

# POMIAR DRGAŃ WŁASNYCH SIECZKARNI SŁOMY KOMBAJNU ZBOŻOWEGO ORAZ TEMPERATURY ŁOŻYSK I ANALIZA ZEBRANYCH DANYCH

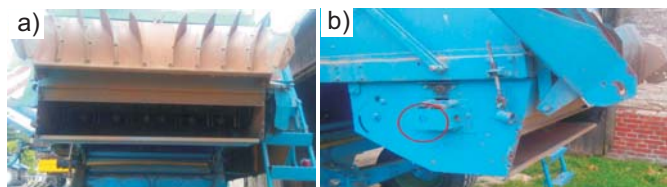
Streszczenie

Artykuł przedstawia wyniki pomiaru drgań, w jednostce przyspieszenia, sieczkarni słomy w kombajnie zbożowym. Ponadto zmierzono temperaturę łożysk wału sieczkarni. Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań, przeprowadzonych na obiekcie kombajnu zbożowego oraz ich analiza. Dokonane pomiary są częścią prac związanych z utworzeniem systemu wykrywającego awarię sieczkarni słomy, opierającego się na pomiarach powstających drgań konstrukcji oraz temperatury łożysk. Ponadto otrzymane wyniki zostaną wykorzystane jako dane do analiz dynamicznych, wpływu drgań na konstrukcję ramy nośnej kombajnu zbożowego, co będzie przedmiotem kolejnych publikacji.

**Słowa kluczowe:** sieczkarnia słomy, pomiar drgań, pomiar temperatury, kombajn zbożowy

## Wstęp

Kombajny zbożowe samobieżne są układami zaprojektowanymi do wykonywania wielu zadań jednocześnie. Zaliczyć do nich można: ścinanie roślin, omłot ziarna z kłosa lub strączka, czyszczenie ziarna oraz oddzielenie resztek ziarna od słomy. Dodatkowym aspektem jest tu rozdrabnianie słomy, za co odpowiedzialna jest sieczkarnia znajdująca się w tylnej części kombajnu. Bazując na ofercie handlowej firmy New Holland Ltd. stwierdzić można że jest to urządzenie będące na wyposażeniu dodatkowym [6]. Najczęściej spotykanymi rozwiązaniami w zakresie rozdrabniania słomy są jednowałowe sieczkarnie, napędzane od odrzutnika słomy za pomocą przekładni pasowych. Wał sieczkarni, w czasie produkcji, poddawany jest wyważeniu statycznemu. Elementy tnące, noże, przyjmuje się tu jako część zamienną i obowiązkiem użytkownika jest dbanie o odpowiednią masę noży po przeciwnych stronach wału. Wynika to z faktu, że ich masa musi być równa w przeciwnych mocowaniach dla zachowania wyważenia statycznego. Masa i kształt noży różnią się w zależności od producenta, co nakazuje wymianę ich kompletami a nie pojedynczo. Na podstawie obserwacji empirycznych w trakcie pracy, badanego obiektu sieczkarni słomy (rys. 1a b), w samobieżnym kombajnie zbożowym New Holland Bizon BS Z110 stwierdzono, że eksploatowany układ emituje drgania. W zamyśle autorzy przyjmują jednoczesne ubytki masy wszystkich noży w układzie będące wynikiem tarcia z materiałem rozdrabnianym, co wynika z przyjętych idealnych warunków pracy, a więc równomiernego rozkładu słomy na wale sieczkarni. Chcąc wyjść naprzeciw poruszonym problemom, postanowiono zmierzyć parametry takie jak: przyspieszenie drgań i temperaturę łożyska, które posłużą do wykonania analizy dynamicznej a więc ukazania realnego wpływu powstałych drgań na konstrukcję oraz stworzenie układu mechatronicznego, którego zadaniem jest



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

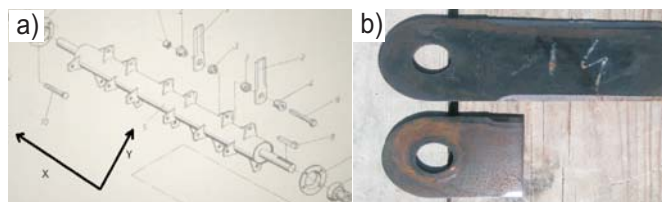
Rys. 1. Sieczkarnia słomy w kombajnie zbożowym New Holland Bizon BS Z110 a) widok od strony wylotu resztek roślinnych, b) widok od strony zamocowania łożyska bocznego oraz punkt pomiaru

Fig. 1. Chaff cutter of New Holland Bizon BS Z110 combine harvester a) view from the outlet of crop residue, b) view from the bearing and the measuring point

powiadomienie operatora o występującym uszkodzeniu z winy noża sieczkarni bądź łożyska sieczkarni, do którego budowy potrzebne są dane pozwalające uzależnić układ od precyzyjnych wartości drgań i temperatury. Dodatkowe urządzenie rozdrabniające wykonało pracę do chwili obecnej w czasie 120 motogodzin od chwili połączenia go z kombajnem.

## Metodyka badań

Badany obiekt, sieczkarnia słomy, składa się z wału wykonanego ze stali St35/S235. Na bokach znajdują się tu półosie służące do mocowania w łożyskach obrotowych wahlowych. Na wale znajdują się 24 uchwyty na noże przyłączone za pomocą spoiny pachwinowej. Do każdego z uchwytów przyłączono za pomocą połączenia śrubowego 2 noże o masie 0,214 kg każdy. Budowę zespołu sieczącego przedstawiono na rys. 2a, a budowę noża, w rozpatrywanym wariantcie, na rys. 2b. W badaniach eksperymentalnych dokonano pomiaru drgań w jednostce przyspieszenia dla stanu faktycznego wyważenia statycznego oraz zasympulowanych warunków utraty stateczności w postaci hipotetycznej utraty części noża i jego całości. W tym celu dokonano pomiaru drgań wału sieczkarni dla trzech różnych wariantów obciążenia: wał z kompletem wszystkich noży, wał z jednym nożem złamanym oraz wał bez jednego noża (rys. 2b). Takie rozwiązanie miało na celu zasympulowanie w badaniach losowej utraty noża przez zderzenie z materiałem innym niż resztki roślinne. Sytuacje utraty noża najczęściej mają miejsce na terenach pracy z licznymi występującymi kamieniami w glebie co w połączeniu z wyleganiem zbóż, powodowanym przez np. warunki atmosferyczne, zmuszają operatora do zbioru na niskich wysokościach roboczych.



Źródło: opracowanie własne na podstawie [5] / Source: own work based on [5]

Rys. 2. a) Budowa wału sieczącego wraz z połączeniami śrubowymi [5], b) Nóż sieczkarni cały oraz fragment mający symulować losową utratę noża

Fig. 2. a) Shaft construction with the screw connection [5], b) knife of chaff cutter and his part to simulate random loss.

Na podstawie przeglądu literatury warto wskazać wyniki pomiarów przyspieszenia drgań, działających na operatora

maszyn samobieżnych [7]. Autorzy wskazują tu na wartości w przedziale  $0,4-0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  dla stanowiska pracy operatora kombajnu dla odpowiednio 6-24 h czasu pracy. We wskazanych wartościach drgań uwzględnione są wszelkie tłumienia vibracji emitowanych przez układy mechaniczne w maszynie m.in. bęben młócający, odrzutnik słomy, rozdrabniacz słomy [7]. Odpowiednie wartości przyspieszenia drgań, maksymalnych, oddziaływujących na organizm człowieka podczas użytkowania maszyny określają m.in. dyrektywy Unii Europejskiej [2] gdzie dla maszyn niestacjonarnych przyjmuje się wartości  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  jako możliwa największa wartość podczas 8h pracy.

Do pomiaru drgań wykorzystano urządzenie Vibrotest 60 Schenck (rys. 3a b) wyposażone w akcelerometr pozwalający na badanie przyspieszenia w jednostce przyspieszenia, w 3 osiach [4]. Pomiar został dokonany w osi X (rys. 2a). Celem pomiaru jest oszacowanie wartości przyspieszenia drgań, co w dalszym etapie prac pozwoli uzależnić tworzony system pomiarowy od wartości przykładowych wyników oraz dokonać analiz dynamicznych. Pomiar drgań odbywał się w wyznaczonym punkcie na obudowie łożyska (rys. 1b). Pomiarów drgań dokonano dla prędkości obrotowych w zakresie od minimalnej osiąganego do maksymalnej osiąganego przez wał siewczarni, przyjmując podział co  $100 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$  silnika spalinowego kombajnu. Takie działanie uzasadnia fakt że obroty silnika są ściśle powiązane z obrotami siewczarni poprzez liczne przekładnie pasowe.



Źródło: opracowanie własne na podstawie [3, 4] / Source: own work based on [3, 4]  
 Rys. 3. Urządzenia pomiarowe a) Vibrotest 60 służący do pomiaru drgań, b) akcelerometr będący na wyposażeniu urządzenia Vibrotest 60, c) multimetr UT71D wyposażony w funkcję pomiaru temperatury

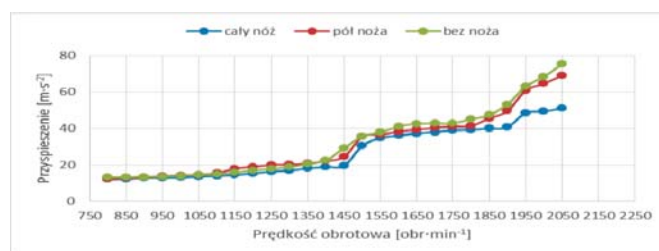
Fig. 3. Measuring device a) Vibrotest 60 for vibration measurement, b) accelerometer of Vibrotest 60, c) multimeter UT71D with temperature measurement function

Pomiar temperatury przeprowadzono przy użyciu multimetra UNI-T UT71D przedstawionego na rys. 3c, z wykorzystaniem odpowiedniej funkcji pomiaru w stopniach Celsjusza [3]. Wartość zmierzono dla pracującego łożyska bez obciążenia oraz podczas rozdrabniania słomy rzepaku. Dane te są istotne przy tworzeniu wyżej wymienionego systemu wczesnego ostrzegania operatora, aby zabezpieczyć i operatora i kombajn przed możliwością uszkodzenia ważnych zespołów roboczych maszyny lub przed możliwością wystąpienia pożaru.

Bazując na [1] przypuszcza się w rozpatrywanym układzie mechanicznym zależność pomiędzy wzrostem wartości przyspieszenia, przemieszczenia drgań własnych oraz wzrostem temperatury łożysk a ich awaryjnością. Autorzy wskazują na wzrost wartości wymienionych parametrów w odniesieniu do warunków pracy którym towarzyszą: niski stopień smarowania, występowanie małych i dużych zanieczyszczeń w łożyskach [1].

## Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano wartości zestawione w tab., są to wybrane dane z całej serii wartości. Są one uśrednione przez funkcję RMS, urządzenia pomiarowego, podającą jedynie wartość skuteczną. Następnie przy użyciu funkcji PEAK otrzymano wartości maksymalnego przyspieszenia drgań dla danej prędkości obrotowej. Z punktu widzenia autorów są to dane niezbędne do uzależnienia tworzonych systemu od uzyskanych wartości. Z danych wynika że układ rozdrabniania słomy pozostający w stanie wyważenia tworzy drgania o wartości  $50,839 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  przy maksymalnej prędkości obrotowej wału siewczarni  $3546,5 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$  co odpowiada  $2050 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$  silnika spalinowego. Pomiarów przeprowadzono w osi X maszyny (rys. 3a). W zasymulowanym wariacie utraty części noża tnącego uzyskano wartość przyspieszenia równą  $69,042 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  przy  $3546,5 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$  wału napędzanego. Ukazuje to że utrata części masy noża, równa  $0,114 \text{ kg}$  spowodowała wzrost wartości przyspieszenia o 38%. Dla prowadzonego badania, na podstawie obserwacji empirycznych, stwierdzono, łatwo zauważalne, znaczne drgania całej konstrukcji maszyny. W ostatnim przypadku pomiarów jakim jest usunięcie całego noża tnącego, co ma zasymulować jego całkowitą utratę, wartość przyspieszenia drgań wyniosła  $75,324 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  przy  $3546,5 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ . Oznacza to wzrost wartości drgań względem stanu pierwotnego o 50%. Pozostałe wyniki, przedstawione w tab., posłużą do rozbudowy systemu ostrzegającego o możliwości rozpoznawania przyspieszenia drgań niepożądanych dla wszystkich prędkości obrotowych. Zagadnienie to będzie tematem kolejnych publikacji. Dodatkowo, zebrane w czasie badań dane, zestawiono na wykresie przedstawionym na rys. 4. Analizując przebieg zmian przyspieszenia zauważyć można znaczne skoki wartości drgań w zależności od obrotów silnika. Szczególnie widoczny jest tu wzrost w przedziale obrotowym  $1400-1550 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$  oraz  $1850-1950 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ . Można zauważyć tu dodatkowo gwałtowniejszy wzrost przyspieszenia drgań, w wariantach symulujących utratę noża tnącego, względem wariantu zachowania wyważenia statycznego, przy niższych prędkościach obrotowych.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Wykres zależności przyspieszenia drgań od prędkości obrotowej silnika spalinowego

Fig. 4. Graph of relation between acceleration and rotation speed of combustion engine

W przypadku pomiaru temperatur dokonano pomiarów, dla układu pracującego pod obciążeniem i bez obciążenia. Pomiaru dokonano na obudowach łożyska wahliwego po obu stronach wału siewczarni (rys. 1a b). Uruchomiono siewczarnię i obserwowano wzrost temperatury do chwili ustabilizowania wartości. Otrzymaone wartości to  $52^\circ\text{C}$  w przypadku pracy układu bez obciążenia i  $73^\circ\text{C}$  podczas pracy pod obciążeniem.

Tab. Wyniki pomiaru drgań sieczkarni zbożowej dla trzech wariantów pomiarów  
 Table Results of vibration measurement of chuff cutter for three variant simulations

Prędkość obrotowa silnika [obr·min <sup>-1</sup> ]	Prędkość obrotowa sieczkarni słomy [obr·min <sup>-1</sup> ]	Częstotliwość drgań sieczkarni [Hz]	Wyniki pomiaru przyspieszenia drgań dla wariantu zachowania wyważenia statycznego [m·s <sup>-2</sup> ]	Wyniki pomiaru przyspieszenia drgań dla wariantu utraty wyważenia statycznego 1 (utrata połowy noża) [m·s <sup>-2</sup> ]	Wyniki pomiaru przyspieszenia drgań dla wariantu utraty wyważenia statycznego 2 (utrata całości noża) [m·s <sup>-2</sup> ]
800	1384	23,06	12,028	12,112	13,135
900	1557	25,95	12,82	13,049	13,322
1000	1730	28,83	13,161	14,12	13,804
1100	1903	31,71	13,841	15,482	14,887
1200	2076	34,6	15,229	18,943	16,986
1300	2249	37,48	16,881	20,078	18,796
1400	2422	40,36	18,804	22,059	22,42
1500	2595	43,25	30,536	35,525	35,611
1600	2768	46,13	36,154	38,243	40,981
1700	2941	49,01	37,973	40,3	42,589
1800	3114	51,9	39,217	41,185	44,879
1900	3287	54,78	40,562	49,455	53,124
2000	3460	57,66	49,149	64,489	68,321
2050	3546,5	59,1	50,839	69,042	75,324

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

## Podsumowanie

- Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić że:
- wartość przyspieszenia drgań w wariacie zasymulowanej utraty części noża wzrosła o 38% względem układu pozostającego w wyważeniu statycznym,
  - wartość przyspieszenia drgań w wariacie zasymulowanej utraty całości noża wzrosła o 50% względem układu pozostającego w wyważeniu statycznym,
  - temperatura łożyska podporowego bez obciążenia, od momentu ustabilizowania się, wzrasta pod wpływem obciążenia związanym z rozdrabnianiem resztek roślinnych o 21°C,
  - zaobserwowano dynamiczniejszy wzrost przyspieszenia drgań dla wariantów utraty całego noża lub jego fragmentu w przedziale obrotowym 1850-2050 obr·min<sup>-1</sup>, a na podstawie obserwacji empirycznych podczas badania na tych prędkościach obrotowych stwierdzono zjawisko rezonansu całej konstrukcji.
  - po przeprowadzonych badaniach zachodzi konieczność wykonania analizy dynamicznej metodą elementów skończonych ukazującą wpływ drgań na całą konstrukcję kombajnu zbożowego,
  - bazując na otrzymanych wynikach przyspieszenia drgań o danej wartości przy maksymalnych obrotach rozdrabniacza, zachodzi konieczność pomiaru przyspieszenia drgań dla stanowiska operatora w celu określenia ich wpływu na bezpieczeństwo pracy.

## Bibliografia

- [1] Barański M., Decner A.: Funkcja Przyspieszenia Drgań  $a_y = f(a_x)$  jako narzędzie do określania stanu technicznego łożyska. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, 2012, (97), 4.
- [2] Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich, Dyrektywa 2002/44/We Parlamentu Europejskiego i Rady z Dnia 25 Czerwca 2002 r.
- [3] Instrukcja obsługi urządzenia pomiarowego Uni-T UT71D, dostęp - 20.06.2017. [https://www.ostfalia.de/export/sites/default/de/pws/ahrendb/Lehre/Labore/Labor\\_EE\\_T/Geraetebeschreibungen/01\\_UT71B\\_Eng\\_Manual.pdf](https://www.ostfalia.de/export/sites/default/de/pws/ahrendb/Lehre/Labore/Labor_EE_T/Geraetebeschreibungen/01_UT71B_Eng_Manual.pdf).
- [4] Instrukcja obsługi, folder reklamowy urządzenia pomiarowego Vibrotest 60, dostęp 20.06.2017: <http://www.bkvibro.com/en/products/vibrotest-60.html>.
- [5] Katalog części zamiennych Kombajnu New Holland Bizon BS Z110. Indeks: 2713-210-202, Płock październik 2000.
- [6] Katalog produktów, kombajnów zbożowych rotorowych, CNH Polska, dostęp 16.05.2017: <http://d3u1quraki94yp.cloudfront.net/nhag/eu/pl-pl/assets/pdf/combine-harvesters/cr-tier-4a-b-brochure-poland-pl.pdf>.
- [7] Szczepaniak J., Kromulski J.: Analiza modelu przepływu energii w systemie biologiczno-mechanicznym Człowiek-Agregat Rolniczy. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2011, Vol. 56(4).

## MEASUREMENTS OF FREE VIBRATION OF CHAFF CUTTER IN COMBINE HARVESTER AND OF WORKING TEMPERATURE OF BEARINGS; DATA ANALYSIS

### Summary

Article presents results of vibration measurement in acceleration unit of chaff cutter in combine harvester. Also it shows working temperature measurement of bearings on the shaft of the chaff cutter. The aim of article is to show results of measurements and to analyze them. This measurements are the part of construction of a system which is enable to detect breakdown of chaff cutter based on vibrations and working temperature. Additionally the obtained results will be used in dynamic analyzes showing an impact of vibration on carrying frame of combine harvester which will be the topic of further articles.

**Key words:** chaff cutter, vibration measurement, temperature measurement, combine harvester.