



Ekoinnowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne oraz parametry pracy rozpylacza w nowej generacji zaprawiarki porcjowej do ziaren zbóż

Leon Kukielka^{}, Agnieszka Kułakowska^{*}, Krzysztof Kukielka^{*},
Zbyszek Zbytek^{**}, Aleksander Lubiński^{***}, Jacek Lubiński^{***}
^{*}Politechnika Koszalińska,
^{**}Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań,
^{***}Agralex SJ*

1. Wstęp

Ekoinnowacje stanowią szczególny rodzaj innowacji, które przyczyniają się do stworzenia nowych rozwiązań dostarczających wartości dodanej konsumentom i przedsiębiorcom istotnie zmniejszając oddziaływanie na środowisko, co jest ich podstawową właściwością odróżniającą od innowacji innego typu (Baran 2013). Podczas tworzenia nowej generacji zaprawiarki porcjowej do ziaren zbóż, duży nacisk położono właśnie na zastosowanie nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych oraz dobór parametrów pracy rozpylacza, tak aby stanowiły one o ekoinnowacyjności maszyny.

Automatyczna, wirowa zaprawiarka porcjowa jest przeznaczona do zaprawiania ziarna siewnego zbóż zaprawami nasiennymi proszkowymi, zawiesinowymi i płynnymi, przy czym możliwe jest sekwencyjne stosowanie kilku rodzajów zapraw nasiennych, w tym biologicznych, dzięki zastosowaniu (opcjonalnie) kilku niezależnych układów dozujących i aplikujących zaprawę w postaci płynnej lub proszkowej (Kukielka i in. 2015). Ponadto zamontowane dozowniki proszków umożliwią precyzyjną aplikację talków, polimerów lub innych proszków niezbędnych do inkrustacji nasion. Ze względu na dużą rozpiętość wydajności zapra-

wiarki 3-8 [$t \cdot h^{-1}$] jest ona przeznaczona dla średnich i dużych gospodarstw rolnych oraz zakładów nasiennych (przedsiębiorstw przygotowujących materiał siewny). W trakcie opracowania konstrukcji oraz technologii wytwarzania części maszyny stosowano zasady ekoprojektowania, zmniejszając przez to negatywny wpływ na środowisko (Bohdal i in. 2014, Bohdal & Kukielka i in. 2014, Bohdal i in. 2016, Kukielka 2001, Kukielka & Kustra 2003, Kukielka i in. 2005, Kukielka i in. 2010, Kukielka i in. 2013, Kukielka i in. 2016, Kulakowska i in. 2008, Kulakowska 2012, Kulakowska i in. 2014, Kulakowska & Patyk i in. 2014, Kulakowska i in. 2016, Kukielka i in. 2014, Kukielka & Kukielka i in. 2014, Kukielka i in. 2012, Maląg i in. 2014, Mysliński i in. 2004, Patyk i in. 2014, Patyk & 2014-1, Patyk i in. 2016). Nowej generacji urządzenie do przygotowania i ochrony nasion, dzięki nowoczesnej konstrukcji, uniwersalności funkcjonalnej, pełnej automatyce sterowania i nadzoru, zastosowaniu nowoczesnych technologii wykonania oraz systemu zdalnego sterowania i serwisowania on-line, zapewnia:

- zaprawianie różnych nasion: małych (np. rzepak, zboża) i dużych (groch, peluszką, łubin, fasola itp.),
- dozowanie zaprawy z wysoką precyzją,
- stosowanie jednocześnie kilku zapraw, nawet takich, które nie mogą się z sobą mieszać,
- inkrustowanie nasion polimerami, na mokro i na sucho,
- wysoką wydajność zaprawiania (efektywność energetyczna i materiałowa),
- wysoki stopień pokrycia nasion,
- wysoką równomierność nanoszenia zaprawy na nasiona,
- wysoką niezawodność,
- wysoki stopień bezpieczeństwa dla obsługi i środowiska.

Celem artykułu jest przedstawienie ekoinnowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych oraz parametrów pracy rozpylacza w nowej generacji zaprawiarce porcjowej do ziaren zbóż. W niniejszej pracy główny nacisk położono na komorę zaprawiania, w której odbywa się dokładne nanoszenie zaprawy na nasiona oraz proces rozdrabniania kropli zaprawy w celu uzyskania mgiełki. Komorę zbudowano z nieruchomego cylindra o osi pionowej oraz wirującego dna w kształcie talerza. W osi talerza

i cylindra zamontowano wirującą tarczę rozpylającą ciecz. Nasiona ze zbiornika ważącego spadać będą na wirujący talerz. Dzięki sile odśrodkowej nasiona w komorze odrzucane są na ścianę nieruchomego cylindra i ponownie spadają na talerz. Na każdą chwilową powierzchnię nasion będących w ruchu (tworzących jednocześnie w osi wirującego talerza komory ruchomy lej) rozpylana jest odpowiednia dawka zaprawy. Wielokrotna powtarzalność tej operacji zapewni uzyskanie wymaganego stopnia wymieszania i pokrycia.

2. Założenia wstępne dotyczące układu napędu komory zaprawiania

Układ napędu komory zaprawiania powinien spełniać następujące założenia:

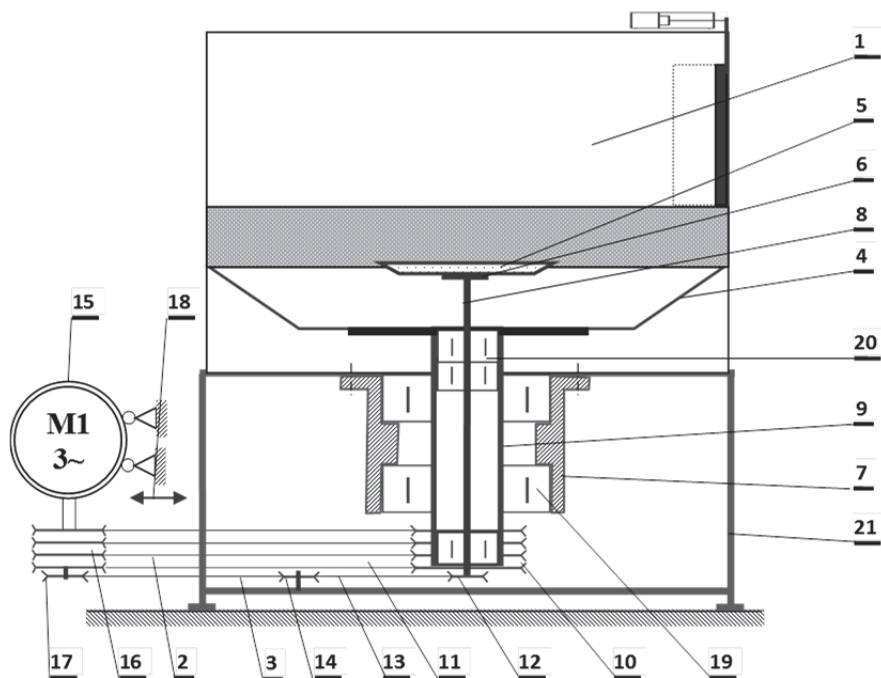
1. Układ napędu talerza głównego i tarczy rozpylającej powinien być umieszczony na zewnątrz komory zaprawiania.
2. Powinna być zastosowana przekładnia dwustopniowa, która jednak przenosić będzie obroty z jednego silnika, odpowiednio wprawiając w ruch talerz główny i tarczę rozpylającą.
3. Układ napędu powinien posiadać silnik z wałem, który powinien przenosić obroty na przekładnię dwustopniową. Na wale umiejscowione będą koła pasowe czynne przekładni.
4. Współczynnik przeciążenia przyjęty do obliczeń powinien wynosić $k = 1,2$. Zależy on jest, zgodnie z literaturą (Kurmaz i in. 2011, Dietrich 1999), od rodzaju silnika – silnik elektryczny trójfazowy z przełączeniem lub rozrusznikiem (lub silnik elektryczny o dużym momencie rozruchowym) oraz warunków pracy urządzenia napędzającego (lekkie – do 10 kW).
5. Silnik powinien posiadać odpowiednią moc, która przy uwzględnieniu porcjowego charakteru pracy zaprawiarki umożliwi zaprawienie maksymalnej porcji ziarna tj. $m = 50$ [kg].
6. Przekładnia pasowa dwustopniowa powinna charakteryzować się odpowiednią liczbą pasów w celu zapewnienia odpowiedniej mocy przenoszonej przez układ. Przy czym najlepiej, jeśli przekładnia pasowa talerza głównego będzie pełniła funkcję redukcyjną, zaś tarczy zaprawiającej multiplikatywną.

7. Tarcza rozpylająca powinna pracować z większą prędkością obrotową niż talerz główny w celu uzyskania odpowiedniego zaprawienia ziarna zaprawą cieczową w postaci mgły.
8. Odpowiednia konstrukcja tarczy rozpylającej jak np. kształt i średnica tarczy, powierzchnie boczne pochylone pod odpowiednim kątem α , otwory na bocznych ściankach, ma umożliwić uzyskanie zaprawy w postaci mgły.
9. Aby można było mówić o mgle w przypadku zaprawy cieczowej wielkość kropli rozpylonej powinna mieć wartość poniżej 20 [μm] (Bernacki i in. 1967).
10. Talerz główny oraz tarcza rozpylająca osadzone powinny być na jednym wale, jednak ze względu na różne koła pasowe i różne prędkości obrotowe przez nie osiągnane zastosowany powinien być wał drążony z wrzecionem umieszczonym wewnątrz. Wrzeciono napędzać będzie tarczę rozpylającą, zaś wał drążony talerz główny.
11. Niezbędne będzie odpowiednie łożyskowanie zarówno wału drążonego jak i wrzeciona, które powinny być osłonięte w celu zabezpieczenia przed zanieczyszczeniami.

Schemat napędu talerzy w komorze zaprawiania projektowanej zaprawiarki przedstawiono na rysunku 1. Układ napędu ma możliwość regulacji prędkości obrotowej silnika napędowego i składa się z następujących głównych zespołów: silnika, redukcyjnej przekładni pasowej klinowej 1, multiplikatywnej przekładni pasowej klinowej 2, wału drążonego, wrzeciona tarczy rozpylającej.

3. Budowa komory zaprawiania

Schemat komory zaprawiania i układu napędu talerzy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat napędu talerza głównego i tarczy rozpylania zaprawy cieczerwnej w komorze zaprawiania: 1 – komora zaprawiania, 2 – redukcyjna przekładnia pasowa klinowa 1, 3 – multiplikatywna przekładnia pasowa klinowa 2, 4 – talerz główny, 5 – tarcza do rozpylania zaprawy cieczerwnej, 6 – piasta tarczy rozpylacza, 7 – stała obudowa łożysk, 8 – wrzeciono tarczy rozpylającej, 9 – wał drążony, 10 – koło pasowe napędzane przekładni napędu talerza głównego, 11 – pasy klinowe przekładni redukcyjnej (4 szt.), 12 – koło pasowe napędzane przekładni napędu tarczy rozpylającej, 13 – pas klinowy przekładni napędu tarczy rozpylającej, 14 – napinacz pasa przekładni multiplikatywnej, 15 – silnik, 16 – koło pasowe napędzające przekładni talerza głównego, 17 – koło pasowe napędzające przekładni tarczy rozpylającej, 18 – mechanizm regulacji napięcia pasów klinowych, 19 – łożyskowanie wału drążonego, 20 – łożyskowanie wrzeciona, 21 – rama nośna

Fig. 1. Scheme of the main plate drive and disc of mortal liquid pickling in the seed pickling machine: 1 – pickling chamber, 2 – reducer wedge belt drive 1, 3 – multiplicative wedge belt drive 2, 4 – main plate, 5 – plate to the atomization of the liquid mortal, 6 – atomizer wheel hub, 7 – permanent buildings bearings, 8 – spindle of the pickling disk, 9 – hollow shaft, 10 – pulley driven by the main drive gear plate, 11 – V-belts of reduction gear (4), 12 – a pulley driven drive

gear atomizing, 13 – V-belt drive gear atomizing, 14 – multiplicative gear belt tensioner, 15 – motor, 16 – pulley driving gear of the main plate, 17 – pulley drive gear atomizing, 18 – mechanism for regulating the voltage of V-belts, 19 – bearing hollow shaft, 20 – spindle bearing, 21 – the support frame

4. Prędkość obrotowa talerza głównego

Najważniejszym zadaniem przekładni redukcyjnej jest zapewnienie wymaganej prędkości obrotowej n_t talerza głównego, która wytworzy taką wartość siły odśrodkowej F_o działającej na ziarno (rys. 2), która pokona siłę tarcia F_t ziarna o tarczę i spowoduje najpierw ruch ziarna w kierunku promieniowym na zewnątrz talerza i nada mu taką energię kinetyczną, aby po uderzeniu w powłokę ochronną (4) osłony komory (5) przemieściło się w górę na wysokość h oraz odbiło się od obudowy komory zaprawiania i spadło grawitacyjnie z powrotem na talerz. Ruch ziarna zgodnie z wymaganą trajektorią T zapewni nie tylko dobre wymieszanie ziarna ale również prawidłowe pokrycie go zaprawą.

Ziarno, w chwili zetknięcia się z talerzem, porusza się z chwilową prędkością v_{zi} :

$$v_{zi} = \zeta \cdot v_{ti} = \zeta \cdot \omega_t \cdot R_i = \omega_z \cdot R_i, [m \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

ω_t – chwilowa prędkość kątowna talerza [rad/s],

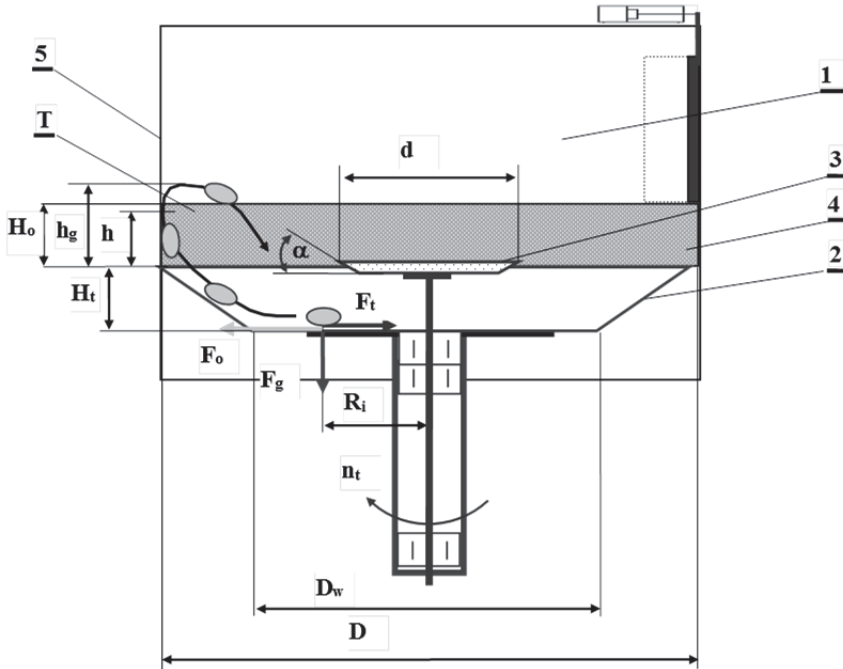
ω_z – chwilowa prędkość kątowna ziarna [rad/s],

R_i – promień okręgu zetknięcia się ziarna z talerzem [m],

ζ – współczynnik wynikający z poślizgu ziarna po talerzu głównym,

v_{ti} – prędkość punktu talerza na promieniu R_i .

Z danych literaturowych wynika (Gajtkowski 1977, Gajtkowski 1980), że dla ziarna współczynnik $\zeta = 0,171$, czyli prędkość kątowna ziarna jest o około 5,84 razy mniejsza od prędkości kątownej talerza.



Rys. 2. Schemat do obliczenia wymaganej prędkości obrotowej n_t talerza głównego: 1 – komora zaprawiania, 2 – talerz główny, 3 – tarcza do rozpylania zaprawy cieczerwnej, 4 – obudowa komory zaprawiania, 5 – warstwa ochronna komory zaprawiania, d – średnica tarczy rozpylającej, α – kąt pochylenia tworzącej stożka tarczy, D – średnica zewnętrzna talerza, D_w – średnica dna talerza, R_i – promień okręgu zetknięcia się ziarna z talerzem, H – wysokość talerza, H_o – wysokość warstwy ochronnej komory zaprawiania, h – wysokość podrzutu ziarna ponad talerz, F_o – siła odśrodkowa, $F_g = m_z \cdot g$ – siła grawitacji działająca na ziarno, F_t – siła tarcia ziarna o talerz, n_t – prędkość obrotowa talerza, T – tor ruchu ziarna.

Fig. 2. Scheme for calculating the required speed on a main plate: 1 – pickling chamber, 2 – main plate, 3 – pickling plate of the mortar, 4 – chamber buildings, 5 – protective layer of pickling chamber's d – diameter of atomizing plate, α – the angle of inclination of the cone shield, D – diameter of the outer plate, D_w – diameter of the bottom plate, R – radius of the circle contact between the grains and the plate, H – height of the plate, H_o – height of the protective layer in pickling chamber, h – the height of the seed toss over the plate, F_o – the centrifugal force $F_g = m \cdot g$ – the force of gravity acting on grain, F_t – grain friction force of the plate, n_t – speed of the plate, T – track of the grain movement.

Ziarno doznaje również przyspieszenia całkowitego \mathbf{a}_z , które jest sumą składowych wektorów przyspieszeń stycznego \mathbf{a}_{zt} i normalnego \mathbf{a}_{zn} :

$$\mathbf{a}_z = \mathbf{a}_{zt} + \mathbf{a}_{zn} = \frac{dv_{zi}}{dt} \cdot \boldsymbol{\tau} + \frac{v_{zi}^2}{R_i} \cdot \mathbf{n} = R_i \cdot \varepsilon_z \cdot \boldsymbol{\tau} + \omega_z^2 \cdot R_i \cdot \mathbf{n}, [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (2)$$

gdzie:

ε_z – chwilowe przyspieszenie kątowe ziarna $[\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}]$,

$\boldsymbol{\tau}, \mathbf{n}$ – jednostkowe wektory odpowiednio styczny i normalny.

Uwzględniając zależności pomiędzy chwilową prędkością kątową ziarna ω_z i talerza ω_t oraz chwilową prędkością obrotową n_t talerza:

$$\omega_z = \zeta \cdot \omega_t = 2 \cdot \zeta \cdot \pi \cdot n_t, [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

po podstawieniu do wzoru (2) otrzymamy:

$$\mathbf{a}_z = \mathbf{a}_{zt} + \mathbf{a}_{zn} = \frac{dv_{zi}}{dt} \cdot \boldsymbol{\tau} + \frac{v_{zi}^2}{R_i} \cdot \mathbf{n} = R_i \cdot \varepsilon_z \cdot \boldsymbol{\tau} + (2 \cdot \zeta \cdot \pi \cdot n_t)^2 \cdot R_i \cdot \mathbf{n}, [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]. \quad (4)$$

Ponieważ prędkość obrotowa talerza jest stała ($n_t = \text{const.}$), to składowe styczne przyspieszenia talerza i ziarna są równe zero ($\mathbf{a}_t = 0$), a całkowite przyspieszenie ziarna jest równe składowej przyspieszenia normalnego ziarna, czyli:

$$\mathbf{a}_z = \mathbf{a}_{zn} = \frac{v_{zi}^2}{R_i} = (2 \cdot \zeta \cdot \pi \cdot n_t)^2 \cdot R_i, [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (5)$$

W celu zapewnienia ruchu ziarna na zewnątrz talerza siła odśrodkowa działająca na ziarno musi być większa od siły tarcia, czyli musi być spełniona nierówność:

$$F_o = m_z \cdot (2 \cdot \zeta \cdot \pi \cdot n_t)^2 \cdot R_i > F_t = F_g \cdot \mu = m_z \cdot g \cdot \mu, [\text{N}] \quad (6)$$

gdzie μ jest współczynnikiem tarcia statycznego granicznego ziarna o powierzchnię talerza. Na podstawie badań (Horabik i in. 2002) przyjęto najbardziej niekorzystny przypadek, dla którego współczynnik tarcia ziarna jest maksymalny i wynosi $\mu = 0,414 \pm 0,003$.

Po przemieszczeniu się ziarna na zewnątrz talerza na odległość odpowiadającej promieniowi $R_w = 0,5 \cdot D_w$ ziarno uderza w obudowę (warstwę ochronną) z przyspieszeniem a_R wynikającym z następujących zależności:

$$m_z \cdot a_R = F_0 - F_t, \text{ [N]} \quad (6a)$$

czyli:

$$m_z \cdot a_R = m_z \cdot 4 \cdot \zeta^2 \cdot \pi^2 \cdot n_t^2 \cdot R_w - m_z \cdot g \cdot \mu, \text{ [N]} \quad (6b)$$

stąd:

$$a_R = 4 \cdot \zeta^2 \cdot \pi^2 \cdot n_t^2 \cdot R_w - g \cdot \mu, \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}. \quad (6c)$$

W chwili zderzenia ziarno posiada chwilową energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{m_z \cdot v^2}{2} = \frac{m_z \cdot (\zeta \cdot \pi \cdot D \cdot n_t)^2}{2}, \text{ [J]}. \quad (7a)$$

gdzie v_R [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] jest prędkością ziarna w chwili zderzenia:

$$\begin{aligned} v_R &= \sqrt{a_R \cdot R_w} = \sqrt{4 \cdot \zeta^2 \cdot \pi^2 \cdot n_t^2 \cdot R_w^2 - g \cdot \mu \cdot R_w} = \\ &= \sqrt{\zeta^2 \cdot \pi^2 \cdot n_t^2 \cdot D_w^2 - g \cdot \mu \cdot R_w}, \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}. \end{aligned} \quad (7b)$$

W chwili zderzenia ziarno znajduje się w układzie odosobnionym, co oznacza, że wypadkowa sił jest równa zero. W takim przypadku możemy przyjąć, na podstawie doświadczenia wynikającego ze stosowanego materiału ochronnego oraz zasady zachowania pędu, współczynnik restytucji bliski jedności, co oznacza, że strata energii wynikająca ze zderzenia ziarna z warstwą ochronną jest pomijalnie mała. Przy takim założeniu, ziarno po odbiciu się od powłoki ochronnej na wysokości h i osiąga wysokość h_g , wynikającą z równości energii potencjalnej i kinetycznej ziarna, zatem:

$$E_k = \frac{m_z \cdot [(\zeta \cdot \pi \cdot D \cdot n_t)^2 - g \cdot \mu \cdot R_w]}{2} = E_p = m_z \cdot g \cdot h_g, \text{ [J]}, \quad (8a)$$

stąd:

$$n_t = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_g + g \cdot \mu \cdot R_w}}{\pi \cdot \zeta \cdot D}, \text{ [s}^{-1}\text{]}. \quad (8b)$$

Po podstawieniu danych: $g = 9,81$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$], $h_g = 0,28$ [m], $D = 0,78$ [m], $\zeta = 0,171$, do wzoru (8) otrzymano:

$$n_t = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,28 + 9,81 \cdot 0,414 \cdot 0,39}}{\pi \cdot 0,171 \cdot 0,78} = 6,34, [\text{s}^{-1}] \quad (9)$$

$$\text{lub } n_t = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,28 + 9,81 \cdot 0,414 \cdot 0,39}}{\pi \cdot 0,171 \cdot 0,78} \cdot 60 = 380, [\text{min}^{-1}]. \quad (10)$$

Do dalszych obliczeń przyjęto: $n_t = 6,34 [\text{s}^{-1}] = 380 [\text{min}^{-1}]$.

5. Wielkość kropli u wylotu z aplikatora i średnica rurki aplikatora

Przy założeniu ruchu grawitacyjnego kropli siłą, która odrywa kroplę od rurki aplikatora, jest jej ciężar ($F_g = m \cdot g$), zaś siłą, która utrzymuje kroplę u wylotu rurki, jest siła napięcia powierzchniowego błonki powierzchniowej kropli. Siła napięcia powierzchniowego skierowana do góry, w początkowej fazie narastania kropli, działa na zewnętrznym obwodzie rurki $2\pi r$, natomiast w momencie odrywania kropli, na nieco mniejszym obwodzie przewężenia $2\pi r_1$. Początkowo siła ciężaru narastającej kropli jest mniejsza od siły napięcia powierzchniowego ($F_N = 2\pi \cdot r \cdot \sigma$) i kropla utrzymuje się u wylotu rurki. W miarę powiększania rozmiarów kropli, ciężar jej staje się coraz większy, aż w pewnej chwili staje się równy sile napięcia powierzchniowego działającej na obwodzie przewężenia, wówczas następuje oderwanie się kropli. Warunek więc odrywania kropli wyraża równość obu sił:

$$F_N = F_g. \quad (11)$$

Po podstawieniu otrzymano:

$$2\pi r_1 \cdot \sigma = m \cdot g, \quad (12)$$

oraz po przekształceniu:

$$\sigma = \frac{m \cdot g}{2\pi \cdot r_1}, \quad (13)$$

gdzie:

σ – napięcie powierzchniowe cieczy [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$],

m – masa kropli $3,5 \cdot 10^{-5}$ [kg],

g – przyspieszenie ziemskie,

r_1 – promień przewężenia odrywającej się kropli [m] (w przybliżeniu jest równy promieniowi wewnętrznej średnicy wylotu rurki, tzn. $r_1 \sim r$).

Ze wzoru (13) można wyznaczyć promień r :

$$r = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot \sigma} \quad (14)$$

Po podstawieniu danych otrzymano:

$$r = \frac{3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81}{2\pi \cdot 72,75 \cdot 10^{-3}} = 0,000752, \text{ [m]}.$$

Czyli średnica wewnętrzna wylotu aplikatora powinna być równa średnicy kropli i wynosić: $D_r = 0,001503 \text{ [m]}$.

6. Prędkość obrotowa tarczy rozpylającej

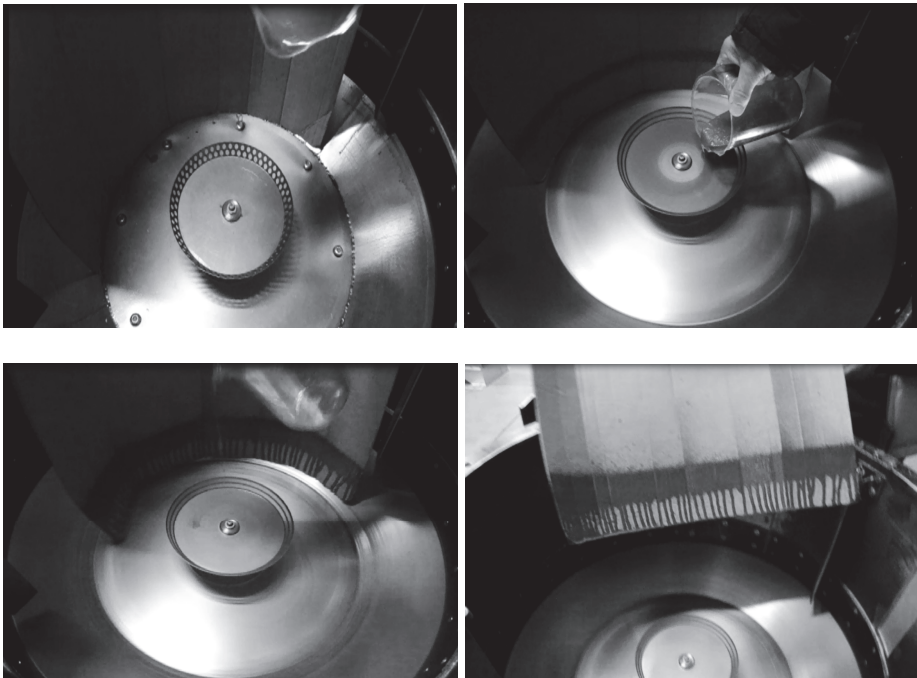
Na podstawie literatury stwierdzono, że dla określenia wielkości kropli uzyskiwanych przy rozpylaniu cieczy różnego typu rozpylaczami konieczna jest znajomość wielkości stałych, które mogą być określone tylko doświadczalnie (Gajtkowski 1977, Gajtkowski 1980). Podejmowano liczne próby opracowania wzorów, które brałyby pod uwagę fizyczny charakter zjawiska rozpylania, a w nim górne i dolne granice wielkości kropli. Zagadnienie to wywodzące się z rozkładu cieczy w procesie rozpylania wymaga znajomości wszystkich czynników powodujących rozdrobnienie cieczy oraz ich wzajemnej zależności. Jednak w chwili obecnej, ze względu na niepełną znajomość procesu tworzenia się kropli, wydaje się to nie do spełnienia.

Wskaźniki określające jakość rozpylenia cieczy obliczane są na podstawie wyników pomiarów wielkości kropli wytworzonych przez rozpylacze. Wśród czynników określających jakość rozpylenia cieczy wymienić można (Gajtkowski 1980):

- średnie średnice kropli,
- rozrzut względny kropli,
- stopień jednorodności rozpylenia,
- charakterystyczna liczba rozpylacza,
- wskaźnik agrotechnicznej przydatności rozpylacza.

Wzory, które znaleźć można w literaturze określające wielkość kropli wytworzonych z rozpylaczy rotacyjnych mają ograniczone zastosowania ze względu na wartości stałe ściśle związane z konstrukcją badanego rozpylacza (Gajtkowski 1977, Gajtkowski 1980). Z teorii rozpy-

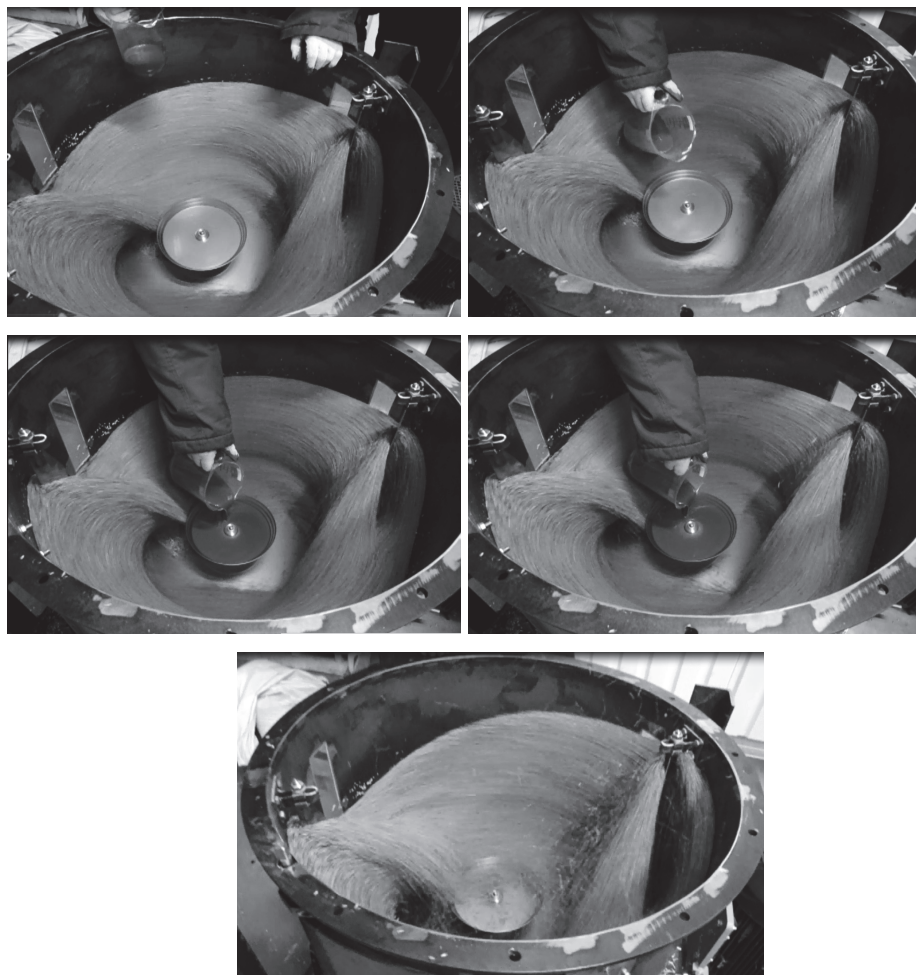
lenia wiadomo, że tarcze płaskie charakteryzują się najbardziej jednolitym rozpyleniem przy optymalnym dopływie cieczy. W przypadku, gdy rozpylacz stanowi tarczę płaską z zagiętą krawędzią rozpylającą wytwarza krople na zewnętrznej powierzchni cylindrycznej, stwarzając lepsze warunki rozpylania cieczy. Brak teorii rozpylenia cieczy tego typu rozpylaczami uniemożliwia obliczenie średnicy otworów rozpylających. Badania Autorów przeprowadzone w firmie AGRALEX nad wpływem otworów rozpylających na jakość pracy tarczy rozpylającej wykazały, że najkorzystniej byłoby otwory rozmieścić na dwóch okręgach o różnej średnicy oraz obróconych względem siebie o pewien kąt (rys. 3).



Rys. 3. Rozpylanie zaprawy na ekran
Fig. 3. Atomizing of the mortar on screen

Powinno to spowodować lepsze rozdrobnienie kropli z zaprawą oraz powinno pozwolić na uzyskanie większego kąta odbicia zaprawy, a co z tym się wiąże większą jednorodność rozpylenia i rozrzut kropli (rys. 3).

W trakcie badań eksperymentalnym możliwa była obserwacja zjawiska podnoszenia się strumienia ziarna po podaniu zaprawy. Kolejne fazy tego procesu przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Zjawisko podnoszenia się strumienia ziarna po podaniu zaprawy
Fig. 4. The phenomenon of rising stream of grains after administration seasonings

W celu poprawnego zaprawiania ziarna zaprawą cieczową w końcowej fazie zaprawiania kropla musi zostać rozbita na drobne kro-

ple, które tworzą mgłę. Rozpylanie cieczy jest to rozpad cieczy na krople w następstwie działania sił: ciśnieniowych, napięcia powierzchniowego i aerodynamicznych (Wachowiak 2005, Kowalik 2012, Zbrożek i in. 2009, Ochowiak 2009, Orzechowski i in. 1991).

Obecnie nie istnieje ogólna teoria rozpylania cieczy, a zwłaszcza brakuje odpowiedzi na zasadnicze pytanie, jakie średnice kropeł można uzyskać w danych warunkach. Wynika to z bardzo złożonego charakteru powstawania kropeł. Przy rozpadzie cieczy na krople decydują takie zjawiska jak: powstawanie fal na powierzchni cieczy, narastanie ich amplitudy oraz utrata ich stateczności wskutek oddziaływań wewnętrznych zachodzących w samym rozpylaczu i zewnętrznych związanych z oddziaływaniem czynników środowiska zewnętrznego. Rozpad cieczy następuje pod wpływem tych fal, których amplitudy najbardziej narastają w czasie. Taki przebieg jest typowy tylko dla małych prędkości wypływu cieczy.

Krople uformowane w trakcie rozpylania mogą ulegać dalszemu rozpadowi w wyniku działania sił aerodynamicznych, które powstają wskutek dużej prędkości względnej pomiędzy kroplami i powietrzem. Mechanizm tego wtórnego rozpadu kropeł polega na rosnącej deformacji kropli, tj.: spłaszczeniu, wyobleniu i uformowaniu powłoki, co prowadzi do rozpadu powłoki na dużą liczbę małych kropeł.

Zgodnie z literaturą (Roguski i in. 2012, Wachowiak 2005, Kowalik 2012, Zbrożek i in. 2009, Ochowiak 2009, Orzechowski i in. 1991, Broniarz-Press i in. 2013) przebieg rozpadu błony cieczy, tak jak przebieg rozpadu strugi, zależy głównie od prędkości wypływu cieczy z rozpylacza. Zjawiskiem wspólnym dla każdego z tych przebiegów jest utrata stateczności strug, bowiem błona rozpada się na strugi, a następnie na krople. Można wyodrębnić trzy charakterystyczne przebiegi rozpadu błon w zależności od prędkości wypływu cieczy z rozpylacza wirowego. Przy prędkości do kilku metrów na sekundę błona zmniejsza swoją grubość od kierunku wypływu i w określonym momencie zaczyna pękać tworząc otwory – perforacje. Przy większych prędkościach wypływu ujawniają się coraz wyraźniej zjawiska falowe powodując charakterystyczny rozpad błony. Przy dalszym wzroście prędkości wypływu (powyżej kilkudziesięciu [m/s]) maleje długość fal, a rośnie ich amplituda powodując tym samym właściwe rozpylanie. Zgodnie z tym przyjęto prędkość początkową kropli $v_0 = 20$ [m·s⁻¹]. Następnie z zależności na początkową prędkość kropli opuszczającej tarczę rozpylającą:

$$v_o = \zeta \cdot \pi \cdot d \cdot n_3, [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (15)$$

można obliczyć wymaganą prędkość obrotową wrzeciona:

$$n_3 = \frac{v_o}{\zeta \cdot \pi \cdot d}, [\text{s}^{-1}]. \quad (16a)$$

Podstawiając dane: średnica tarczy rozpylającej $d_t = 0,22$ [m], prędkość początkowa kropli $v_o = 20$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] i $\zeta = 0,9$ (ze względu na wykonane perforacje tarczy), otrzymano:

$$n_3 = \frac{v_o}{\zeta \cdot \pi \cdot d} = \frac{20}{0,9 \cdot \pi \cdot 0,22} = 32,15, [\text{s}^{-1}] = 1929 [\text{min}^{-1}]. \quad (16b)$$

Przyjęto prędkość obrotową tarczy rozpylającej równą $n_3 = 31,67$ [s^{-1}] = 1900 [min^{-1}].

7. Wielkość kropli opuszczającej tarczę

Mechanizm tego wtórnego rozpadu kropel polega na rosnącej deformacji kropli, tj.: spłaszczeniu, wyobleniu i uformowaniu powłoki, co prowadzi do rozpadu powłoki na dużą liczbę małych kropel. Dzieje się tak przy przekroczeniu krytycznej liczby Webera, czyli dla $We > We_{kr}$. Wartość We_{kr} wynika z badań eksperymentalnych i jest najczęściej przyjmowana w zakresie $We_{kr} = 10 \div 14$.

Liczba Webera wyraża stosunek sił dynamicznych otoczenia do sił napięcia powierzchniowego, czyli:

$$We = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot d}{\sigma}, \quad (17)$$

gdzie:

ρ – gęstość cieczy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

v – prędkość cieczy (kropli) na wylocie, czyli prędkość względna między kroplą i powietrzem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

d – średnica kropli [m],

σ – napięcie powierzchniowe cieczy [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$].

Po przekształceniu wzoru (17) oraz podstawieniu danych: napięcie powierzchniowe przyjęto jak dla wody w temperaturze 20°C , $\sigma = 72,75 \cdot 10^{-3}$ [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$], gęstość cieczy jak dla wody $\rho \approx 1000$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], war-

tość liczby Webera $We = 10$ i prędkość kropli $v_0 = 20 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$, średnicę kropli można obliczyć ze wzoru:

$$d = \frac{We \cdot \sigma}{\rho \cdot v^2}, \quad (18)$$

po podstawieniu danych otrzymano:

$$d = \frac{10 \cdot 72,75 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^3 \cdot 20^2} = 0,0000018 \text{ [m]} = 1,8 \text{ [\mu m]}.$$

Średnica kropli opuszczającej tarczę rozpylającą wynosi $d = 1,8 \text{ [\mu m]}$. Czyli wymagany warunek wielkości kropli $d < 20 \text{ [\mu m]}$ został spełniony. Osiągnięto dzięki temu nowatorskie rozwiązanie, pozwalające z dużą dokładnością pokrywać ziarno zaprawą.

8. Podsumowanie

W nowatorskich rozwiązaniach dotyczących nowej generacji zaprawiarce porcjowej do ziaren zbóż zastosowano ekoinnovazione konstrukcyjne. Pozwalają one na uzyskanie np.: odpowiednio rozdrobionych kropli zaprawy (mgiełki), pozwala to na uzyskanie większego kąta odbicia zaprawy, a co z tym się wiąże większej jednorodności rozpylenia i rozrzut kropli. Nasiona ze zbiornika ważącego spadać będą na wirujący talerz. Dzięki sile odśrodkowej nasiona w komorze odrzucają się na ścianę nieruchomego cylindra i ponownie spadają na talerz. Na każdą chwilową powierzchnię nasion będących w ruchu (tworzących jednocześnie w osi wirującego talerza komory ruchomy lej) rozpylana jest odpowiednia dawka zaprawy. Wielokrotna powtarzalność tej operacji zapewni uzyskanie wymaganego stopnia wymieszania i pokrycia.

Ważnym elementem wpływającym na wydajność zaprawiania ziarna są również parametry pracy rozpylacza w nowej generacji zaprawiarce porcjowej do ziaren zbóż. Uzyskane wyniki obliczeń analitycznych oraz badań eksperymentalnych wskazują na poprawność wykonanych obliczeń. Badania eksperymentalne umożliwiły obserwację kolejnych faz zjawiska podnoszenia się strumienia ziarna po podaniu zaprawy w komorze zaprawiania maszyny.

Wyniki prezentowane w niniejszej pracy realizowano w ramach jako projekt Nr 227418 pt. "Zaprawiarka nowej generacji z systemem sterowania i diagnostyki z wykorzystaniem transmitowanych danych siecią internetową" w ramach programu INNOTECH, Działania 1.5 Projekty systemowe Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013.

Literatura

- Baran, J., Ryszko, A (2013). Opracowywanie i wdrażanie ekoinnowacji technicznych a ekoprojektowanie – integracja procesów i wskazówki metodyczne ich realizacji. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, 34-46.
- Bernacki, H., Hamman, J., Kanafojski, Cz. (1967). *Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych*. Warszawa: PWRiL.
- Bohdal, Ł., Kułakowska, A., Patyk, R. (2014). Analysis of slitting of aluminium body panels in the aspect of scrap reduction. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 16, 105-114.
- Bohdal, L., Kukielka, L., Kukielka, K., Kulakowska, A., Malag, L., Patyk, R. (2014). Three Dimensional Finite Element Simulation of Sheet Metal Blanking Process. *Applied Mechanics and Materials*, 474, 430-435.
- Bohdal, L., Kulakowska, A., Patyk, R., Kulakowski, M. (2016). Numerical Investigations of the Effect of Process Parameters on Residual Stresses, Strains and Quality of Final Product in Blanking Using SPH Method. *Novel Trends in Production Devices and Systems, "Materials Science Forum"* (in press)
- Broniarz-Press, L., Ochowiak, M., Włodarczyk, S., Markuszewska, M. (2013). Analiza współczynnika wpływu cieczy dla rozpylaczy wirowych o różnych kształtach otworu wylotowego, *Inż. Ap. Chem.*, 52(5), 403-404.
- Dietrich, M. (1999). *Podstawy konstrukcji maszyn*. Tom 3, Warszawa: WNT.
- Gajtkowski, A. (1977). Wpływ parametrów rozpylaczy w postaci wirujących tarcz na jakość rozpylenia cieczy stosowanych w ochronie roślin. *Rozprawa doktorska. AR Poznań, Promotor: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Sęk*.
- Gajtkowski, A. (1980). Wpływ parametrów rozpylaczy rotacyjnych na jakość rozpylenia cieczy. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria C, Technika Rolnicza*, 74(3), 59-73.
- Horabik, J., Rusinek, R., Molenda, M., Stasiak, M. (2002). Wpływ wybranych parametrów na właściwości cierne ziarna zbóż. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria*, 1(2), 81-87.

- Kowalik, W. (2012). Określenie dynamiki znoszenia rozpylanej cieczy za pomocą równania rosina-rammlera. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria*, 11(1-2), 3-11.
- Kukielka, L., Kulakowska, A., Patyk, R. (2010). Numerical modeling and simulation of the movable contact tool-worpiece and application in technological processes. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 8/3, 36-41.
- Kukielka, L. (2001). Mathematical modelling and numerical simulation of non-linear deformation of the asperity in the burnishing cold rolling operation. *Computational Methods in Contact Mechanics V Book Series: Computational and experimental methods*, 317-326.
- Kukielka, K., Kukielka, L. (2013). External thread rolling head. *The polish patent No PL402652-A1, PL220175-B1*, (in polish)
- Kukielka, L., Kustra, J., Kukielka, K. (2005). Numerical analysis of states of strain and stress of material during machining with a single abrasive grain. *Computer Methods and Experimental Measurements for Surface Effects and Contact Mechanics VII, WITPRESS. Southampton-Boston*, 57-66.
- Kukielka, L., Kustra, J. (2003). Numerical analysis of thermal phenomena and deformations in processing zone in the centerless continuous grinding process. *Computer Methods and Experimental Measurements for Surface treatments Effects VI, WITPRESS. Southampton-Boston*, 7, 109-118.
- Kukielka, L., Szczesniak, M., Patyk, R., Kulakowska, A., Kukielka, K., Patyk, S., Gotowała, K. Kozak, D. (2016). Analysis the states of deformation and stress in the surface layer of the product after the burnishing cold rolling operation. *Novel Trends in Production Devices and Systems, "Materials Science Forum"* (in press).
- Kulakowska, A., Kulakowski, M., Bohdal, L., Patyk, R. (2016). Aspects of Burnishing Rolling Process of the Surface Prepared in Different Previous Treatments. *Novel Trends in Production Devices and Systems, "Materials Science Forum"* (in press)
- Kulakowska, A., Kukielka, L. (2008). Numerical analysis and experimental researches of burnishing rolling process with taking into account deviations in the surface asperities outline after previous treatment. *Steel Research International*, 2, 42-48.
- Kulakowska, A. (2012). Experimental researches of burnishing rolling process of regular surface asperities prepared in turning process. In: *Steel Research International, Special Edition: 14th International Conference on Metal Forming*, 127-131.
- Kulakowska, A., Kukielka, L., Kukielka, K., Patyk, R., Malag, L., Bohdal, L. (2014). Possibility of Steering of Product Surface Layers Properties in Burnishing Rolling Process. *Applied Mechanics and Materials*, 474, 442-447.

- Kulakowska, A., Patyk, R., Bohdal, L., (2014). Zastosowanie obróbki nagniataniem w tworzeniu ekologicznego produktu. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 16, 323-335.
- Kukielka, L., Kukielka, K., Kulakowska, A., Patyk, R., Malag, L., Bohdal, L. (2014). Incremental Modelling and Numerical Solution of the Contact Problem between Movable Elastic and Elastic/Visco-Plastic Bodies and Application in the Technological Processes. *Applied Mechanics and Materials*, 474, 159-165.
- Kukielka, K., Kukielka, L., Bohdal, L., Kulakowska, A., Malag, L., Patyk, R. (2014). 3D Numerical Analysis the State of Elastic/Visco-Plastic Strain in the External Round Thread Rolled on Cold. *Applied Mechanics and Materials*, 474, 436-441.
- Kukielka, L., Geleta, K., Kukielka, K., (2012). Modelling of Initial and Boundary Problems with Geometrical and Physical Nonlinearity and its Application in Burnishing Processes. In: *Steel Research International. Special Edition: 14th International Conference Metal Forming*, 1375-1378.
- Kukielka, L., Kulakowska, A., Kukielka, K., (2015). *Sprawozdanie merytoryczne z realizacji zadania nr 2 projektu Innotech pt: "Zaprawiarka nowej generacji z systemem sterowania i diagnostyki z wykorzystaniem transmitowanych danych siecią internetową". Temat zadania: Wariantowe obliczenia wyjściowych wskaźników technicznych i parametrów pracy układów napędowych, roboczych i nośnego automatycznej wirowej zaprawiarki porcjowej.* Nr umowy INNOTECH-K3/IN3/23/227418/NCBR/14 (niepublikowane).
- Kurmaz, L., Kurmaz, O. (2011). *Podstawy konstruowania węzłów i części maszyn*, Kielce: Politechnika Świętokrzyska.
- Malag, L., Kukielka, L., Kukielka, K., Kulakowska, A., Bohdal, L., Patyk, R. (2014). Problems Determining of the Mechanical Properties of Metallic Materials from the Tensile Test in the Aspect of Numerical Calculations of the Technological Processes. *Applied Mechanics and Materials*, 474, 454-459.
- Myslinski, P., Precht, W., Kukielka, L., et al. (2004). A possibility of application of MTDIL to the residual stresses analysis – The hard coating-substrate system. *Journal of Thermal Analysis And Calorimetry*, 77(1), 253-258.
- Ochowiak, M. (2012). Koncepcja atomizera pęcherzykowo-wirowego z analizą oporów przepływu. *Inż. Ap. Chem.*, 51(6), 360-361.
- Orzechowski, Z., Prywer J. (1991). *Rozpylanie cieczy*. Warszawa: WNT.
- Patyk, R., Bohdal, L., Kulakowska, A. (2016). Study the Possibility of Controlling the Magnitude and Distribution Of Residual Stress in the Surface Layer of The Product After The Process Double Duplex Burnishing. *Novel Trends in Production Devices and Systems, "Materials Science Forum"* (in press).

- Patyk, R., Kulakowska, A., Bohdal, L. (2014). Ekologiczne, ekonomiczne i eksploatacyjne aspekty stosowania obróbki nagniataniem. *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)*, 16, 351-362.
- Patyk, R., Kukielka, L., Kukielka, K., Kulakowska, A., Malag, L., Bohdal, L. (2014). Numerical Study of the Influence of Surface Regular Asperities Prepared in Previous Treatment by Embossing Process on the Object Surface Layer State after Burnishing. *Applied Mechanics and Materials*, 474, 448-453.
- Roguski, J., Zbrożek, P., Czerwienko, D. (2012). *Wybrane aspekty stosowania w obiektach budowlanych urządzeń gaśniczych na mgłę wodną*. Monografie CNBOP, Józefów: Państwowy Instytut Badawczy.
- Wachowiak, M. (2005). Technika stosowania środków ochrony roślin w uprawie ziemniaka, *Ziemniak Polski*, 3, 26-30.
- Zbrożek, P., Prasula, J. (2009). Wpływ wielkości średnic kropli mgły wodnej na efektywność tłumienia pożarów i chłodzenie, *Badania i Rozwój*, 3.

Ecoinnovative Construction Solution and Working Parameters of the Atomizer in the New Generation of Seed Pickling Machine

Abstract

The aim of the article is to present innovative design and operating parameters of aerosol in the next generation of seed pickling machine. In this paper, the main emphasis is on dressing chamber, which takes place mortar on the exact application and the process of grinding the seeds drop of mortar in order to obtain mist. The chamber is constructed of a stationary cylinder having a vertical axis and rotating the bottom plate shape. The axis of the plate and cylinder mounted rotating disc spray liquid. Seeds from a tank weighing shall fall on a rotating plate which has the appropriate holes. By centrifugal force in the chamber seeds are thrown on the wall stationary cylinder and then fall to the plate. For each instantaneous seed surface in motion (at the same time forming the axis of the rotating plate of the chamber movable funnel) is sprayed suitable dosage mortar. Multiple repetition of this operation will ensure to obtain the required degree of mixing and coverage.

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie ekoinnowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych oraz parametrów pracy rozpylacza w nowej generacji zaprawiarce porcjowej do ziaren zbóż. W niniejszej pracy główny nacisk położono na komorę zaprawiania, w której odbywa się dokładne nanoszenie zaprawy na nasiona oraz proces rozdrabniania kropli zaprawy w celu uzyskania mgiełki. Komorę zbudowano z nieruchomego cylindra o osi pionowej oraz wirującego dna w kształcie talerza. W osi talerza i cylindra zamontowano wirującą tarczę rozpylającą ciecz. Nasiona ze zbiornika ważącego spadać będą na wirujący talerz. Dzięki sile odśrodkowej nasiona w komorze odrzucane są na ścianę nieruchomego cylindra i ponownie spadają na talerz. Na każdą chwilową powierzchnię nasion będących w ruchu (tworzących jednocześnie w osi wirującego talerza komory ruchomy lej) rozpylana jest odpowiednia dawka zaprawy. Wielokrotna powtarzalność tej operacji zapewni uzyskanie wymaganego stopnia wymieszania i pokrycia.

Słowa kluczowe:

zaprawianie zbóż, ekoinnowacyjność, zaprawiarka

Keywords:

seed pickling, eco-innovative, seed pickling machine