdot10^{-4}\cdot V_p + 0{,}02\cdot\omega_1 + 5{,}79\cdot10^{-5}\cdot V_p\cdot\omega_1 - 1{,}06\cdot10^{-4}\cdot(\omega_1)^2$,
adj. $R^2 = 0{,}906$

RYŻ

$P = -0{,}04 - 3{,}29\cdot10^{-4}\cdot V_p + 0{,}01\cdot\omega_1 - 5{,}08\cdot10^{-6}\cdot V_p\cdot\omega_1 - 6{,}82\cdot10^{-5}\cdot(\omega_1)^2$,
adj. $R^2 = 0{,}984$

POBÓR MOCY W ZALEŻNOŚCI OD PRĘDKOŚCI DOZOWANIA WSADU V_P I PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ TARCZY PIERWSZEJ ω_1

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

KUKURYDZA

$Q = 5{,}31 - 0{,}21 \cdot V_p + 0{,}35 \cdot \omega_1 + 0{,}002 \cdot (V_p)^2 - 9{,}25 \cdot 10^{-4} \cdot V_p \cdot \omega_1 - 0{,}006 \cdot (\omega_1)^2 - 1{,}22 \cdot 10^{-5} \cdot (V_p)^2 \cdot \omega_1 + 2{,}27 \cdot 10^{-5} \cdot V_p \cdot (\omega_1)^2 + 2{,}12 \cdot 10^{-5} \cdot (\omega_1)^3$, adj. $R^2 = 0{,}473$

RYŻ

$Q = -63{,}44 + 0{,}33 \cdot V_p + 5{,}04 \cdot \omega_1 + 0{,}006 \cdot V_p \cdot \omega_1 - 0{,}09 \cdot (\omega_1)^2 - 4{,}33 \cdot 10^{-5} \cdot V_p \cdot (\omega_1)^2 + 4{,}34 \cdot 10^{-4} \cdot (\omega_1)^3$, adj. $R^2 = 0{,}789$

WYDAJNOŚĆ W ZALEŻNOŚCI OD PRĘDKOŚCI DOZOWANIA WSADU V_P I PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ TARCZY PIERWSZEJ ω_1 PODCZAS ROZDRABNIANIA

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

KUKURYDZA

$E_j = 0{,}29 - 0{,}02 \cdot V_p + 0{,}003 \cdot \omega_1 + 3{,}26 \cdot 10^{-4} \cdot (V_p)^2 + 3{,}22 \cdot 10^{-4} \cdot V_p \cdot \omega_1 - 1{,}33 \cdot 10^{-4} \cdot (\omega_1)^2 - 1{,}69 \cdot 10^{-6} \cdot (V_p)^3 + 3{,}32 \cdot 10^{-7} \cdot (V_p)^2 \cdot \omega_1 - 2{,}55 \cdot 10^{-6} \cdot V_p \cdot (\omega_1)^2 + 1{,}15 \cdot 10^{-6} \cdot (\omega_1)^3$, adj. $R^2 = 0{,}694$

RYŻ

$E_j = 0{,}02 - 4{,}38 \cdot 10^{-5} \cdot V_p - 5{,}59 \cdot 10^{-4} \cdot \omega_1 - 7{,}94 \cdot 10^{-7} \cdot V_p \cdot \omega_1 + 1{,}44 \cdot 10^{-5} \cdot (\omega_1)^2 - 1{,}22 \cdot 10^{-8} \cdot V_p \cdot (\omega_1)^2 - 7{,}44 \cdot 10^{-8} \cdot (\omega_1)^3$, adj. $R^2 = 0{,}787$

JEDNOSTKOWE ZUŻYCIE ENERGII W ZALEŻNOŚCI OD PRĘDKOŚCI DOZOWANIA WSADU V_P I PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ TARCZY PIERWSZEJ ω_1 PODCZAS ROZDRABNIANIA

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

KUKURYDZA

$\lambda_{80} = -1{,}10 + 0{,}31 \cdot V_p + 0{,}02 \cdot \omega_1 - 0{,}006 \cdot (V_p)^2 - 7{,}63 \cdot 10^{-4} \cdot V_p \cdot \omega_1 + 2{,}93 \cdot 10^{-5} \cdot (V_p)^3 + 6{,}53 \cdot 10^{-6} \cdot (V_p)^2 \cdot \omega_1$, adj. $R^2 = 0{,}455$

RYŻ

$\lambda_{80} = 1{,}07 - 6{,}17 \cdot 10^{-4} \cdot V_p - 4{,}50 \cdot 10^{-4} \cdot \omega_1 - 1{,}75 \cdot 10^{-5} \cdot (V_p)^2 + 3{,}50 \cdot 10^{-5} \cdot V_p \cdot \omega_1 + 1{,}92 \cdot 10^{-7} \cdot (V_p)^3 - 2{,}81 \cdot 10^{-7} \cdot (V_p)^2 \cdot \omega_1$, adj. $R^2 = 0{,}424$

STOPNIEŃ ROZDROBNIENIA W ZALEŻNOŚCI OD PRĘDKOŚCI DOZOWANIA WSADU V_P I PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ TARCZY PIERWSZEJ ω_1 PODCZAS ROZDRABNIANIA

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

Rozkład wielkości cząstek Rosina-Rammlera-Sperlinga-Bennetta

$$Q3 = 1 - \exp(-d / x_0)^b$$

Kukurydza

Ryż

Parametr skali rozkładu RRSB a energią jednostkową rozdrabniania

JEDNOSTKOWE ZUŻYCIE ENERGII A ROZKŁAD GRANULOMETRYCZNY PRODUKTU ROZDRABNIANIA

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

Udział procentowy cząstek t_n o wymiarze mniejszym od $1/n$ w zależności od energii rozdrabniania

$$t_n = a_n \cdot (1 - e^{-s_n \cdot E_j})$$

Zmiany współczynnika a_n w zależności od rozpatrywanego n

$$t_n = a_{tn} \cdot \left(\frac{D_{80}}{d_n}\right)^{\beta} \cdot (1 - e^{-s_{tn} E_j})$$

JEDNOSTKOWE ZUŻYCIE ENERGII A ROZKŁAD GRANULOMETRYCZNY PRODUKTU ROZDRABNIANIA

BADANIA PIĘTROWEJ STRUKTURY SYSTEMU ROZDRABNIANIA

Udział procentowy cząstek t_n o wymiarze mniejszym od $1/n$ w zależności od energii rozdrabniania

Zależność współczynników G_n i p_n od rozpatrywanego n

$$t_n = G_{tn} \cdot \left(\frac{D_{80}}{d_n}\right)^{\delta} \cdot E_j^{p_{tn} + \ln\left(\frac{D_{80}}{d_n} - 1\right)}$$

JEDNOSTKOWE ZUŻYCIE ENERGII A ROZKŁAD GRANULOMETRYCZNY PRODUKTU ROZDRABNIANIA

AUTOREGULACJA

Kryterium optymalizacyjne

Funkcja celu: funkcja oceny energetyczno-środowiskowej

$$F_{e-s} = K_E \cdot K_e = \frac{1}{E_{zint}} \cdot \frac{1}{e_{zrów}}$$

Energochłonność zintegrowana

Emisyjność zrównoważona

$$E_{zint} = K_{Q_r} \cdot K_P \cdot K_{E_j} \cdot K_i$$

$$e_{zrów} = P_R \cdot \frac{1}{\Delta E_{eco}} \cdot \frac{1}{t_R}$$

- wydajności rozdrabniania K_{Qr}, $K_{Qr} = Q_r$,
- zapotrzebowania mocy K_P, $K_P = \frac{1}{P_r}$
- jednostkowego zapotrzebowania na energię K_{Ej}, $K_{Ej} = \frac{1}{E_j}$
- stopnia rozdrobnienia K_i, $K_i = i_{80}$

ΔE_{eco} – przyrost korzyści ekologicznych, kWh,
P_R – pobór mocy w procesie rozdrabniania, kW,
t_R – czas rozdrabniania, h,

Schemat działania algorytmu genetycznego

Algorytmy genetyczny na potrzeby autoregulacji procesu rozdrabniania

ZASTOSOWANIE PRAKTYCZNE WYNIKÓW BADAŃ

SYMULACJA ROZDRABNIANIA ZIAREN

ZASTOSOWANIE PRAKTYCZNE WYNIKÓW BADAŃ

Wielkość cząstek w czasie

Ciśnienie na walcach

SYMULACJA ROZDRABNIANIA ZIAREN

ZASTOSOWANIE PRAKTYCZNE WYNIKÓW BADAŃ

INTERFEJS STEROWANIA ROZDRABNIACZEM ZA POMOCĄ ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH

ZASTOSOWANIE PRAKTYCZNE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki autoregulacji ustawień parametrów pracy rozdrabniacza (kukurydza)

ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	V_P	$e_{zrów}$	E_{zint}	F_{e-s}
$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	%	-	-	-
82	88	48	44	93	63	261,96	1726,23	2,211
51	39	127	97	120	55	318,66	2105,48	1,490
96	63	67	71	86	56	257,32	8916,35	0,436
42	103	102	58	62	97	262,03	1520,43	2,510
102	115	79	35	39	58	456,24	6601,37	0,332
56	42	64	64	28	81	271,96	2638,64	1,394
102	112	83	51	28	94	381,06	10809,6	0,243

Wyniki autoregulacji ustawień parametrów pracy rozdrabniacza (ryż)

ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	V_P	$e_{zrów}$	E_{zint}	F_{e-s}
$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	$rad \cdot s^{-1}$	%	$\cdot 10^{-4}$	-	$\cdot 10^{-2}$
68	57	79	61	120	69	313,67	3670,59	0,869
110	60	73	127	59	97	304,79	2646,02	1,240
116	75	124	35	76	74	429,20	2305,54	1,011
102	60	45	87	96	81	327,23	2113,51	1,446
121	51	73	51	123	97	358,02	710,03	3,934
42	54	114	100	49	68	429,34	3825,32	0,609

WYNIKI EKSPERYMENTÓW Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU AUTOREGULACJI

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

- Za podstawę rozwoju maszyn i urządzeń procesów rozdrabniania przyjęto model INTEGRONU, który wskazuje celowość, dążenie do minimalizacji energii, autoregulację i piętrową strukturę jako warunki konieczne rozwoju. Wykazano słuszność tego podejścia i opisano m.in. współzależności pomiędzy wspomnianymi warunkami podkreślając istotę badań zmian stanu maszyn, parametrów i wskaźników eksploatacyjnych dla formułowania zaleceń ulepszających konstrukcję, sprawność, efektywność i skuteczność rozdrabniaczy biomasy.
- Wykazano na przykładzie ryżu i kukurydzy, że rozdrabnianie ziaren biomasy można opisać stosując teorię probabilistyczne rozkładu energii rozdrabniania, przy czym rozkłady te zależne są od wilgotności i grubości ziarna. Zaobserwowano osłabianie struktury wewnętrznej ziarna na skutek akumulacji uszkodzeń, co prowadziło do rozdrobnienia ziarna na skutek wielokrotnych obciążeń o wartości energii niższej niż energia rozdrabniania,
- Wyznaczono zależności opisujące wydajność, pobór mocy, stopień rozdrobnienia, jednostkowe zużycie energii w funkcji sumarycznego przyrostu prędkości kątowych tarcz, prędkości dozowania wsadu i krotności rozdrabniania
- Przeprowadzone eksperymenty dowodzą słuszności zaproponowanego podejścia, skuteczności opracowanego algorytmu autoregulacji w zakresie doboru nastaw parametrów procesowych młyna prowadzących do zmniejszenia energochłonności procesu i jego emisyjności, potwierdzając możliwości aplikacyjne otrzymanych wyników.

Dziękuję za uwagę!

dr inż. Weronika Kruszelnicka

Adiunkt

Katedra Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii i Systemów Technicznych
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich
Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland
weronika.kruszelnicka@pbs.edu.pl

Purdue University
Department of Agricultural & Biological Engineering
225 South University Street
West Lafayette, IN 47907-2093, USA
wkruszel@purdue.edu

www.wim.pbs.edu.pl