

Pomiary zużycia eksploatacyjnego gniazd bębna łańcuchowego wysoko wydajnego górniczego przenośnika zgrzeblowego

Measurements of wear and tear of sprocket drum seats of high-performance armoured face conveyor



*Dr hab. inż. Piotr Cheluszka, prof. nzw.
w Pol.Śl.**



*Mgr inż. Bartłomiej Sygit**

Treść: W artykule zaprezentowano wyniki analizy zużycia eksploatacyjnego powierzchni roboczych gniazd bębna łańcuchowego wykonanego z żeliwa ADI, który zastosowany został w przenośnikach ścianowych eksploatowanych w kopalni węgla kamiennego. Jest to bęben nowej generacji, o zmodyfikowanej geometrii zarysu gniazd, wykonany z materiału o zwiększonej odporności na zużycie ściernie. Badania te przeprowadzone zostały w oparciu o rekonstrukcję cyfrową (digitalizację) gniazd wykonaną metodą światła strukturalnego. Umożliwiły one określenie wartości zużycia oraz jego rozkładu na powierzchniach roboczych gniazd, jak również intensywności tego procesu w całym okresie użytkowania bębna łańcuchowego w wyrobiska ścianowych.

Abstract: This paper presents the results of an analysis of wear and tear of working surfaces of seats of a sprocket drum made of Austempered Ductile Iron used in face conveyors operating in hard coal mines. It is a new generation drum with modified geometry of seat profile, made of material with enhanced resistance to abrasive wear. The investigations were carried out based on digital reconstruction (digitalisation) of seats made with the structured light method. They allowed to determine the value of wear and its distribution over the working surface of seats, and the intensity of the process in the entire service life of a sprocket drum in longwalls.

Słowa kluczowe:

przenośnik zgrzeblowy, bęben łańcuchowy, skanowanie, pomiary cech geometrycznych, zużycie eksploatacyjne

Key words:

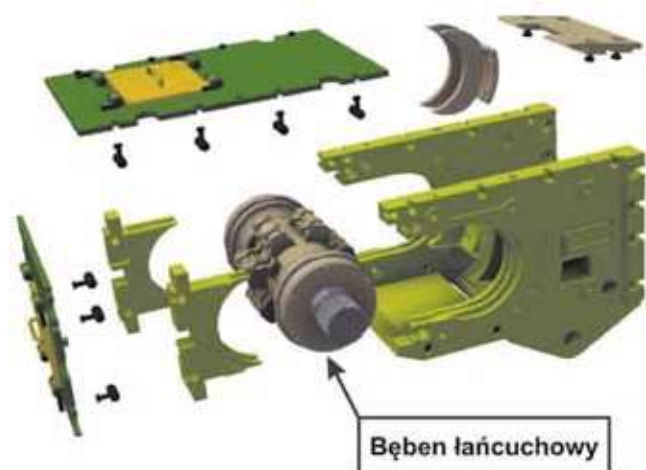
armoured face conveyor, sprocket drum, scanning, measurement of geometric characteristics, wear and tear

1. Wprowadzenie

Bęben łańcuchowy (rys.1) pośredniczy w przeniesieniu siły uciążu z napędu przenośnika na łańcuch zgrzeblowy. Jest to jeden z najbardziej niewralgicznych elementów napędu przenośnika zgrzeblowego, decydujący w dużym stopniu o trwałości i niezawodności tego rodzaju maszyn. Skomplikowany charakter zjawisk towarzyszących współdziałaniu gniazd bębnowych łańcuchowych z ogniwami łańcucha zgrzeblowego, silne obciążenia dynamiczne oraz trudne warunki środowiskowe eksploatacji przenośników zgrzeblowych w górnictwie podziemnym sprawiają, że elementy te ulegają intensywnemu zużyciu, prowadzącemu w krótkim czasie (nawet kilku miesięcy) do konieczności ich wymiany. Do podstawowych mechanizmów niszczących zaliczyć należy:

zużycie ściernie i ściernie-korozyjne, adhezyjne, erozyjne, zmęczenie, triboutlenianie oraz zmęczenie cieplne [3, 8]. Poszczególne formy zużycia, a w szczególności zużycie ściernie, skutkują ubytkami materiału na flankach i dnach gniazd bębnowych łańcuchowych. Ubytki te spowodowane są poślizgiem ogniw czynnych na powierzchniach roboczych gniazd, co prowadzi do zmniejszenia podziałki gniazd bębna łańcuchowego. W efekcie, następuje obniżenie sprawności ząbienia łańcucha z bębniem łańcuchowym oraz znaczne przyspieszenie procesu ścierania się ogniw łańcucha i gniazd bębna. Zużycie ściernie oraz plastyczne wydłużenia ogniw łańcucha powodują ponadto niebezpieczeństwo zakleszczania się ogniw w gniazdach i w rezultacie – zniszczenie zębów bębna łańcuchowego [9]. Proces ten wpływa ponadto negatywnie na dynamikę przenośnika zgrzeblowego oraz przyczynia się do wzrostu nadwyżek dynamicznych w łańcuchach [1].

* Politechnika Śląska w Gliwicach



Rys. 1. Konstrukcja kadłuba napędu wysoko wydajnego przenośnika zgrzeblowego [12]

Fig. 1. Construction of the drive frame of high-performance armoured face conveyor [12]

W celu poprawy trwałości bębnow łańcuchowych oraz wydłużenia czasu ich użytkowania czynione są różnego rodzaju zabiegi. Jedną z dróg jest modyfikacja zarysu zębów bębnow łańcuchowych poprzez wprowadzenie asymetrii zarysu den gniazd i flank zębów, w wyniku czego następuje pochylenie dna gniazda w stronę założonego kierunku obrotu bębna [2]. Innym sposobem jest wykonywanie bębnow łańcuchowych z materiałów o zwiększonej odporności na zużycie ściernie, na przykład żeliwa sferoidalnego ausferrytycznego ADI, przy zastosowaniu specjalnej obróbki cieplnej w postaci hartowania izotermicznego [13].

Dla potrzeb oceny stopnia zużycia gniazd bębnow łańcuchowych stosowane mogą być różnego rodzaju przyrządy pomiarowe (np. [4, 5, 6]). Mają one zastosowanie w pomiarach prowadzonych bezpośrednio w miejscu eksploatacji przenośnika zgrzeblowego (w tym – w podziemnych wyrobiskach górniczych). Przyrządy tego rodzaju pozwalają na stosunkowo prosty pomiar wartości podstawowych cech geometrycznych gniazd bębna łańcuchowego (długości, odległości od dna rowka zębego, odległości od osi obrotu bębna, itp.), traktowanych jako wskaźnik zużycia gniazd bębna łańcuchowego. W powiązaniu z oceną wzrokową stanu technicznego bębna łańcuchowego pomiary te stanowią podstawę oceny przydatności bębna łańcuchowego do eksploatacji oraz decyzji o jego wymianie [10]. Stosowanie przyrządów opartych na tradycyjnych metodach pomiaru do identyfikacji cech geometrycznych elementów maszyn o tak złożonych kształtach, jakimi są bębny łańcuchowe przenośników zgrzeblowych nie pozwala jednak na uzyskanie pełnego obrazu przebiegu procesu zużycia powierzchni roboczych oraz danych liczbowych charakteryzujących jego intensywność. Nie jest przy tym możliwe śledzenie zmian kształtu powierzchni roboczych gniazd w trakcie eksploatacji przenośnika, w wyniku współdziałania bębna z łańcuchem zgrzeblowym. Z pomocą przychodzą tu metody skaningowe – stykowe lub bezstykowe [7]. Pozwalają one na dokonanie z dużą dokładnością rekonstrukcji cyfrowej całej powierzchni (lub wybranego jej fragmentu) elementu, dla którego wykonywany jest pomiar. Tego rodzaju przyrządy pomiarowe, ze względu na dużą wrażliwość na działanie czynników środowiskowych, nie nadają się jednak do użytku w warunkach dołowych. Mogą być one jednak z powodzeniem stosowane w laboratoriach, halach fabrycznych, czy warsztatach (również kopalnianych), przy zapewnieniu odpowiednich warunków realizacji pomiarów

(szczególnie w zakresie przejrzystości powietrza oraz temperatury). Wymaga to jednak dostarczenia obiektu badań (tu: bębna łańcuchowego) z miejsca jego eksploatacji do miejsca, w którym możliwe jest wykonanie pomiarów. Nie jest to w wielu przypadkach łatwe, a nawet możliwe, ze względu na wymiary i masę, skomplikowany demontaż oraz konieczność wyłączenia z eksploatacji maszyny, której elementy mają być skanowane na czas realizacji pomiarów.

W artykule przedstawiono wyniki digitalizacji gniazd bębna łańcuchowego wysoko wydajnego górniczego przenośnika zgrzeblowego eksploatowanego w dwóch wyrobiskach ścianowych kopalni węgla kamiennego. Wykorzystana tu została bezstykowa metoda pomiaru oparta na metodzie światła strukturalnego. Badania zrealizowane zostały w ramach pracy dyplomowej magisterskiej wykonanej w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej [11]. Celem tych badań była analiza przebiegu zużycia powierzchni flank zębów oraz den wybranych gniazd bębna łańcuchowego wykonanego z żeliwa ADI, użytkowanego w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych w wysoko wydajnym przenośniku ścianowym pracującym w kopalni węgla kamiennego.

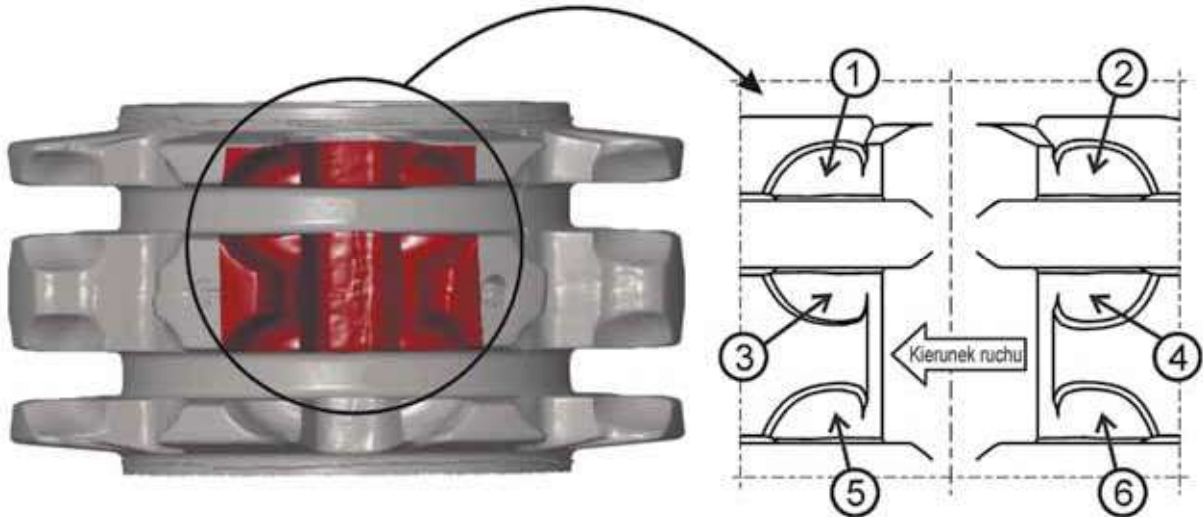
2. Obiekt badań

Obiektem badań był zmodyfikowany bęben łańcuchowy odlany z żeliwa sferoidalnego ADI o liczbie zębów równej siedem (rys. 2). Bęben ten jest nowym rozwiązaniem, zarówno w zakresie zastosowanego materiału, jak i geometrii [2]. Eksploatowany był on w dwóch przedziałach czasowych. W pierwszym okresie pracy – w ciągu pięciu miesięcy – bęben łańcuchowy zainstalowany był w napędzie zwrotnym ścianowego przenośnika zgrzeblowego RYBNIK 850, wyposażonego w dwa jednosilnikowe napędy o mocy 315 kW. Transport urobku odbywał się łańcuchem zgrzeblowym 2'Æ34'126 mm. W okresie tym przenośnik zgrzeblowy przetransportował ponad 440 tys. ton urobku. Koniec pracy przenośnika zgrzeblowego wynikał z osiągnięcia przez wyrobisko ścianowe projektowanego wybiegu. W drugim okresie eksploatacji, w ciągu niespełna jednego miesiąca, rozpatrywany bęben łańcuchowy zainstalowany był w napędzie wysypowym identycznego, jak w pierwszym okresie eksploatacji, przenośnika zgrzeblowego zabudowanego w kolejnej ścianie. W tym czasie przenośnik ten przetransportował około 80 tys. ton urobku. Krótki czas



Rys. 2. Obiekt badań – bęben łańcuchowy wysoko wydajnego ścianowego przenośnika zgrzeblowego RYBNIK 850

Fig. 2. Test object – sprocket drum of the high-performance armoured face conveyor RYBNIK 850



Rys. 3. Zeskanowana powierzchnia bębna łańcuchowego z zaznaczeniem gniazd wziętych do analizy zużycia
Fig. 3. The scanned surface of sprocket drum with seats marked taken for the wear and tear analysis

pracy wynikał w tym przypadku z awarii napędu przenośnika, której przyczyną było pęknięcie bębna łańcuchowego na skutek ujawnienia się wady odlewniczej.

Dla potrzeb wyznaczenia zużycia eksploatacyjnego rozpatrywanego bębna łańcuchowego, dla reprezentatywnych gniazd dokonano pomiaru geometrii w poszczególnych fazach jego użytkowania (rys. 3). Gniazda te poddano skanowaniu na stanowisku pomiarowym w laboratorium Instytutu Mechanizacji Górnictwa: przed pierwszą instalacją bębna w napędzie zwrrotnym ścianowego przenośnika zgrzeblowego (bęben nowy), po zakończeniu pierwszego okresu eksploatacji oraz po zakończeniu drugiego okresu jego użytkowania. Na rysunku 3 kolorem czerwonym zaznaczono powierzchnie gniazd, dla których analizowano wartości zużycia eksploatacyjnego w poszczególnych okresach jego eksploatacji (oznaczone numerami od 1 do 6). Ze względów logistycznych, przed rozpoczęciem eksploatacji bębna łańcuchowego oraz po zakończeniu pierwszego okresu jego użytkowania wykonano odlewy gipsowe wytypowanych do badań gniazd bębna łańcuchowego, które poddane zostały digitalizacji. Po wycofaniu bębna z eksploatacji skanowaniem objęty został natomiast cały bęben łańcuchowy, który dostarczono na stanowisko pomiarowe.

3. Pomiary oraz opracowanie danych pomiarowych

Digitalizację powierzchni gniazd bębna łańcuchowego dokonano przy użyciu skanera metrologicznego smartSCAN 3D-HE (prod. Breuckmann – Aicon 3D Systems GmbH) – rys. 4, sprzężonego sygnałowo z odpowiednio skonfigurowaną stacją roboczą HP Z420 Workstation, z zainstalowanym oprogramo-

waniem Optocat. Skaner ten wyposażony jest w dwie kamery o rozdzielczości 4 Mpx (megapikseli). Dla zastosowanego pola widzenia skanera (285´280 mm) maksymalny błąd pomiaru, jak wynika z protokołu kalibracji, nie przekracza 0,145 mm (tab.1). Oprogramowanie Optocat służy do zarządzania procesem skanowania oraz akwizycji, optymalizacji i przetwarzania danych pomiarowych uzyskanych ze skanera do postaci siatek odwzorowujących kształt skanowanej powierzchni. Ze względu na skomplikowaną geometrię gniazd bębna łańcuchowego, w celu rekonstrukcji kształtu ich powierzchni wykonywano dla każdego z nich do 25 skanów, przy różnym ustawieniu skanera względem skanowanego obiektu (rys. 5) [11].

Tablica 1. Podstawowe dane techniczno-metrologiczne skanera smartSCAN 3D-HE [14]

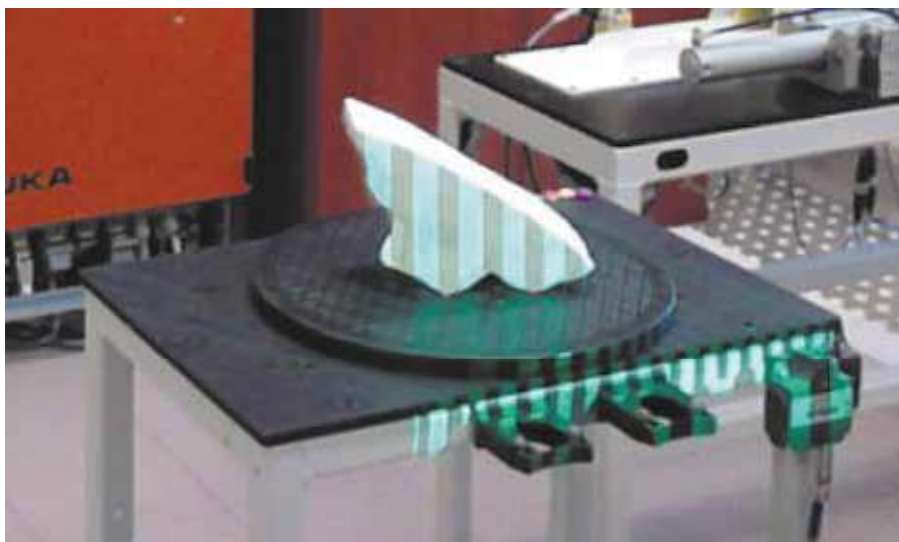
Table 1. Basic technical and metrological data of smartSCAN 3D-HE scanner [14]

rozdzielczość matrycy kamer	Mpx	4,0
odległość robocza	mm	1019
wielkość pola widzenia (szer. wys.)	mm	285´280
głębina przestrzeni pomiarowej	mm	220 (±110)
kąty ustawienia kamer	[°]	+18 / -9,
ogniskowa kamer	mm	50
źródło światła projektora		LED zielone
kąt ustawienia projektora	[°]	0
ogniskowa projektora	mm	12
maksymalny błąd pomiaru	mm	0,145
masa	kg	4,1



Rys. 4. Skaner metrologiczny smartSCAN 3D-HE (prod. Breuckmann – Aicon 3D Systems GmbH) [15]

Fig. 4. The smartSCAN 3D-HE metrological scanner (by Breuckmann – Aicon 3D Systems GmbH) [15]



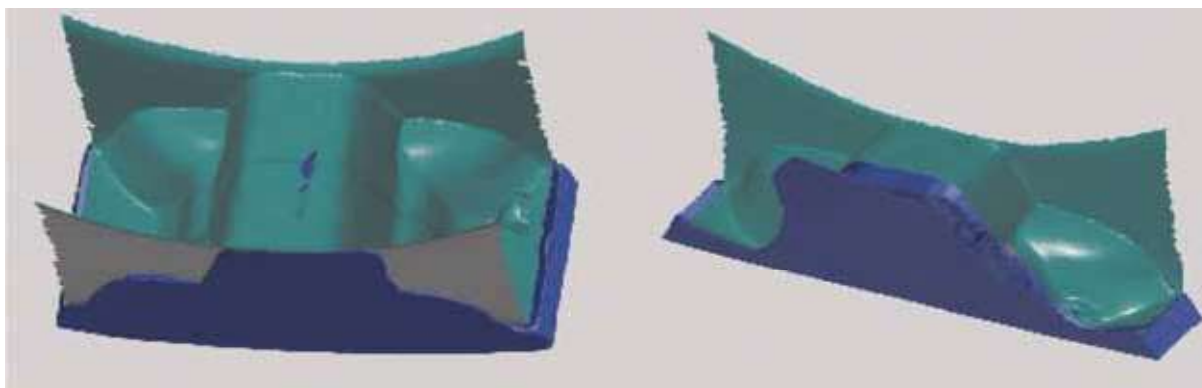
Rys. 5. Akwizycja danych pomiarowych podczas skanowania odlewu gipsowego gniazd bębna łańcuchowego z wykorzystaniem skanera smartSCAN 3D-HE

Fig. 5. Measuring data acquisition during scanning of the gypsum cast of sprocket drum seats using smartSCAN 3D-HE scanner

Przetwarzanie wyników skanowania realizowane było w dwóch etapach. W pierwszym z nich dokonywana była obróbka chmury punktów uzyskiwanych w procesie skanowania w celu uzyskania siatki stanowiącej odwzorowanie skanowanej powierzchni gniazd bębna łańcuchowego. Etap ten realizowany był w oprogramowaniu Optocat. W drugim etapie przetwarzania danych pomiarowych, wirtualne modele 3D uzyskane na drodze skanowania zaimportowane zostały do oprogramowania GOM Inspect V8. W celu wyznaczenia wartości zużycia gniazd w poszczególnych okresach pracy bębna łańcuchowego w ścianowym przenośniku zgrzeblowym, dokonano nałożenia modeli gniazd odpowiadających poszczególnym okresom eksploatacji bębna łańcuchowego. Jako powierzchnię bazową przyjęto powierzchnię wnęki pod zgrzebło. Założono bowiem, że zużycie tej powierzchni jest zdecydowanie mniejsze w porównaniu z zużyciem gniazd bębna łańcuchowego (ponieważ podziałka zgrzebeł jest większa od podziałki łańcucha, zgrzebła wchodzi w kontakt z bębniem w czasie każdego jego obrotu znacznie rzadziej niż ogniwa poziome łańcucha). Na rysunku 6 pokazano efekty dopasowania modeli wirtualnych gniazd rozpatrywanego bębna łańcuchowego będącego efektem realizacji

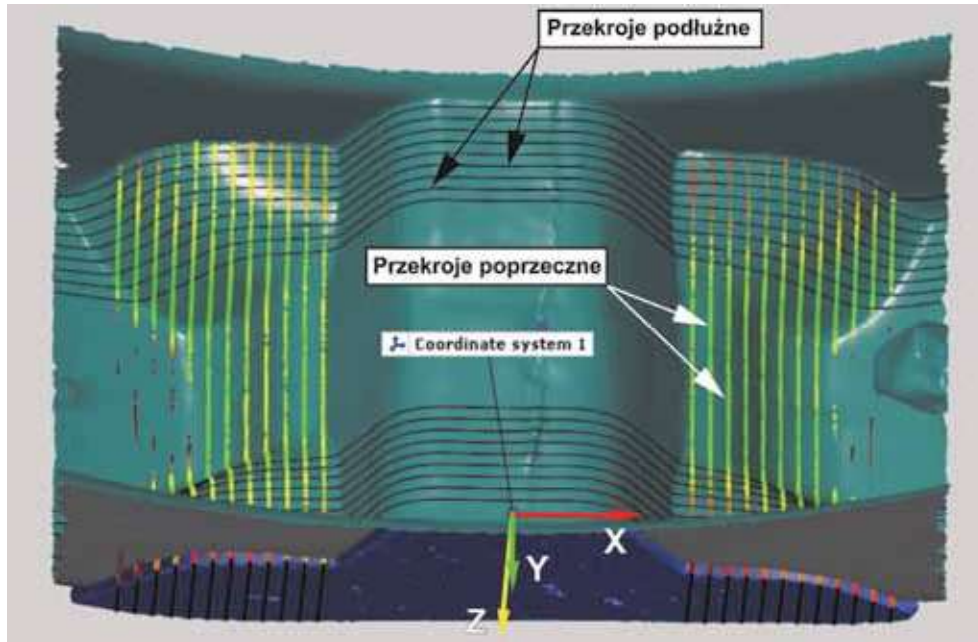
wymienionych operacji. W celu określenia całkowitego zużycia badanych gniazd dokonano dopasowania ich modeli dla bębna nowego (przed rozpoczęciem jego eksploatacji) z modelami uzyskanymi dla bębna wycofanego z użytkowania (po zakończeniu drugiego okresu eksploatacji).

Kolejnym etapem opracowywania wyników pomiarów, który miał doprowadzić do wyznaczenia wartości zużycia gniazd w poszczególnych okresach eksploatacji bębna łańcuchowego było wygenerowanie przekrojów poprzecznych i podłużnych spasowanych wirtualnych modeli gniazd (rys. 7). Przekroje poprzeczne wykonane zostały w płaszczyznach równoległych do płaszczyzny wyznaczonej przez oś obrotu bębna oraz symetralną danego gniazda (płaszczyzny YZ lokalnego układu współrzędnych XYZ). Są to obszary, w których dochodzi do kontaktu ogniwa łańcucha z powierzchnią flank zębów i den gniazd. Płaszczyzny przekrojów poprzecznych rozmieszczone zostały wzdłuż osi X w przedziale wartości współrzędnej x od -105 do -50 mm (po stronie biernej) oraz od $+50$ do $+105$ mm (po stronie napędowej), w odstępach co 5 mm. Z kolei przekroje podłużne powstały w wyniku przecięcia spasowanych powierzchni gniazd płaszczyznami prostopadłymi do osi obrotu bębna łańcuchowego



Rys. 6. Dopasowanie wirtualnych modeli gniazd bębna łańcuchowego uzyskanych po zakończeniu pierwszego (kolor niebieski) oraz drugiego (kolor zielony) okresu eksploatacji

Fig. 6. Adjustment of virtual models of sprocket drum seats obtained after finishing the first (blue) and second (green) operational period



Rys. 7. Przekroje poprzeczne i podłużne wirtualnych modeli gniazd oraz fragmentów zębów bębna łańcuchowego (widok powierzchni bębna od strony wewnętrznej)

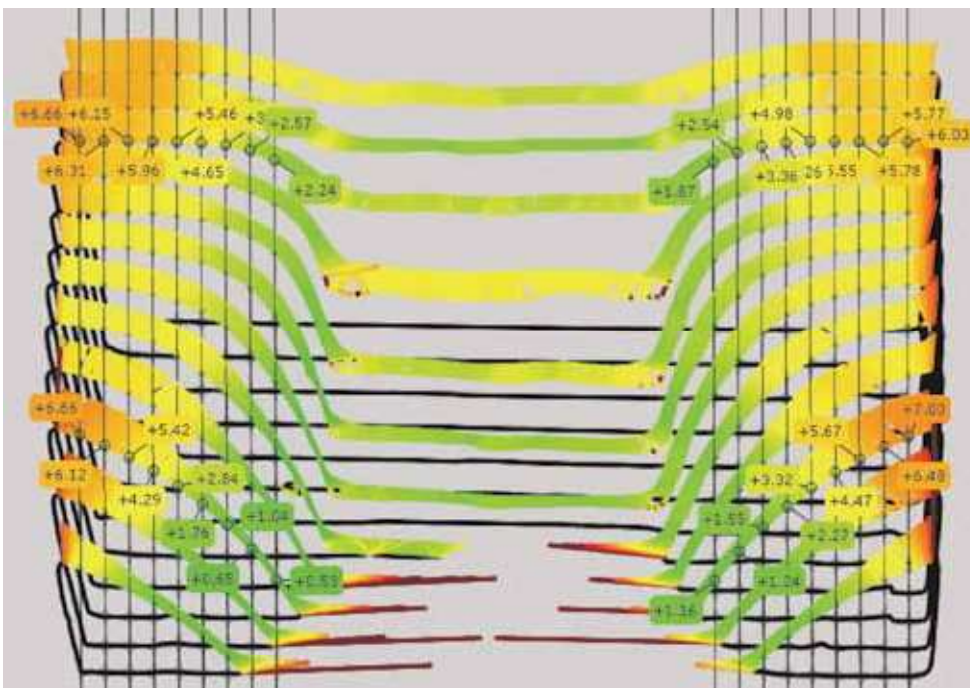
Fig. 7. Cross and longitudinal sections of virtual models of seats and pieces of sprocket drum teeth (view of drum surface from the inside)

(równoległymi do płaszczyzny XZ) w miejscach, w których spodziewano się największego zużycia gniazd. Linie przekrojowe wykonano w tym przypadku w odstępach co 3 mm. W punktach węzłowych linii przekrojowych, powstałych w wyniku przecięcia przekrojów poprzecznych z przekrojami podłużnymi określone zostały wartości zużycia gniazd bębna łańcuchowego. Zużycie to definiowane jest jako odległość pomiędzy punktami węzłowymi zarysu gniazda bębna łańcuchowego w porównywanych okresach jego eksploatacji, zaś zużycie całkowite – jako odległość tych punktów uzyskanych na dopasowaniu powierzchni gniazda bębna nowego oraz po jego wycofaniu z eksploatacji [11]. Miarą wielkości zużycia eksploatacyjnego gniazd bębna łańcuchowego są zatem

odchyłki – wyznaczone w kierunku osi Z lokalnego układu współrzędnych XYZ (w kierunku symetralnej rozpatrywanego gniazda) – zarysu ich powierzchni od zarysu gniazda bębna nowego, względnie pomiędzy kolejnymi okresami jego eksploatacji (rys. 8).

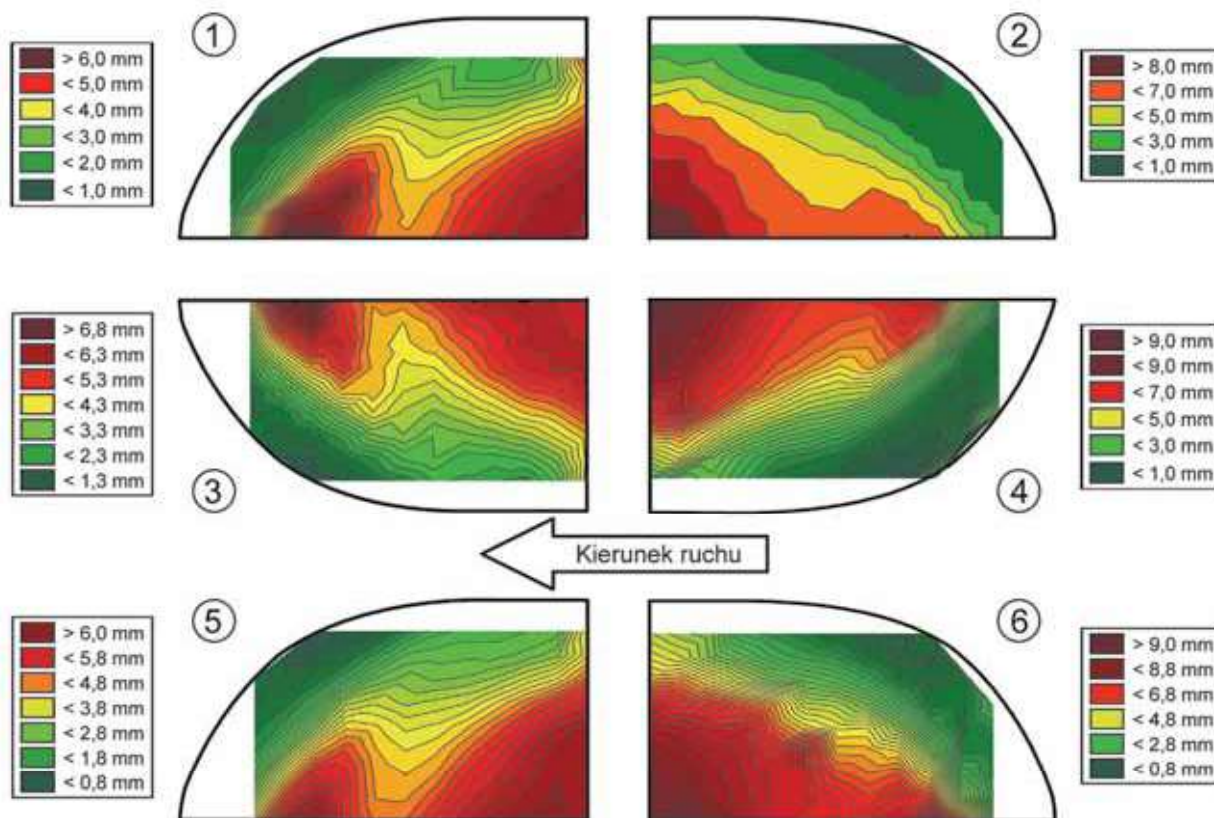
4. Analiza wyników pomiarów

Dla potrzeb identyfikacji przebiegu zużycia eksploatacyjnego gniazd bębna łańcuchowego analizie poddano łącznie 1881 punktów pomiarowych. Ponieważ gniazda bębna łańcuchowego przedzielone są rowkiem zębnym oraz wnęką



Rys. 8. Odległości pomiędzy punktami węzłowymi zarysu gniazd bębna nowego oraz po drugim okresie eksploatacji w wybranych płaszczyznach przekroju poprzecznego odczytane w programie GOM Inspect

Fig. 8. Distance between nodal points of the profile of seats of a new drum and after the second period of operation in selected planes of cross section read in GOM Inspect software



Rys. 9. Mapy zużycia powierzchni roboczych gniazd bębna łańcuchowego w całym okresie jego eksploatacji (zużycie całkowite)

Fig. 9. Wear maps of working surfaces of sprocket drum seats over the entire period of operation (total wear)

pod zgrzebło, współpraca gniazd z ogniwami poziomymi realizowana jest na czterech ich powierzchniach roboczych. Wartości zużycia eksploatacyjnego wyznaczone zostały dla sześciu powierzchni roboczych gniazd bębna łańcuchowego (por. rys. 3). Powierzchnie o numerach od 1 do 4 tworzą jedno całe gniazdo w obrębie koła gniazdowego współdziałającego z prawym pasmem łańcucha ogniowego. Powierzchnie o numerach 5 i 6 stanowią natomiast prawą połowę sąsiedniego gniazda w obrębie koła gniazdowego współdziałającego z lewym pasmem łańcucha ogniowego.

Na rysunku 9 pokazano mapy obrazujące wartości zużycia oraz ich rozkład na powierzchni analizowanych gniazd, odpowiadający całemu okresowi eksploatacji badanego bębna łańcuchowego w dwóch ścianach. Kolorem brązowym oznaczone są obszary, w których powierzchnie gniazd są najbardziej zużyte, zaś kolorem ciemnozielonym – obszary o najmniejszym zużyciu. Obszary największego zużycia koncentrują się w obrębie dna gniazd – w okolicy rowka zębnego oraz wnęki pod zgrzebło, a także w obrębie flanek zębów. Efekt ten widoczny jest zarówno dla gniazda współpracującego z łańcuchem prawym, jak i lewym. W obszarach tych zużycie, jakie odnotowano po sześciu miesiącach eksploatacji badanego bębna (zużycie całkowite) dochodziło nawet do 10 mm. Maksymalne wartości zużycia gniazd po stronie napędowej (powierzchnie nr 2, 4 i 6) były przy tym nawet o blisko 50% większe w stosunku do maksymalnego ich zużycia po stronie biernej (rys. 3 – powierzchnie nr 1, 3 i 5). Wartości średniego zużycia powierzchni gniazd po stronie napędowej były przy tym o ¼ większe w stosunku do wartości średnich wyznaczonych dla powierzchni gniazd po stronie biernej. Średnie zużycie gniazd po stronie napędowej było bowiem równe 4,7 mm, zaś po stronie biernej kształtowało się na poziomie 3,8 mm (tab. 2). Mapy zużycia gniazd po stronie

Tablica 2. Zestawienie wartości podstawowych statystyk wyznaczonych dla rozkładu zużycia powierzchni roboczych objętych pomiarem gniazd bębna łańcuchowego

Table 2. Basic statistical values determined for distribution of wear of working surfaces of the sprocket drum seats subject to measurement

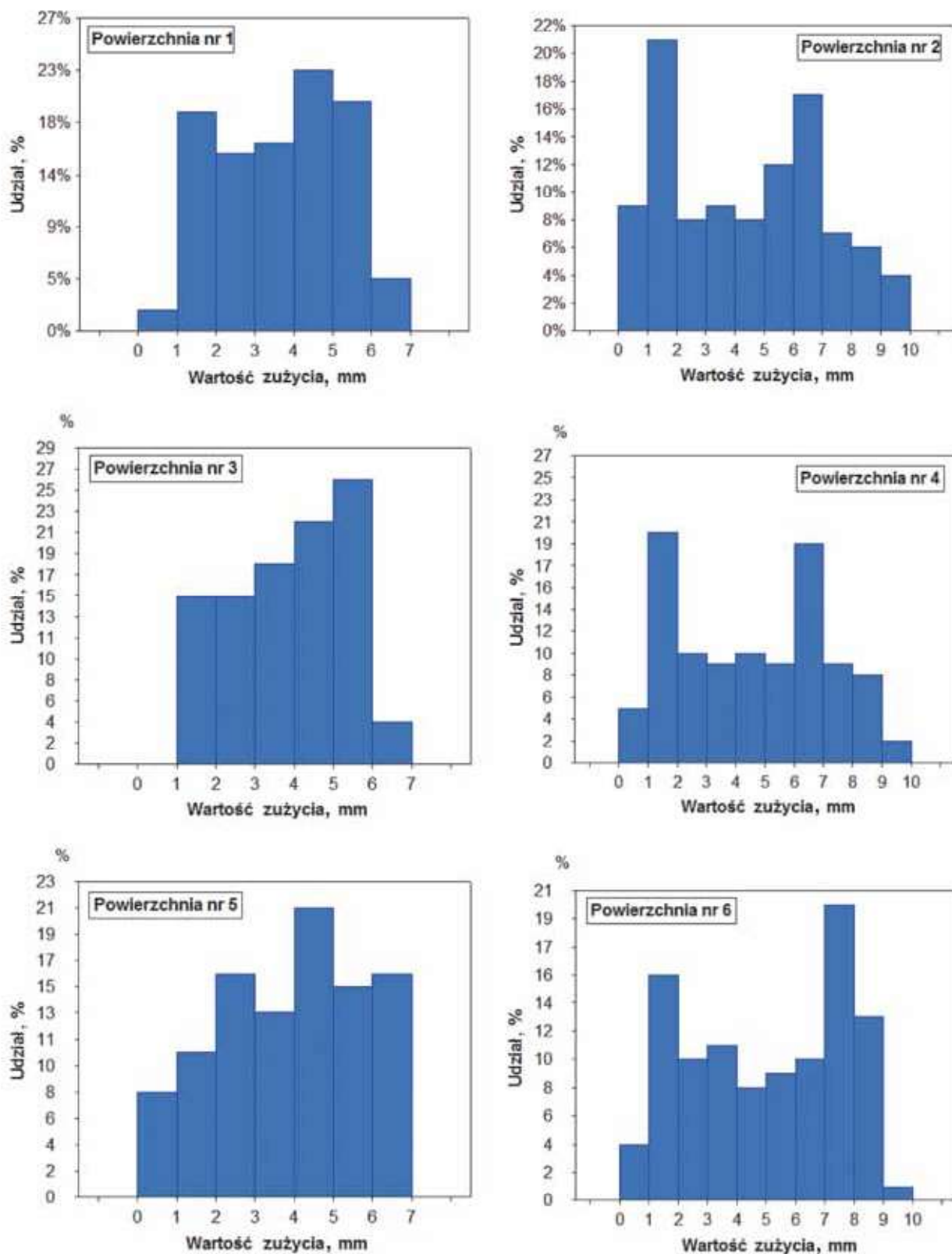
Oznaczenie powierzchni gniazd	Wartość zużycia				
	Minimalna	Maksymalna	Średnia	Odchylenie standardowe	
	mm				
1	0,1	6,7	3,7	1,6	
2	0,6	9,9	4,4	2,6	
3	1,2	7,0	3,9	1,5	
4	0,9	9,2	4,6	2,5	
5	0,5	6,7	3,9	1,8	
6	0,7	9,4	5,0	2,6	
strona	napędowa	0,6	9,9	4,7	2,6
	bierna	0,5	7,0	3,8	1,7

napędowej dla łańcucha prawego (rys. 3 – powierzchnie nr: 2 i 4) oraz łańcucha lewego (powierzchnia nr 6) różnią się w pewnym stopniu pod względem rozkładu jego wartości na tych powierzchniach. Przyczyna tego stanu może wynikać ze zróżnicowania wymiarów ogniw (w tym przede wszystkim podziałki) obu pasm łańcucha, spowodowanych niejednakowym stopniem ich zużycia. W efekcie, sposób układania się ogniw łańcucha w gniazdach poszczególnych kół gniazdowych może się różnić, co wpłynie na zróżnicowanie wartości zużycia gniazd oraz zróżnicowanie ich rozkładu na poszczególnych powierzchniach gniazd.

W przypadku powierzchni zlokalizowanych po stronie napędowej gniazd (rys. 3 – powierzchnie nr: 2, 4 i 6) największą częstością występowania cechowało się zużycie całkowite z przedziału od 1 do 2 mm (16% ÷ 21%) oraz od 6 do 7 mm

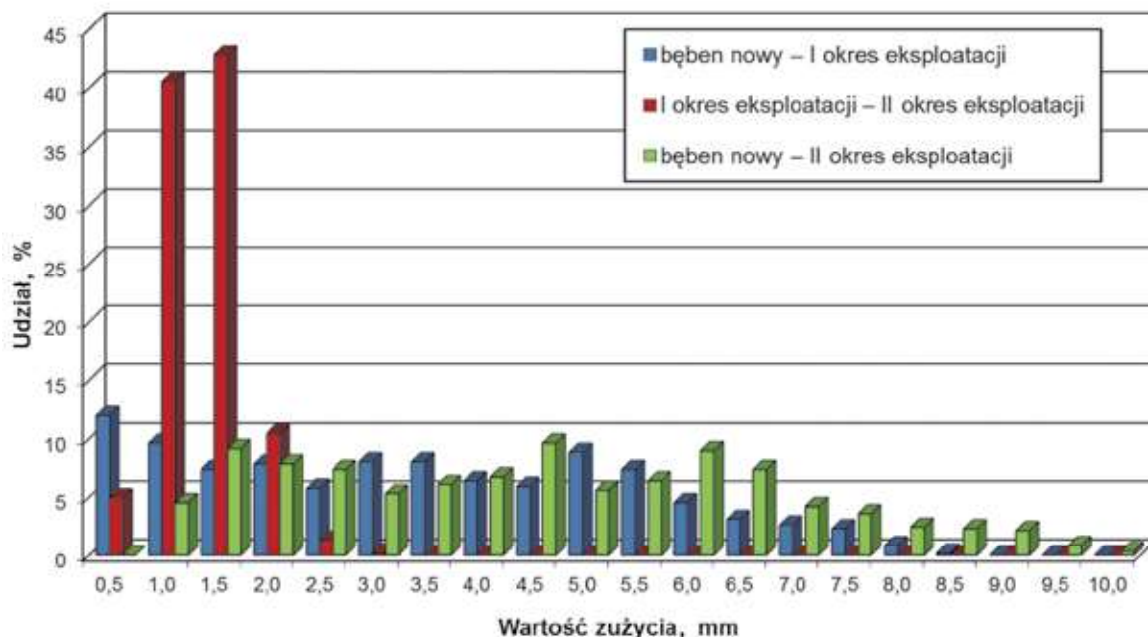
(17% ÷ 19%) – dla gniazda prawego koła gniazdowego oraz od 7 do 8 mm (20%) – dla gniazda koła lewego (rys. 10).

Wartości średnie tego parametru dla wymienionych powierzchni gniazd bębna łańcuchowego kształtowały się na



Rys. 10. Histogramy zużycia poszczególnych powierzchni roboczych gniazd bębna łańcuchowego objętych pomiarem w całym okresie jego eksploatacji (zużycie całkowite)

Fig. 10. Histograms of wear of particular working surfaces of the sprocket drum seats subject to measurement over the entire period of operation (total wear)



Rys. 11. Rozkład wartości zużycia gniazd bębna łańcuchowego w poszczególnych okresach jego eksploatacji
 Fig. 11. Distribution of values of wear of sprocket drum seats in particular periods of operation

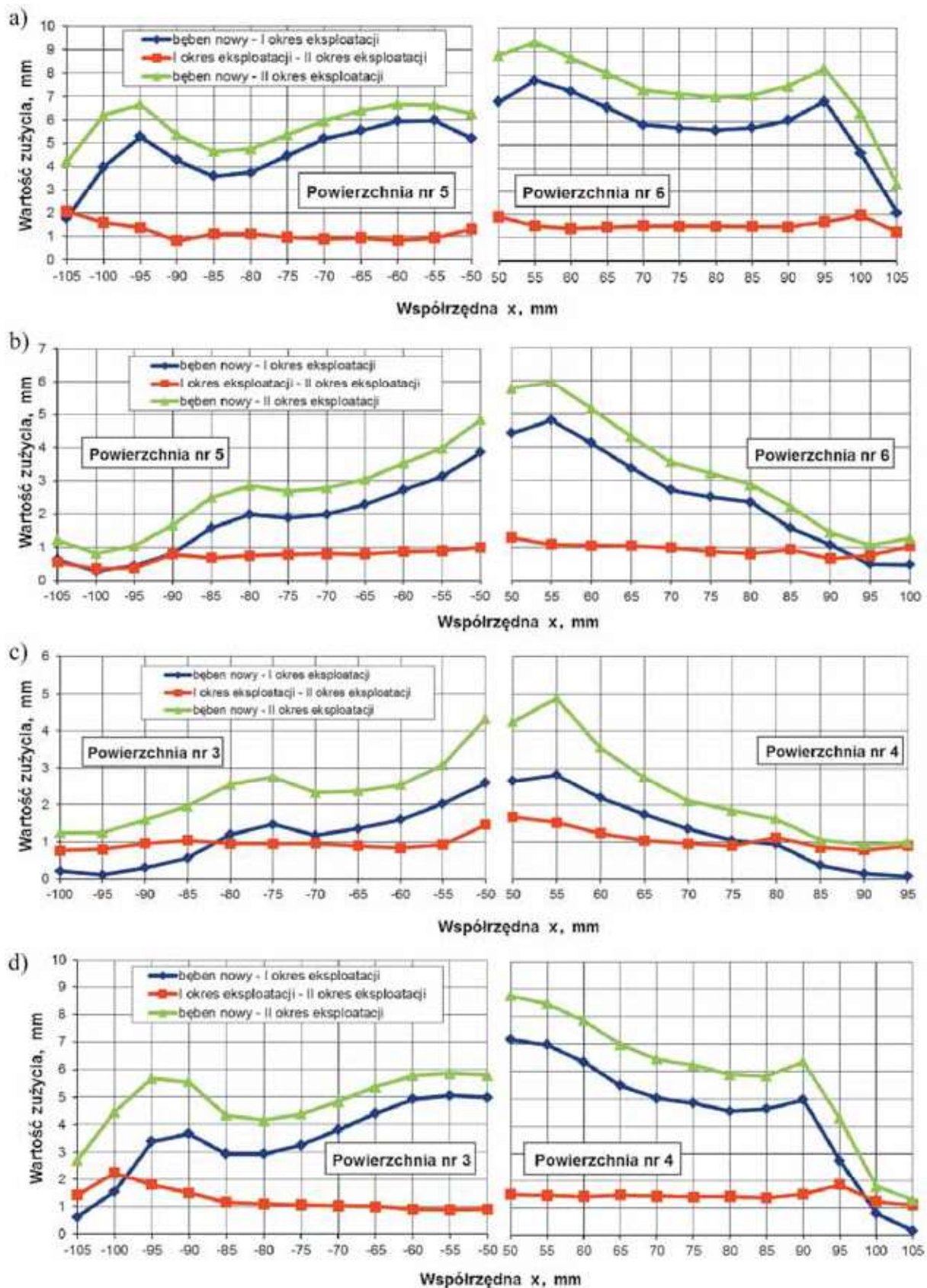
poziomie 4,4 , 5 mm (tab. 2). Dla około 50% analizowanych punktów węzłowych zużycie całkowite powierzchni gniazd po stronie napędowej nie przekroczyło 5 mm. Zużycie całkowite powierzchni gniazd rozmieszczonych od strony biernej przyjmowało z kolei najczęściej wartości w granicach od 4 do 5 mm (~22%) – po prawej stronie gniazd (rys. 3 – powierzchnie nr: 1 i 5) oraz od 5 do 6 mm (25%) – po lewej stronie gniazda (rys. 3 – powierzchnia nr 3). Wartości średnie zużycia całkowitego tych powierzchni zawierały się w granicach od 3,7 do 3,9 mm (tab. 2). Dla połowy spośród analizowanych punktów węzłowych linii przekrojowych gniazd bębna łańcuchowego po stronie biernej całkowite zużycie ich powierzchni nie przekraczało 4 mm.

Rozkład wartości zużycia gniazd bębna łańcuchowego był różny w poszczególnych okresach jego eksploatacji (rys. 11). Wartości zużycia wyznaczone w punktach węzłowych linii przekrojowych po pierwszym okresie pracy bębna (bęben nowy – I okres eksploatacji) dochodziły do 8 mm (słupki w kolorze niebieskim). Dla blisko połowy punktów pomiarowych były one przy tym mniejsze od wartości średniej, wyznaczonej dla tego okresu użytkowania bębna łańcuchowego, wynoszącej 3,1 mm. Rozkład wartości badanej wielkości w wyodrębnionych przedziałach jej zmienności jest dość równomierny (brak w zasadzie dominujących wartości zużycia). Dla około 30% analizowanych punktów pomiarowych zużycie było przy tym mniejsze od 1,5 mm. W drugim okresie użytkowania rozpatrywanego bębna łańcuchowego zużycie powierzchni roboczych gniazd przesunęło się wyraźnie w stronę mniejszych wartości. Maksymalne wartości zużycia powierzchni badanych gniazd nie przekraczały bowiem 2,6 mm (1/3 wartości maksymalnej zużycia w pierwszym okresie eksploatacji bębna łańcuchowego). Dla aż 88% punktów pomiarowych, w których wyznaczana była wartość zużycia powierzchni gniazd bębna łańcuchowego wartości tego parametru nie przekraczały 1,5 mm (słupki w kolorze czerwonym). Dominujące było przy tym zużycie z przedziału 0,5, 1,5 mm. Wartość średnia zużycia powierzchni roboczych rozpatrywanych gniazd w tym okresie eksploatacji bębna łańcuchowego kształtowała się na poziomie 1,1 mm.

Jak już wcześniej wspomniano, zużycie całkowite wyznaczone dla całego okresu eksploatacji bębna (bęben nowy – II okres eksploatacji) osiągało poziom 10 mm, przy czym wartość średnia wyznaczona dla wszystkich badanych punktów węzłowych linii przekrojowych wyniosła 4,2 mm. W przypadku blisko połowy analizowanych punktów pomiarowych wartości zużycia w tym okresie nie przekraczały średniej wartości zużycia gniazd (słupki w kolorze zielonym). Udział wartości zużycia całkowitego z przedziału od 1,5 do 6,5 mm stanowił aż 80%, a tylko w 15% rozpatrywanych punktów węzłowych było ono większe od 6,5 mm.

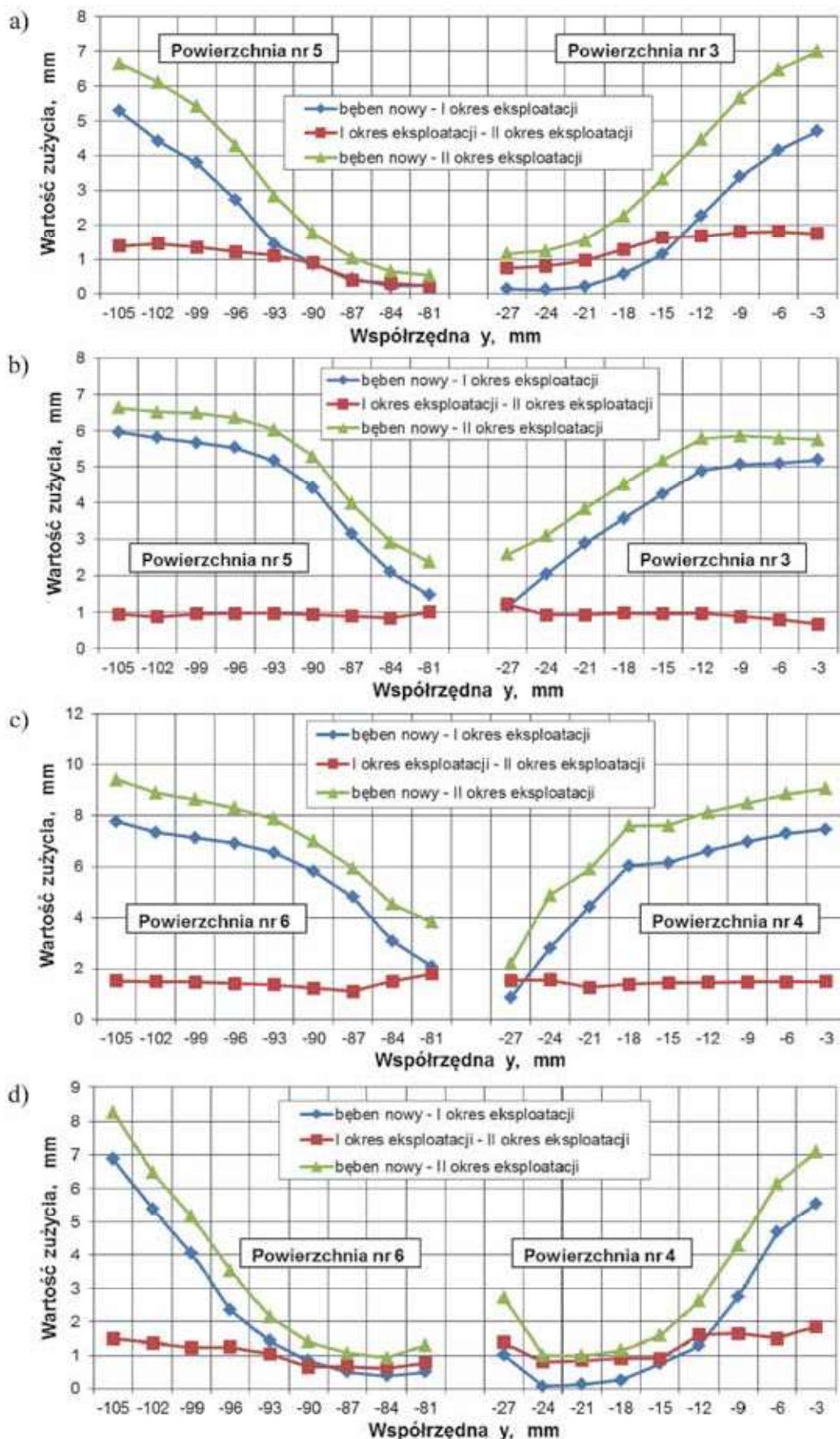
Obserwując przebieg zużycia powierzchni gniazd w płaszczyznach przekrojów podłużnych w kolejnych okresach eksploatacji bębna, należy stwierdzić, iż decydujący wpływ na rozkład wartości zużycia na ich powierzchniach miał przebieg tego procesu w pierwszym okresie użytkowania badanego bębna łańcuchowego (rys. 12 – linie w kolorze niebieskim).

Największe zużycie w tym okresie zaobserwowano w przekrojach podłużnych znajdujących się najbliżej rowków zębnych przecinających badane gniazda (rys. 12a, d). W przekrojach tych największe wartości zużycia odnotowano w punktach węzłowych o współrzędnych mierzonych wzdłuż osi X, zawartych w przedziałach od 50 do 60 mm i od 85 do 100 mm oraz od –50 do –65 mm i od –85 do –100 mm, gdzie rozpatrywane przebiegi wykazują maksima lokalne. Punkty pomiarowe znajdujące się bliżej początku lokalnego układu współrzędnych odpowiadają obszarowi, w którym dochodziło do kontaktu poziomego ogniwa łańcucha z dnem gniazda, w okolicy wnęki pod zgrzebło. W pozostałych przypadkach natomiast punkty pomiarowe położone są w miejscach, w których dochodziło do oparcia się torusów ogni w poziomych o flanki zębów. Wraz z oddalaniem się kolejnych przekroi podłużnych od rowka zębego wartość zużycia gniazd maleje. Szczególnie widoczne jest zmniejszenie się wartości zużycia w miejscach, w których dochodzi do kontaktu torusów ogni w poziomych z powierzchniami bocznymi zębów (rys. 12b, c). Największe zużycie powierzchni gniazd miało również i tu miejsce w okolicy rowka zębego (dla ma-



Rys. 12. Kształtowanie się zużycia gniazd łańcuchowego na ich długości w wybranych płaszczyznach przekroju podłużnego gniazd dla: a) $y = -105$ mm, b) $y = -87$ mm, c) $y = -24$ mm, d) $y = -9$ mm

Fig. 12. The wear curve of sprocket drum seats along their length in the selected planes of longitudinal section of seats for: a) $y = -105$ mm, b) $y = -87$ mm, c) $y = -24$ mm, d) $y = -9$ mm



Rys. 13. Kształtowanie się zużycia gniazd łańcuchowego na ich szerokości w wybranych płaszczyznach przekroju poprzecznego dla: a) $x = -95$ mm, b) $x = -55$ mm, c) $x = +55$ mm, d) $x = +95$ mm
 Fig. 13. The wear curve of sprocket drum seats along their width in the selected planes of cross section for: a) $x = -95$ mm, b) $x = -55$ mm, c) $x = +55$ mm, d) $x = +95$ mm

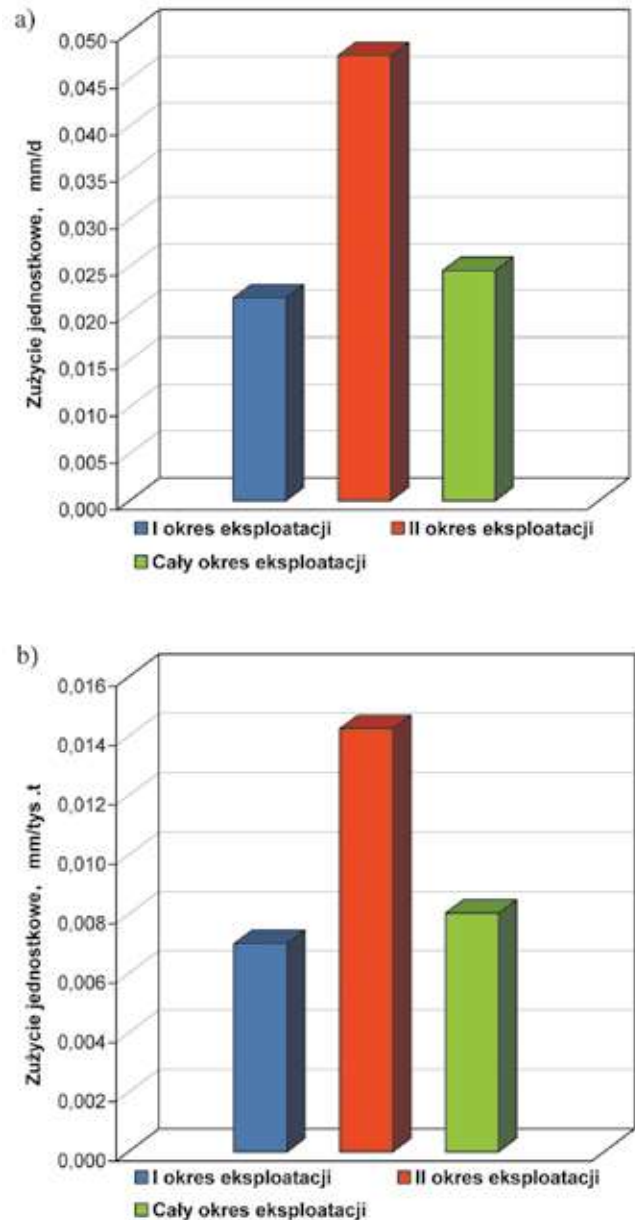
łych wartości współrzędnej x). Przebieg zużycia gniazd bębna łańcuchowego w drugim okresie jego eksploatacji (linie czerwone) był podobny w każdym przekroju podłużnym gniazda, niezależnie od jego położenia. Zużycie na całej długości gniazda było w tym czasie dość równomierne i kształtowało się na poziomie ~ 1 mm, zaś lokalnie dochodziło do 2 mm.

Na rysunku 13 pokazano przebiegi zużycia powierzchni sąsiadujących ze sobą gniazd w płaszczyznach przekrojów poprzecznych. Zgodnie z tym, co już wcześniej stwierdzono, największe wartości zużycia odnotowano w punktach pomiarowych znajdujących się najbliżej rowków zębnych przecinających badane gniazda, czyli dla przedziałów współrzędnej Y od -3 do -12 mm oraz od -96 do -105 mm. Wraz z oddalaniem się punktów węzłowych linii przekrojowych od rowka zębego w przekroju poprzecznym, zużycie malało. W pierwszym okresie eksploatacji bębna łańcuchowego (linie w kolorze niebieskim), w przebiegu zużycia w przekrojach poprzecznych przechodzących przez dna gniazd widoczny jest gwałtowny spadek jego wartości w przedziałach współrzędnej y od -27 do -12 mm, a także od -96 do -81 mm (rys. 13b) oraz od -27 do -18 mm, jak również od -93 do -81 mm (rys. 13c). Przebieg wartości zużycia w przekrojach poprzecznych przechodzących przez flanki zębów (rys. 13a, d) ma w tym okresie kształt zbliżony do parabolicznego. W drugim okresie eksploatacji rozpatrywanego bębna łańcuchowego (linie w kolorze czerwonym) zużycie powierzchni gniazd było równomierne i kształtowało się na zdecydowanie mniejszym poziomie. Stąd, charakter przebiegów całkowitego zużycia gniazd bębna łańcuchowego na ich szerokości w poszczególnych przekrojach poprzecznych (linie w kolorze zielonym) jest podobny do charakteru przebiegów zużycia tych gniazd w pierwszym okresie jego eksploatacji.

Ponieważ rozpatrywany bęben łańcuchowy eksploatowany był w przenośnikach zgrzeblowych pracujących w dwóch ścianach – w napędzie zwrotnym (w pierwszym okresie użytkowania bębna) oraz w napędzie wysypowym (w drugim okresie jego eksploatacji), przy czym czas jego pracy w wymienionych okresach istotnie się różnił, zbadano intensywność zużycia gniazd. Jej miarą są wskaźniki jednostkowego zużycia gniazd, zdefiniowane jako stosunek wartości średniej zużycia w rozpatrywanym okresie eksploatacji bębna łańcuchowego do czasu (liczby dni), względnie – masy przetransportowanego przez przenośnik urobku (tys. ton). W pierwszym okresie użytkowania badanego bębna łańcuchowego wskaźnik jednostkowego zużycia gniazd kształtował się na poziomie $0,022$ mm/d (rys. 14a) oraz $0,007$ mm/tys.t (rys. 14b) – słupki w kolorze niebieskim. W drugim okresie eksploatacji bębna łańcuchowego jednostkowe zużycie gniazd, w przeliczeniu na jeden dzień pracy bębna oraz na 1 tys. ton przetransportowanego urobku, było dwukrotnie wyższe (słupki w kolorze czerwonym). Świadczy to o tym, iż warunki pracy bębna łańcuchowego w napędzie wysypowym są zdecydowanie trudniejsze w porównaniu z napędem zwrotnym, co prowadzi do zdecydowanie bardziej intensywnego jego zużycia. Biorąc pod uwagę cały okres użytkowania badanego bębna łańcuchowego, obejmującego jego pracę zarówno w napędzie zwrotnym, jak i w napędzie wysypowym, zużycie jednostkowe gniazd kształtowało się na poziomie odpowiednio: $0,025$ mm/d oraz $0,008$ mm/tys.t (słupki w kolorze zielonym). Są to zatem wartości przeciętne dla obu napędów przenośnika zgrzeblowego.

5. Podsumowanie i wnioski

Stan techniczny bębnow łańcuchowych w napędach wysokowydajnych przenośników zgrzeblowych, obok łańcucha



Rys. 14. Zużycie jednostkowe gniazd bębna łańcuchowego w przeliczeniu na: a) dzień pracy bębna, b) 1 tys. ton przetransportowanego urobku

Fig. 14. The unit wear of sprocket drum seats per: a) working day of drum, b) 1 thousand tons of the transported mined rock

zgrzeblowego decyduje w najwyższym stopniu o niezawodności tego rodzaju urządzeń transportowych. Współdziałanie bębna łańcuchowego z łańcuchem zgrzeblowym ma skomplikowany charakter, zaś towarzyszące mu zjawiska prowadzą do intensywnego zużycia powierzchni roboczych oraz uszkodzeń o charakterze zmęczeniowym i doraźnym. Obok kontroli wzrokowej, ocena stopnia zużycia gniazd bębnow łańcuchowych w warunkach eksploatacyjnych (w podziemiach kopalń) dokonywana jest za pomocą prostych przyrządów pomiarowych i kontrolnych. Metoda ta nie daje jednak pełnego obrazu zmian kształtu i wymiarów gniazd bębnow łańcuchowych w stosunku do nominalnych, zachodzących na skutek postępującego procesu zużycia eksploatacyjnego. Uzyskanie takich informacji jest możliwe jedynie w wyniku rekonstrukcji cyfrowej powierzchni roboczych gniazd bębna łańcuchowego

z wykorzystaniem metod skaningowych. Dla potrzeb oceny przebiegu zużycia gniazd bębnow łańcuchowych, zastosowano w tym celu metodę bezstykową przy użyciu skanera światła strukturalnego. Metoda ta pozwoliła na rekonstrukcję kształtu powierzchni wybranych gniazd bębna łańcuchowego i dokonanie pomiaru wartości zużycia tych gniazd w kolejnych etapach jego eksploatacji. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Do największego zużycia powierzchni gniazd bębna łańcuchowego dochodziło w miejscach kontaktu ogniw poziomych łańcucha z dnem gniazd oraz w miejscu, gdzie dochodzi do poślizgu torusa tylnego ogniwa poziomego na flankach zębów od strony napędowej.
- Największe wartości zużycia gniazd odnotowano w płaszczyznach przekrojów podłużnych zlokalizowanych w niedużej odległości od rowka zębnego przecinającego powierzchnię gniazda. Wraz z oddalaniem się kolejnych przekroi podłużnych od rowka zębnego wartości zużycia malały.
- Wartości zużycia powierzchni gniazd badanego bębna łańcuchowego w analizowanych punktach węzłowych linii przekrojowych zawierały się w szerokim zakresie. W przypadku powierzchni zlokalizowanych od strony napędowej, przesunięcia tych punktów w kierunku osi Z po zakończeniu eksploatacji bębna (zużycie całkowite) przyjmowały wartości z przedziału od 0,6 do 9,9 mm, zaś po stronie biernej – z przedziału od 0,5 do 7,0 mm. Zużycie średnie rozpatrywanych gniazd kształtowało się natomiast na poziomie: 4,7 mm – po stronie napędowej oraz 3,8 mm – po stronie biernej.
- Zużycie gniazd bębna łańcuchowego w drugim okresie jego eksploatacji, kiedy zamontowany był on w napędzie wysypowym przenośnika zgrzeblowego było równomierne na całej powierzchni badanych gniazd i kształtowało się zasadniczo na poziomie $1 \pm 1,5$ mm. Średnia wartość zużycia rozpatrywanych gniazd w całym okresie eksploatacji bębna wynosiła przy tym 4,2 mm, zaś wartości średnie dla pierwszego i drugiego okresu jego użytkowania były odpowiednio równe: 3,1 i 1,1 mm. Oznacza to, że największe zużycie miało miejsce w pierwszym okresie jego eksploatacji, co wynikało z jednej strony z dłuższego (6-krotnie) czasu użytkowania bębna oraz zwiększonego zużycia jego gniazd w początkowej fazie pracy, co wywołane jest procesem docierania.
- Średnie wartości zużycia jednostkowego, będące miarą intensywności zużywania się powierzchni gniazd były dwukrotnie większe w drugim okresie eksploatacji, a więc gdy badany bęben łańcuchowy zainstalowany był w napędzie wysypowym, w porównaniu do okresu jego eksploatacji w napędzie zwrotnym przenośnika. Wartości zużycia odniesione do czasu użytkowania rozpatrywanego bębna łańcuchowego w pierwszym oraz drugim okresie jego pracy kształtowały się na poziomie odpowiednio: 0,022 i 0,048 mm/d. Z kolei, w odniesieniu do masy przetransportowanego urobku – wartości zużycia powierzchni

gniazd bębna łańcuchowego, dla którego dokonano pomiaru, były równe odpowiednio: 0,007 i 0,014 mm/tys.t. Przeciętnie dla całego przenośnika, rozpatrując łącznie okresy pracy bębna w napędzie wysypowym i zwrotnym, zużycie jednostkowe powierzchni roboczych gniazd wyniosło: 0,025 mm/d i 0,008 mm/tys.t przetransportowanego urobku.

Literatura

1. Dolipksi M.: Dynamika przenośników łańcuchowych, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
2. Dolipksi M., Cheluska P., Remiorz E., Sobota P.: Modyfikacja konstrukcji bębnow łańcuchowych przeznaczonych do ścianowych przenośników zgrzeblowych, „Wiadomości Górnicze” 2013, nr 1, s. 22–27.
3. Dolipksi M., Giza T., Mikula M., Sobota P.: Eksploatacyjne uszkodzenia bębnow łańcuchowych górniczych przenośników zgrzeblowych. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 2011, nr 12, s. 3–8.
4. Dolipksi M., Mikula M., Cheluska P., Giza T., Remiorz E., Sobota P.: Przyrząd do kontroli stopnia zużycia bębnow łańcuchowych, zwłaszcza górniczych przenośników zgrzeblowych. Zgłoszenie patentowe w UP RP nr 400 995 z dnia 01.10.2012.
5. Dolipksi M., Mikula M., Cheluska P., Giza T., Remiorz E., Sobota P.: Zintegrowany miernik zużycia bębnow łańcuchowych przenośników zgrzeblowych. Zgłoszenie patentowe w UP RP nr 401 862 z dnia 03.12.2012.
6. Dolipksi M., Mikula M., Cheluska P., Giza T., Remiorz E., Sobota P.: Przyrząd pomiarowy do kontroli stopnia zużycia gniazda bębna łańcuchowego przenośnika zgrzeblowego. Patent PL 220 151 udzielony 17.12.2014 r.
7. Giza T., Mann R.: Diagnosing of scraper conveyors sprocket drums wear using a structured light scanner. Technicka Diagnostika, 20(2011), z. 1, s. 163–169.
8. Giza T., Mann R.: Formy zużycia bębnow łańcuchowych ścianowych przenośników zgrzeblowych. Monografia: „Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych”. Wyd. AGH, Kraków 2011, s. 430–438.
9. Sobota P.: Porównanie pracy tarcia na dnach gniazd bębnow łańcuchowych o różnej liczbie zębów, „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze” 2013, nr 3, s. 37–41.
10. Suchoń J.: Górnicze przenośniki zgrzeblowe: teoria, badania i eksploatacja. ITG KOMAG, Gliwice 2012.
11. Sygit B.: Analiza zużycia gniazd bębna łańcuchowego przenośnika zgrzeblowego z wykorzystaniem skanowania 3D. Praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej pod kierunkiem dr. hab. inż. Piotra Cheluski, prof. nzw. w Pol.Śl., Gliwice 2015.
12. Tytko S., Łabęcki M., Gros S.: Nowoczesne zintegrowane przenośniki zgrzeblowe produkcji RYFAMA S.A., „Maszyny Górnicze” 2012, nr 3, s. 31–38.
13. Wieczorek A.: Możliwości zastosowania nowych materiałów na bębny łańcuchowe górniczych przenośników zgrzeblowych o zwiększonej odporności na zużycie. „Tribologia” 2013, nr 1, s.135–148.
14. Specyfikacja techniczna skanera smartSCAN 3D–HE.
15. <http://www.aicon3d.de>