

Dr inż. Piotr DANIELCZYK

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.225

Prof. dr hab. inż. Jacek STADNICKI

Katedra Podstaw Budowy Maszyn

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

OCENA WSPÓŁPRACY PODZESPOŁÓW ZGRZEBLARKI WAŁKOWEJ PO OPTYMALIZACJI ICH KONSTRUKCJI

Streszczenie: Istotny wpływ na jakość runka wytwarzanego przez zgrzeblarkę wałkową ma kształt i wysokość szczelin między obiciami zgrzeblącymi współpracującymi z bębniem głównym zgrzebników i zbieracza oraz między obiciem zbieracza i listwą urządzenia grzebieniowego. W pracy przeprowadzono optymalizację przekroju listwy i wału grzebienia szesującego runko oraz dokonano oceny kształtu i równomierności szczelin w kluczowych strefach współpracy obić zgrzeblących przed i po rozwiązaniu zadania optymalizacji.

ASSESSMENT OF CARDING MACHINE COMPONENTS COOPERATION AFTER OPTIMIZATION OF THEIR CONSTRUCTION

Abstract: The shape and height of the gaps between clothings of workers and the doffer cooperating with the main cylinder as well as between the doffer clothing and the doffing blade has a significant impact on the quality of the web made by the roller carding machine. The study included optimization of the blade and comb shaft cross-section and the assessment of the gap shape and uniformity in key areas of clothings cooperation before and after solving the optimization problem.

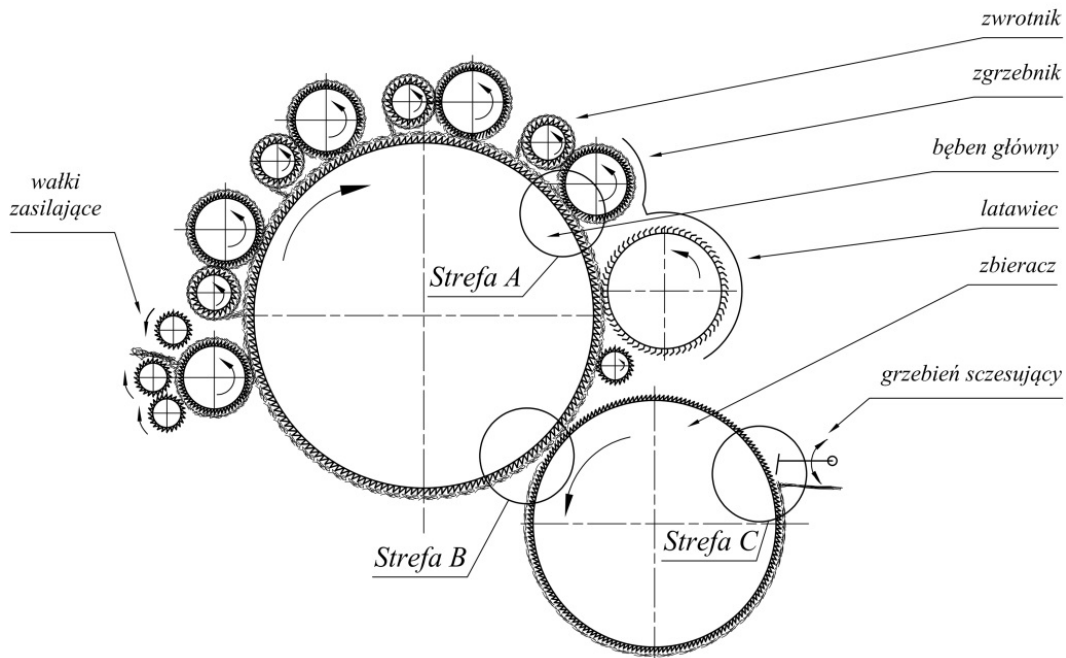
Słowa kluczowe: zgrzeblarka wałkowa, grzebień szesujący, optymalizacja
Keywords: carding machine, doffing comb, optimization

1. WPROWADZENIE

W procesie technologicznym wytwarzania przędzy z włókien wełnianych i wełnopodobnych przygotowanie runka¹ z odpowiedniej długości rozluźnionych, rozprostowanych, ułożonych równolegle i pozbawionych zanieczyszczeń włókien ma podstawowe znaczenie. Operację tę przeprowadza się na zespołach zgrzeblarek wałkowych (rys. 1), w których wstępnie rozluźniony pokład włókien jest intensywnie przeczesywany zębami lub igłami obić zgrzeblących nawiniętych na powierzchnie bębnow i wałków roboczych. Prawidłowy proces zgrzeblenia wymaga, aby włókna pozostawały w obiciach zgrzeblących przez pewien czas i były wielokrotnie poddawane działaniu obić podczas jednego obrotu bębna głównego. Można zatem mówić o zgrzebleniu jako o ciągłym procesie transportu włókien przez zgrzeblarkę, podczas którego w kluczowych strefach współpracy (A), (B) i (C) muszą

¹ Runko – półprodukt włókienniczy, cienka warstwa włókien o szerokości równej szerokości roboczej zgrzeblarki.

zaistnieć odpowiednie warunki, po spełnieniu których włókna przytrzymywane przez poprzednie obicie zgrzeblące są przekazywane następnemu.



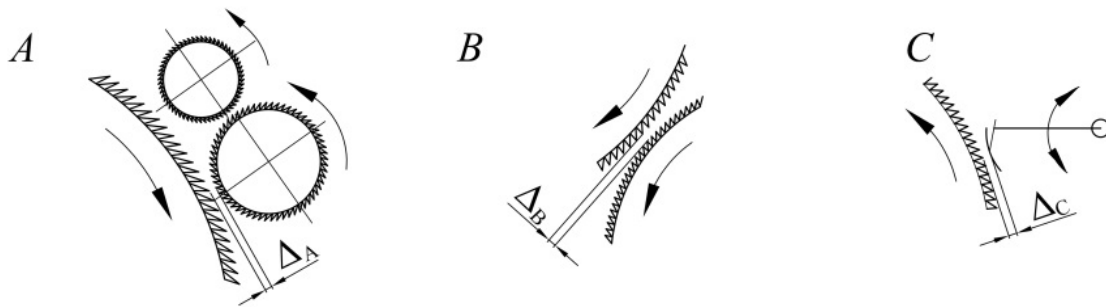
Rys. 1. Schemat zgrzeblarki wałkowej

Matematyczny model transportu włókien w zgrzeblarce, traktowanego jako przepływ zawieszony włókien w nieściśliwym płynie – powietrzu, podali Lee i Ockedndon [1]. Według tego modelu za przekazywanie włókien między zębami i igłami obić zgrzeblących odpowiadają nie tylko mechaniczne oddziaływania obić zgrzeblących na włókna i towarzyszące tym oddziaływaniom siły tarcia, lecz także, a właściwie przede wszystkim, siły aerodynamiczne będące wynikiem oddziaływania warstwy przyściennej powietrza utrzymywanej przez powierzchnię bębna głównego poruszającą się z dużą prędkością obwodową. W strefach współpracy obić zgrzeblących występuje zatem przepływ zawieszony włókien w powietrzu przez szczelinę między wałkami i bębniem głównym (A), bębniem głównym i zbieraczem (B), a także między zbieraczem i listwą grzebienia szesującego (C). Przywołany model matematyczny transportu włókien w zgrzeblarce jest płaski i, aby mógł mieć zastosowanie, szczeliny między współpracującymi wałkami roboczymi a bębniem oraz między bębniem a zbieraczem powinny mieć taką samą wysokość wzdłuż całej szerokości zgrzeblarki. Inaczej mówiąc – powinny być prostokątami. Niespełnienie tego warunku wywoła transport włókien w obiciach zgrzeblących w kierunku osi bębniów i wałków roboczych, który spowoduje pogorszenie równomierności runka po zgrzebleniu, zrywanie włókien i zakłóci transport włókien w strefach współpracy obić zgrzeblących.

2. CEL ANALIZY

W rzeczywistej zgrzeblarce, w stanie statycznym, wymagane ustawienia (w technologii włókienniczej zwane stalowaniami) $\Delta_A, \Delta_B, \Delta_C$ (rys. 2) uzyskuje się, regulując odległość między najbliższymi punktami współpracujących elementów. Wskutek odkształceń wywołanych nawinięciem obić piłowych z naciąganiem, ruchem obrotowym czy też zginaniem listwy grzebieniowej wywołanym drganiem rzeczywisty kształt szczeliny odbiega od prostokąta. Jeśli w wyniku optymalizacji wybranych parametrów konstrukcyjnych podzespołów zgrzeblarki uzyska się poprawę równomierności kształtu szczelin, wtedy, gdy

będzie wymagać tego technologia włókiennicza, można zmniejszyć wartości stalowań w stanie statycznym. Pozwoli to na zgrzeblenie włókien cienkich.



Rys. 2 Strefy współpracy kluczowych podzespołów zgrzeblarki

Problem doboru odpowiedniej postaci konstrukcyjnej oraz poszukiwania optymalnych wymiarów wałków i bębnow roboczych opisano w kilku opracowaniach. Rozwiązanie zadania optymalizacji zgrzebnika z uwagi na kryterium minimalnej masy przedstawiono w pracy [2]. W pracy [3], uwzględniając wnioski i spostrzeżenia zawarte w pracy [4], opisano sposób poszukiwania optymalnego kształtu i wymiarów bębna głównego zgrzeblarki wałkowej z uwagi na kryterium minimalnej amplitudy ugięcia jego powłoki. Wnioski z tych analiz wykorzystano również do optymalizacji wymiarów zbieracza.

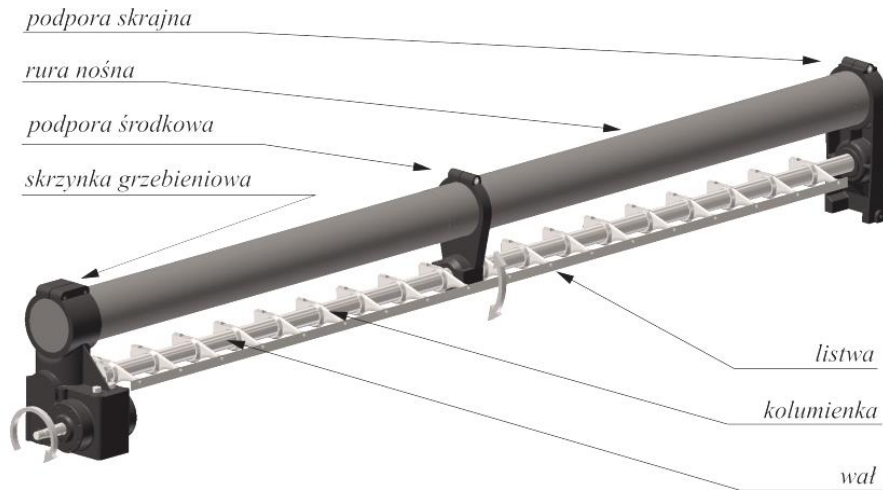
W prezentowanym artykule przedstawiono szczegółowo optymalizację wymiarów listwy oraz wału grzebienia szesującego runko z uwagi na kryterium minimalnej amplitudy drgań. Następnie, dysponując wynikami rozwiązania zadania optymalizacji wałka, bębnow oraz grzebienia szesującego, dokonano oceny kształtu i równomierności szczelin w strefach współpracy podzespołów zgrzeblarki.

3. OPTIMALIZACJA LISTWY GRZEBIENIA SZESUJĄCEGO

3.1. Konstrukcja i wymagania techniczne

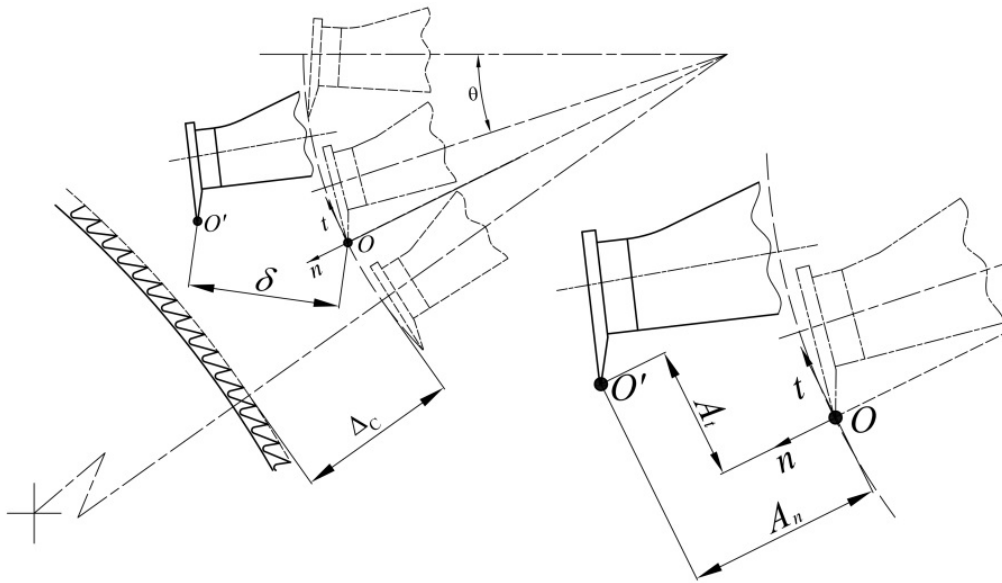
Przedmiotem analizy w niniejszej pracy jest urządzenie z grzebieniem niedzielonym (rys. 3) o szerokości roboczej 2500 mm. Konstrukcję podwieszającą stanowią podpory skrajna i środkowa (dzielona) oraz rura podwieszająca i skrzynka grzebieniowa. Na wale zamocowano szereg kolumnienek, które łączą go z listwą. Zabudowany w skrzynce grzebieniowej mechanizm korbowo-wahaczowy zamienia ruch obrotowy silnika napędowego na oscylacyjny ruch obrotowy wału grzebieniowego.

Oscylacyjnemu ruchowi obrotowemu wału towarzyszą szkodliwe drgania listwy wpływające na kształt i wielkość szczeliny pomiędzy listwą i zbieraczem. Zapewnienie prawidłowego zdejmowania runka przez listwę stwarza podobne problemy, jak transport włókien w strumieniu powietrza przez szczeliny w strefach A i B. Oczekuje się, że przy częstotliwości 2000÷2500 wahań na minutę możliwe będzie utrzymanie stalowania pomiędzy krawędzią listwy a zbieraczem (rys. 4) w granicach $\Delta_c = 0,25 \div 0,4$ mm, a także zachowanie kształtu szczeliny jak najbardziej zbliżonego do prostokąta. Ponadto, amplitudy drgań listwy nie mogą być nadmierne, gdyż w skrajnym przypadku może dojść do jej zahaczenia o zęby drutu pilowego zbieracza i tym samym do awarii maszyny.



Rys. 3. Grzebień szesujący niedzielony

Podczas zdejmowania runka pojawiają się siły reakcji (styczne do powierzchni zbieracza), które są wynikiem działania włókien zdejmowanych ze zbieracza przez listwę grzebieniową. Wartości tych sił jednak są niewielkie w porównaniu z siłami bezwładności wynikającymi z obrotowo oscylacyjnego ruchu wału [5].



Rys. 4. Współpraca listwy grzebienia szesującego i zbieracza

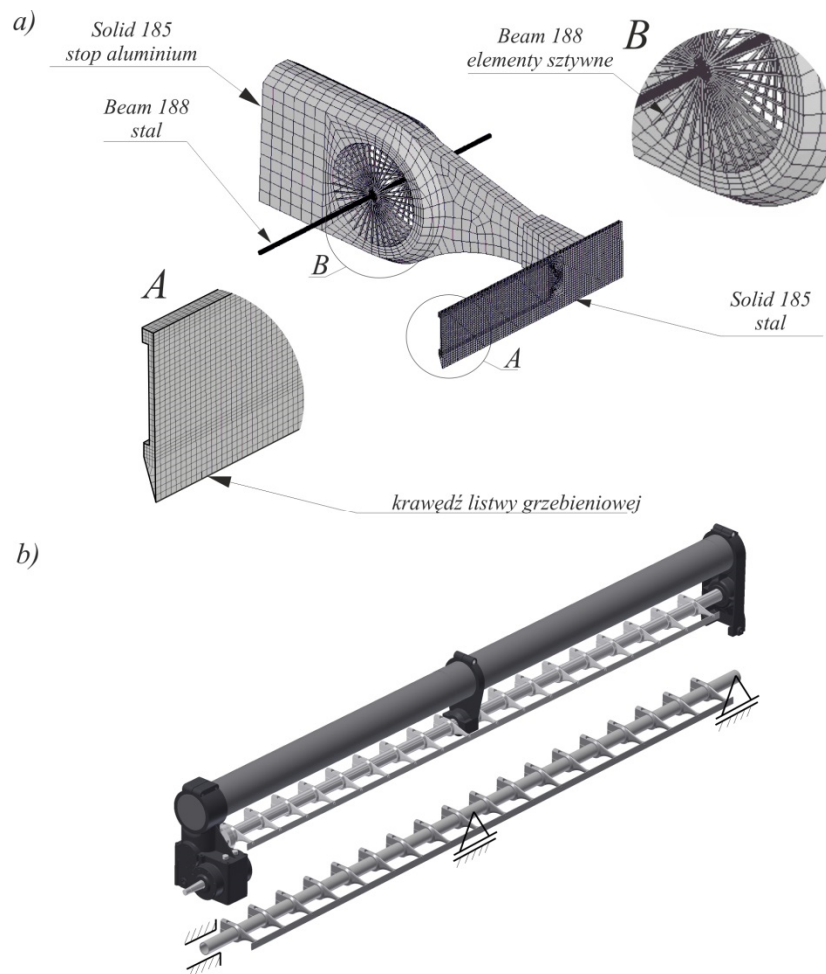
3.2. Model obliczeniowy

Do określenia optymalnych wymiarów grzebienia szesującego runko w zgrzeblarce, należy rozwiązać zadanie analizy dynamicznej. Do tego celu przygotowano model dyskretny (rys. 5a) z wykorzystaniem metody elementów skończonych i pakietu Ansys [6], bazując na języku poleceń programu APDL (ang. *Ansys Parametric Design Language*). Przyjęto następujące założenia:

- uwzględniono jedynie odkształcenia wału, a konstrukcję podwieszającą potraktowano jako sztywną;

Konstrukcja podwieszająca (rura podwieszająca i uźebrowane odlewy żeliwne podpór oraz skrzynki grzebieniowej) jest blisko 80 razy sztywniejsza na zginanie od wału.

- pominięto nieznaczące zaokrąglenia, a połączenia śrubowe potraktowano jako nieodkształcalne;
- Korygując odpowiednio wymiary kolumnienki, zadbane o to, aby te uproszczenia nie zmieniły rozkładu mas i masowych momentów bezwładności wyważonego statycznie wału z kolumnienkami i listwą.
- zgodnie z zasadami dobrej praktyki tworzenia modeli MES, wał zamodelowano elementami belkowymi *Beam188*:
Jest to dwuwęzłowy element belkowy spełniający założenia teorii beleki Timoshenki.
- kolumnienkę oraz listwę grzebieniową modelowano elementami *Solid185*; Jest to 10-węzłowy element bryłowy z 3 stopniami swobody w każdym węźle. Dokładnie odwzorowano kształt listwy z uwagi na znaczący wpływ jej masowego momentu bezwładności i sztywności na amplitudy drgań.
- do połączenia wału z kolumnienkami wykorzystano bezmasowe elementy belkowe *Beam188*, których parametry przekrojowe zapewniały sztywne połączenie wału i kolumnienki,
- założono częstotliwość wahań grzebienia równą 2500 1/min,
- warunki podparcia wału grzebieniowego wynikają wprost ze sposobu jego łożyskowania (rys. 5b).



Rys. 5. Model dyskretny wału z kolumnienkami i listwą:
a) sposób dyskretyzacji (fragment), b) podparcia

Ze względu na dużą nadwyżkę mocy silnika napędowego nad zapotrzebowaniem do napędu urządzenia, w obliczeniach przyjęto kinematyczne wymuszenie ruchu. Oscylacyjny ruch obrotowy uzyskano, zadając w kolejnych chwilach czasu obrót (rotację) ostatniego elementu skończonego wału grzebieniowego według funkcji wynikającej z analizy kinematycznej mechanizmu napędowego. Do bezpośredniego całkowania równań ruchu wykorzystano zaimplementowaną w pakiecie ANSYS metodę Newmarka z automatycznym doбором kroku całkowania.

3.3. Zadanie optymalizacji

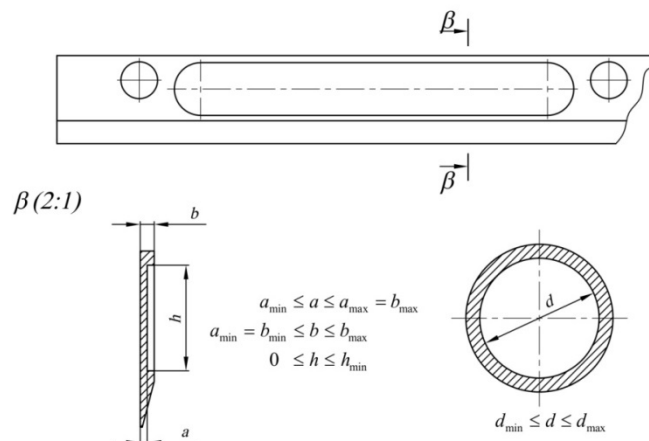
Formułując zadanie optymalizacji, przyjęto, że każde odchylenie od założonych (teoretycznych) trajektorii ruchu punktów układu należy uznać za niepożądane (wymagające wyeliminowania) lub co najmniej ograniczenia. Z uwagi na to, dla każdego z N węzłów modelu dyskretnego leżących na krawędzi listwy grzebieniowej (por. rys. 5a), w każdej z rozpatrywanych chwil czasu τ , wyznaczono odległość δ (rys. 4) będącą miarą odchylenia od założonego toru ruchu, a funkcję celu zapisano jako:

$$\max_i \{\delta(\tau)\} \rightarrow \min, \text{ dla } i = 1, \dots, N, \tau \in \langle 0, \tau_k \rangle \quad (1)$$

gdzie N – liczba węzłów na krawędzi listwy, τ_k – czas końca analizy.

Kryterium (1) można objaśnić następująco. Wał grzebieniowy z kolumnkami i listwą nie ma osi symetrii, dlatego wykonuje sprzężone drgania giętno-skrętne. Celowe jest zatem ograniczenie jednych i drugich. Odchylenie trajektorii końca listwy grzebieniowej w ruchomym, lokalnym układzie współrzędnych ($O n t$) jest sumą geometryczną składowej normalnej o amplitudzie A_n wywołanej przez drgania giętne i stycznej o amplitudzie A_t wywołanej przez drgania skrętne (rys. 4). Niemniej, do oceny współpracy listwy grzebieniowej ze zbieraczem należy wziąć pod uwagę amplitudę składowej normalnej A_n . Jej wartość pozwala wnioskować o kształcie i wysokości szczeliny między listwą a zbieraczem i stwierdzić o ewentualnej kolizji.

Zmiennymi decyzyjnymi w zadaniu optymalizacji są wymiary charakteryzujące kształt przekroju listwy: a , b , h oraz wewnętrzna średnica wału d (rys. 6). Zaproponowany sposób parametryzacji przekroju listwy oraz zakresy zmiennych decyzyjnych pozwalają na przeanalizowanie wpływu zarówno kształtu, jak i wymiarów listwy grzebieniowej na amplitudy drgań.



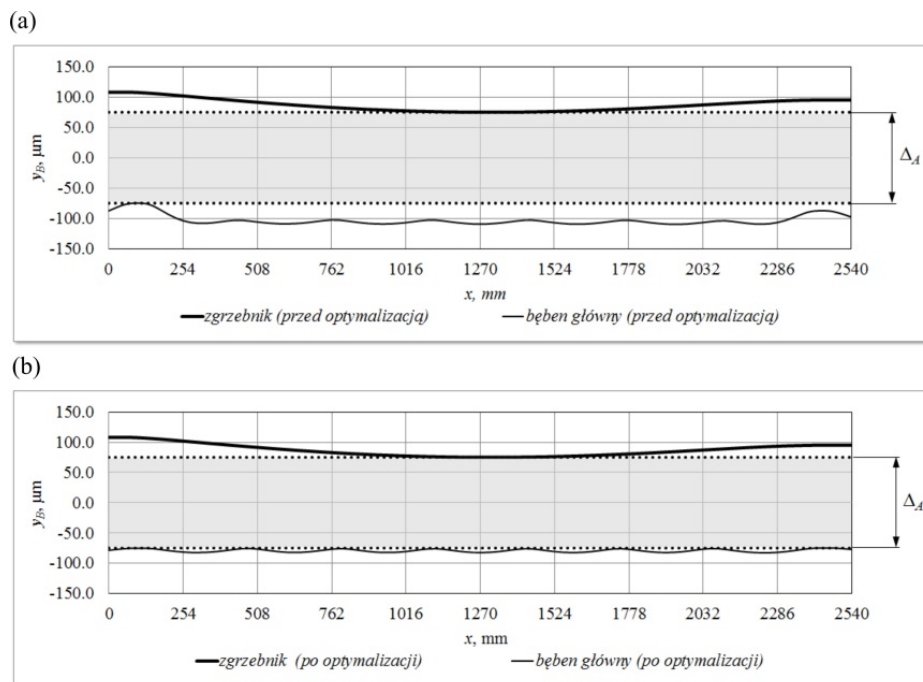
Rys. 6. Zmienne decyzyjne w zadaniu optymalizacji

Z uwagi na rozmiar modelu MES (ponad 370 000 węzłów) i charakter analizy (analiza *transient*), do rozwiązania samego problemu optymalizacji wykorzystano metodę *subproblem approximation*, zalecaną do zagadnień o tak dużej złożoności obliczeniowej [6]. Jest to metoda rzędu zerowego, dla zadania z ograniczeniami będąca implementacją metody wewnętrznej funkcji kary. Początkowe wartości zmiennych decyzyjnych stanowiły wymiary zgodne z dokumentacją techniczną urządzenia grzebieniowego.

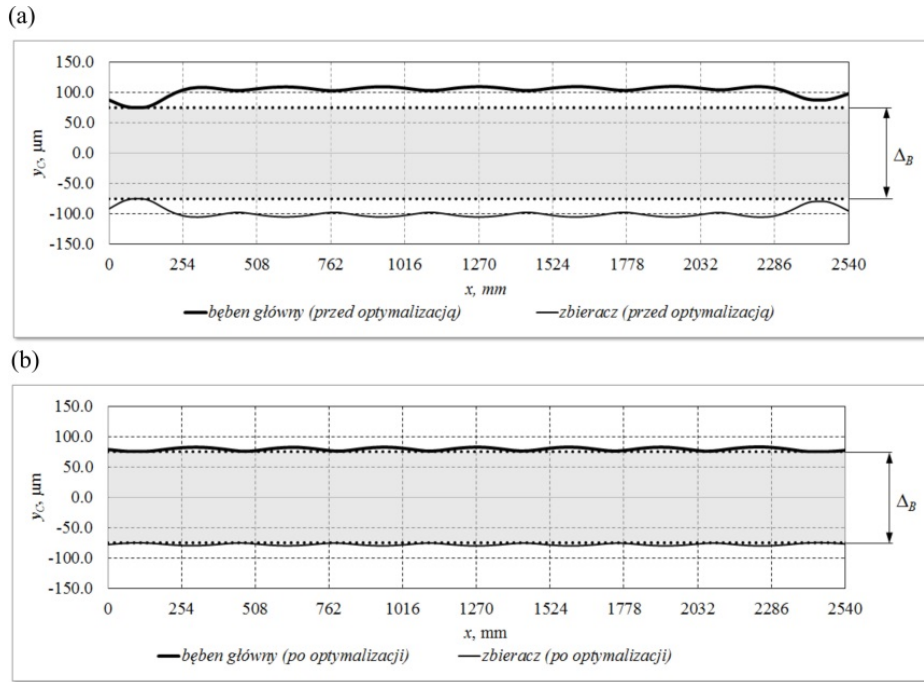
4. OCENA JAKOŚCI WSPÓŁPRACY PODZESPOŁÓW ZGRZEBLARKI

Do oceny jakości współpracy podzespołów zgrzeblarki przyjęto, że ustawione stalowania wynoszą odpowiednio (por. rys. 2): $\Delta_A = \Delta_B = 150 \mu\text{m}$, $\Delta_C = 250 \mu\text{m}$.

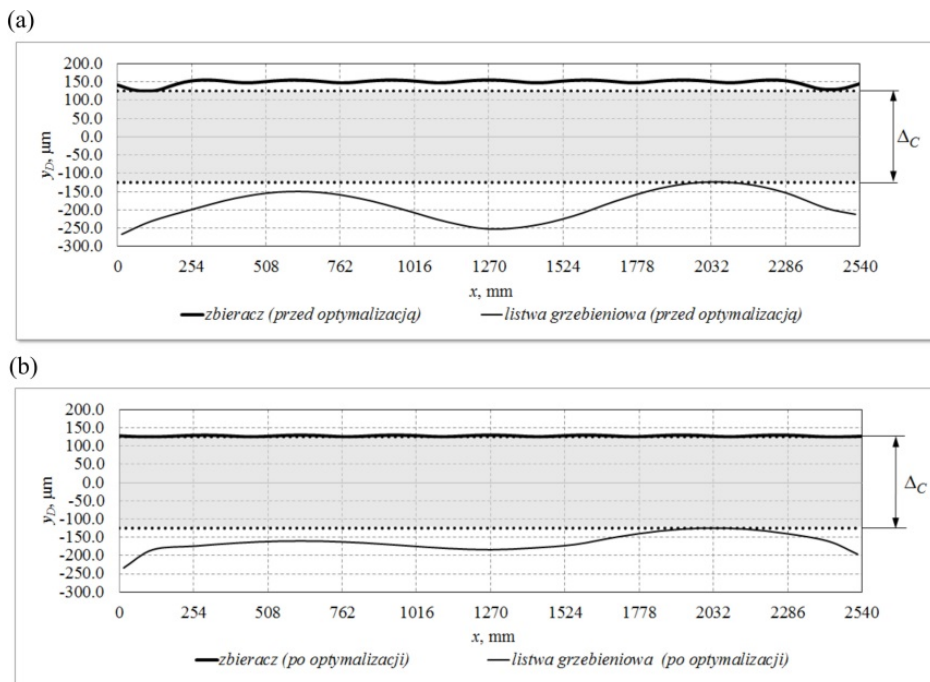
Na wykresach (rys. 7-9) zestawiono wyniki prowadzonych analiz dla konstrukcji przed i po optymalizacji. W strefach A i B zestawiono ze sobą krzywe odwzorowujące statyczne ugięcia par: ostatni zgrzebnik – bęben główny oraz bęben główny – zbieracz. W strefie C statyczne ugięcie zbieracza zestawiono z obwiednią amplitud drgań listwy grzebienia szczesującego wyznaczoną w kierunku normalnym do założonego toru ruchu n (obwiednia kolejnych położenia węzłów leżących na krawędzi listwy grzebieniowej, rys. 4). Idealny, pożądany kształt szczeliny pomiędzy współpracującymi podzespołami zaznaczono kolorem szarym.



Rys. 7. Współpraca w strefie A: a) przed optymalizacją, b) po optymalizacji



Rys. 8. Współpraca w strefie B: a) przed optymalizacją, b) po optymalizacji



Rys. 9. Współpraca w strefie C: a) przed optymalizacją, b) po optymalizacji

Ponieważ przywołany wcześniej model transportu włókien w zgrzeblarce jest modelem płaskim, jako kryterium pozwalające ocenić jakość wyników przyjęto średnią wysokość rzeczywistej szczeliny wraz z odchyłkami dolną i górną, wyznaczoną przed i po rozwiązaniu zadania optymalizacji (tab. 1). Takie podejście pozwala ocenić wysokość szczeliny w odniesieniu do stalowań $\Delta_A, \Delta_B, \Delta_C$ (rys. 2) oraz, na podstawie szerokości pola tolerancji, wnioskować o równomierności pokładu włókien. Dla każdej ze stref obliczono procentową zmianę (zmniejszenie) średniej wysokości szczeliny oraz zawężenie pola tolerancji dla konstrukcji optymalnych, w odniesieniu do konstrukcji wyjściowych (tab. 1).

Tabela 1. Ilościowa ocena jakości współpracy w poszczególnych strefach

Strefa współpracy	Średnia wysokość szczeliny wraz z odchyłkami, μm		Zmiana	
	Przed optymalizacją	Po optymalizacji	Wysokość szczeliny	Szerokość pola tolerancji
(A)	191^{+27}_{-41}	167^{+24}_{-17}	-12.6%	-39.7%
(B)	203^{+13}_{-53}	157^{+6}_{-7}	-22.7%	-80.3%
(C)	344^{+78}_{-94}	297^{+68}_{-47}	-13.7%	-33.1%

5. WNIOSKI

Rozwój konstrukcji zgrzeblarek przez wiele lat opierał się na intuicji inżynierskiej konstruktorów oraz doświadczeniach i obserwacjach podczas eksploatacji. W ostatnich latach, dzięki wykorzystaniu narzędzi komputerowego wspomagania projektowania w połączeniu z metodami optymalizacji, możliwe stało się znaczące doskonalenie istniejących konstrukcji. Przykłady takiej metodyki projektowania w zastosowaniu do wybranych podzespołów zgrzeblarki wałkowej w aspekcie poprawy jakości ich współpracy opisano w artykule. Można stwierdzić, iż istotną korzyścią z rozwiązania zadań optymalizacji konstrukcji wybranych podzespołów zgrzeblarki była poprawa kształtu (przede wszystkim równomierności) szczeliny w strefach współpracy A, B i C (rys. 2), która z kolei przyczyni się do poprawy jakości runka – końcowego produktu zgrzeblenia.

Z tabeli 1 wynika, że średnia wysokość szczeliny, z uwzględnieniem ugięć podzespołów, zmniejszyła się odpowiednio o 13% (A), 22% (B) i 14% (C). Równocześnie znacząco poprawiła się równomierność szczeliny, odpowiednio o 40% (A), 80% (B) i 34% (C).

LITERATURA

- [1] Lee M.E.M. and Ockendon H.: *The transfer of fibres in the carding machine*, J. Eng. Math 2006, 54, pp. 261-271.
- [2] Płonka S. and Stadnicki J.: *The possibility of reducing the mass of the working rollers in a carding machine*, J. Text. Inst. 1988, 4, pp. 615-620.
- [3] Danielczyk P. and Stadnicki J.: *Optimization of the structural form of the carding machine main cylinder*, Textile Res. J., 82, 2012, pp. 1897-1905.
- [4] Stadnicki J.: *Optimal Design of the Cylindrical Shell of a Card Machine*, Textile Res. J., 1997, 67, pp. 6-10.

- [5] Danielczyk P. and Stadnicki J.: *The model and analysis of the doffing comb device vibrations in carding machines*, Fibres Text. East. Eur., 1, 2006, pp. 83-87.
- [6] ANSYS Help System, 2008.