

# Wykorzystanie skanowania metodą światła strukturalnego w analizie zużycia górniczych łańcuchów ogniowych

Application of the structured-light scanning for estimation of wear and tear of the link mining chains

PIOTR CHELUSZKA  
MARCIN CIUPEK \*

Jednym z podstawowych elementów przenośnika zgrzeblowego jest łańcuch zgrzeblowy składający się zazwyczaj z dwóch pasm łańcucha ogniowego oraz przytwierdzonych do nich zgrzebeł. Przedstawiono możliwość zastosowania skanowania metodą światła strukturalnego do identyfikacji cech geometrycznych ogniów łańcucha ogniowego. Metodę tę wykorzystano w analizie zużycia górniczego łańcucha ogniowego  $34 \times 126$  mm, eksploatowanego w wysoko wydajnym ścianowym przenośniku zgrzeblowym w kopalni węgla kamiennego.

**SŁOWA KLUCZOWE:** przenośnik zgrzeblowy, łańcuch ogniowy, skanowanie 3D, pomiar cech geometrycznych, zużycie

*One of the basic elements of scraper chain conveyor is the scraper chain usually consisting of two strands of link chain with scrapers fixed to them. In the article the possibility of using a structured-light scanning in identification of geometrical features of the links of a link chain is presented. This method was applied for estimation of wear and tear of the link mining chain  $34 \times 126$  mm used in high output AFC in a coal mine.*

**KEYWORDS:** scraper chain conveyor, link chain, 3D scanning, measurement of geometrical features, wear and tear

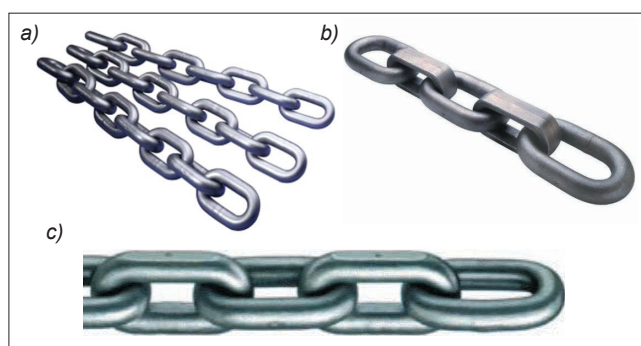
Odstawa urobku z przodków jest jedną z podstawowych czynności technologicznych składających się na wybieranie złóż surowców mineralnych. W górnictwie podziemnym węgla kamiennego realizuje się ją z wykorzystaniem przenośników zgrzeblowych i taśmowych. Wysoko wydajne przenośniki zgrzeblowe ścianowe (rys. 1) i podścianowe wchodziły w skład ścianowych kompleksów zmechanizowanych. Stanowią one początek ciągu odstawy urobku ze ściany.

Przemieszczanie urobku na przenośnikach zgrzeblowych w stronę wysypu odbywa się za pomocą łańcucha zgrzeblowego. Zwykle składa się on z dwóch pasm górniczego łańcucha ogniowego, do których w równej odległości zamocowane są poprzeczne zgrzebła. Łańcuch zgrzeblowy w obiegu zamkniętym wprawiany jest w ruch postępowy przez dwa napędy zlokalizowane na końcach przenośnika. Przeniesienie napędu na łańcuch zgrzeblowy odbywa się w wyniku kształtowego sprzężenia poziomych ogniów łańcucha z bębniami łańcuchowymi napędzanymi przez napędy o mocy sumarycznej przekraczającej nawet 5000 kW [14]. W górniczych przenośnikach ścianowych stosowane są łańcuchy ogniowe o różnej konstrukcji i wielkości (rys. 2), charakteryzujące się wytrzymałością na rozciąganie dochodzącą do 4000 kN [11, 12, 15].

Silne obciążenia dynamiczne oraz trudne warunki środowiskowe, w jakich działają górnicze przenośniki zgrzeblowe dużej mocy, powodują intensywne zużywanie się łańcuchów, prowadzące do ich zerwania. Zużycie przyczynia się do zmiany geometrii ogniów łańcucha, obniżenia jego wytrzymałości oraz pogorszenia warunków współdziałania z bębniem łańcuchowym. Skutkami



Rys. 1. Ścianowy przenośnik zgrzeblowy zainstalowany w wyrobisku ścianowym w kopalni węgla kamiennego [13]



Rys. 2. Łańcuchy ogniowe stosowane w wysoko wydajnych górniczych przenośnikach zgrzeblowych [12, 15]: a) okrągłe, b) broadband, c) płaskie

\* Dr hab. inż. Piotr Cheluszka, prof. Pol. Śl. (piotr.cheluszka@polsl.pl) – Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, mgr inż. Marcin Ciupek (marcin.c90@o2.pl) – absolwent Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej

ostatniego z tych zjawisk są: zróżnicowanie obciążenia napędów, przyspieszone zużycie zębów i gniazd bębnowych łańcuchowych czy zakleszczanie się ogniwi łańcucha na bębnie łańcuchowym [5, 7].

W pracy przeprowadzono analizę zużycia ogniwi łańcucha w trakcie jego eksploatacji w warunkach górniczych, w wysoko wydajnym przenośniku zgrzeblowym. Została ona oparta na rekonstrukcji 3D geometrii ogniwi wyselekcjonowanych do badań odcinków łańcucha górniczego.

### Metoda pomiaru cech geometrycznych ogniwi łańcucha

Pomiary geometrii ogniwi łańcucha przeprowadzono w laboratorium Instytutu Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w ramach pracy dyplomowej magisterskiej [3]. Wykorzystano w tym celu skaner smartSCAN<sup>3D</sup>-HE (prod. Breuckmann) [10] – rys. 3. Zasada jego działania jest oparta na metodzie światła strukturalnego, zaliczanej do aktywnych metod skanowania optycznego, w której informacje o kształcie skanowanego obiektu uzyskuje się na podstawie zniekształceń linii rastra naświetlanego na jego powierzchnię [1, 2, 4, 6]. Obiektem badań było pięć pięcioogniowych odcinków górniczego łańcucha ogniowego 34 × 126 mm (rys. 4), który był eksploatowany w wysoko wydajnym ścianowym przenośniku zgrzeblowym w kopalni węgla kamiennego. Dla porównania pomiar obejmował również odcinek fabrycznie nowego łańcucha o takiej samej wielkości i konstrukcji.

Z punktu widzenia przebiegu procesu digitalizacji skanowane obiekty były dość kłopotliwe. Pojedyncze ogniwa łańcu-



Rys. 3. Skaner światła strukturalnego smartSCAN<sup>3D</sup>-HE w laboratorium badawczym Instytutu Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej

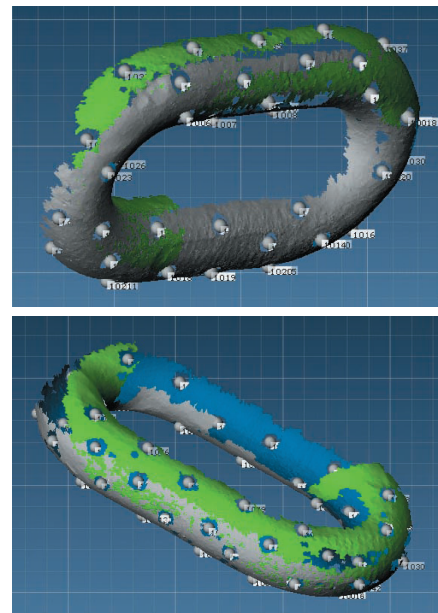


Rys. 4. Obiekt badań – odcinki górniczego łańcucha ogniowego 34 × 126 mm zdemontowane ze ścianowego przenośnika zgrzeblowego eksploatowanego w kopalni węgla kamiennego

cha tworzyły bowiem odcinki o długości ok. 700 mm i masie ok. 16 kg. Aby zwiększyć dokładność dopasowywania skanów w trakcie budowy modelu wirtualnego digitalizowanych ogniwi, proces ten był realizowany z wykorzystaniem znaczników. Przed rozpoczęciem skanowania na każdym z ogniwi objętych pomiarem rozmieszczono losowo ok. 60 znaczników (rys. 5). W wyniku przetwarzania danych w postaci zdjęć pomiarowych o wysokiej rozdzielczości uzyskiwano chmury punktów, które po oczyszczeniu ze zbędnych elementów stały się automatycznie dopasowywane do wcześniej wykonanych skanów (rys. 6 – obszary w kolorze zielonym). W module skanowania programu OPTOCAT (przeznaczonego do zarządzania procesem skanowania) znaczniki, które zostały rozpoznane przez program, wyświetlane były na zielono. W każdym kolejnym ustawieniu skanowanego obiektu względem skanera (lub odwrotnie) musiały być widoczne co najmniej trzy wcześniej rozpoznane znaczniki (z punktu widzenia jakości dopasowywania skanów optymalne jest, gdy skaner widzi 5÷7 znaczników) [8]. Do utworzenia wirtualnego modelu 3D każdego ogniwa wykonano 20÷30 skanów.



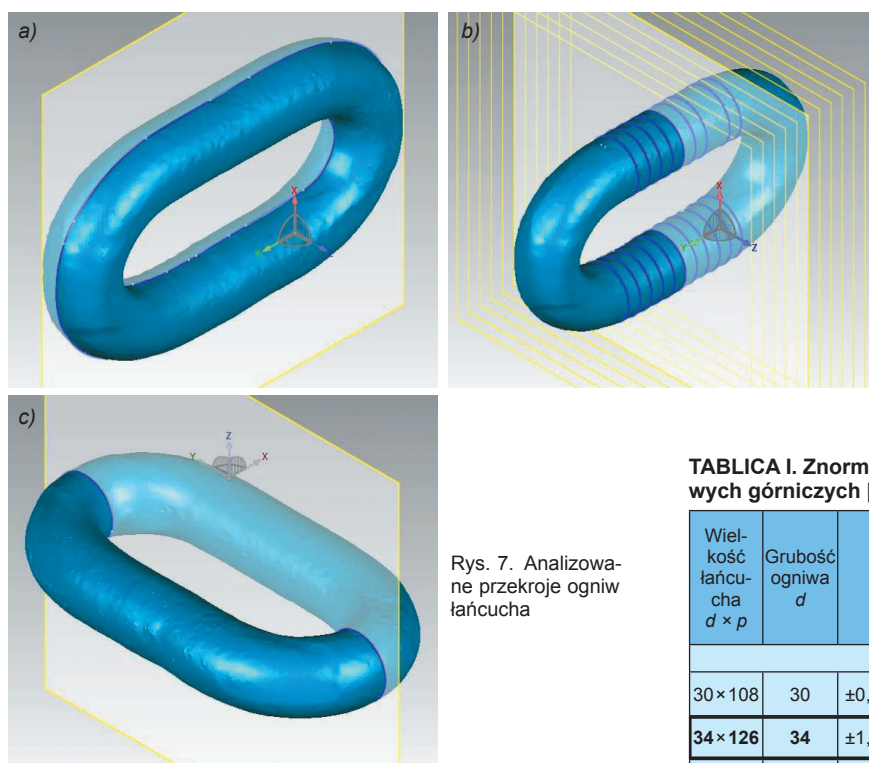
Rys. 5. Przygotowane do skanowania ogniwo łańcucha z naklejonymi znacznikami



Rys. 6. Przykładowe etapy dopasowywania skanów w procesie budowy wirtualnego modelu ogniwa łańcucha górniczego (program OPTOCAT automatycznie oznacza etykietami rozpoznane znaczniki mające postać szarych punktów)

W trakcie cyfrowego opracowania skanów chmury punktów były łączone i konwertowane do postaci siatki trójkątów. Model ten był następnie poddawany procesowi obróbki cyfrowej, polegającej m.in. na usunięciu błędnych trójkątów oraz wypełnieniu występujących w siatce dziur. Gotowe trójwymiarowe modele powierzchni ogniwi zapisywane były do plików dyskowych.

Z kolei na etapie przetwarzania wyników skanowania określano wartości charakterystycznych cech geometrycznych ogniwi łańcucha górniczego. W tym celu wirtualne modele 3D ogniwi były importowane do programu Geomagic Studio,



Rys. 7. Analizowane przekroje ogniwa łańcucha

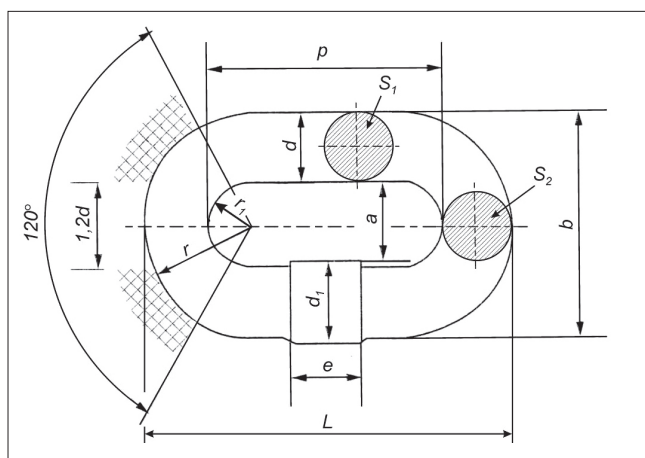
w którym wykonywano przekroje ogniwa w trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach (rys. 7):

- przekroju wzdłużnym w płaszczyźnie wyznaczonej przez osie podłużne części walcowych ogniwa (a),
- przekroju poprzecznym w płaszczyznach prostopadłych do osi podłużnej ogniwa w odstępach wynoszących 8 mm (rozpatrzono dziesięć takich płaszczyzn) (b),
- przekroju wzdłużnym w płaszczyźnie równoległej do osi torusów ogniwa (c).

Uzyskane krzywe przekrojowe były następnie wymiarowane w programie AutoCAD.

Aby ocenić wielkość zużycia ogniwa łańcucha eksploatowanego w górniczym przenośniku zgrzeblowym, analizowano wartości parametrów geometrycznych, takich jak (rys. 8):

- podziałka łańcucha  $p$ ,
- długość  $L$ ,
- szerokość zewnętrzną  $b$ ,
- promień łuku zewnętrznego  $r$  i wewnętrznego  $r_1$  ogniwa,
- pole powierzchni przekroju poprzecznego ogniwa  $S_1$  (poszczególne części walcowych z pominięciem zgrzeiny),
- pole powierzchni przekroju wzdłużnego ogniwa  $S_2$  (torusów).



Rys. 8. Parametry geometryczne ogniwa górniczego łańcucha ogniowego okrągłego (oprac. na podst. [9])

Wartości parametrów wyznaczonych dla 23 ogniwa łańcucha wycofanego z eksploatacji porównywano z wartościami określonymi w normie PN-G-46701:1997 – Łańcuchy ogniowe górnicze (tabl. I) oraz wyznaczonymi dla ogniwa łańcucha nowego (tabl. II). Porównanie wyników pomiaru ogniwa łańcucha zużytego z ogniwami łańcucha nowego pozwoliło na analizę zmian wartości parametrów nieujętych w normie (takich jak promień łuku wewnętrznego  $r_1$  czy pola powierzchni przekroju poprzecznego  $S_1$  i  $S_2$ ), będących istotnymi wskaźnikami stopnia zużycia.

TABLICA I. Znormalizowane wymiary ogniwa łańcuchów ogniowych górniczych [9]

Wielkość łańcucha $d \times p$	Grubość ogniwa $d$	Podziałka łańcucha $p$		Szer. wewn. $a$ nie mniej niż	Szer. zewn. $b$ nie więcej niż	Długość zgrzeiny $e$	Promień łuku zewn. $r$	Masa*
		$\pm 0,9$	$\pm 1,1$					
mm								kg/m
30 × 108	30	$\pm 0,9$	108 $\pm 1,1$	34	98	21	46	18,0
<b>34 × 126</b>	<b>34</b>	$\pm 1,0$	<b>126 <math>\pm 1,3</math></b>	<b>38</b>	<b>110</b>	<b>24</b>	<b>52</b>	<b>+3 22,7</b>
38 × 137	38	$\pm 1,1$	137 $\pm 1,4$	42	121	26	58	29,0

\* Masa wyliczona dotyczy wymiarów nominalnych ogniwa

TABLICA II. Zestawienie wymiarów ogniwa łańcucha 34 × 126 mm wyznaczonych na drodze skanowania łańcucha nowego oraz wynikających z normy PN-G-46701:1997

Parametr	Zakres wartości mm	
	zmierzonych	wynikających z normy
Podziałka łańcucha $p$	125,9+126,2	124,7+127,3
Grubość ogniwa $d$	34,3+36,0	33,0+35,0
Długość ogniwa $L$	193,4+193,7	190,7+197,3*
Szerokość zewnętrzna $b$	109,6+110,0	$\leq 110$
Promień łuku zewnętrznego $r$	51,7+52,4	52,0+55,0
Promień łuku wewnętrznego $r_1$	17,6+20,9	17,0+22,0*
Pole powierzchni przekroju:	mm <sup>2</sup>	
– poprzecznego w płaszczyźnie prostopadłej do osi podłużnej $S_1$	926+1020	855+962*
– wzdłużnego w płaszczyźnie równoległej do osi torusów $S_2$	920+946	855+962*

\* Wartości szacowane

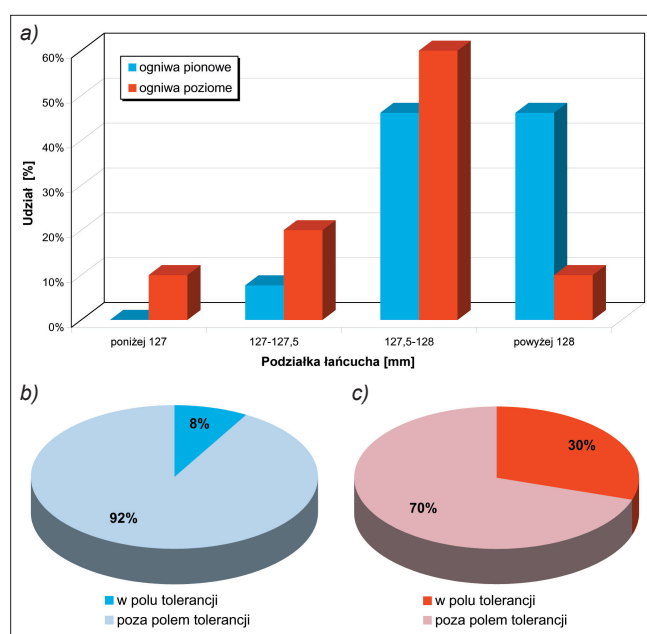
### Analiza zużycia łańcucha ogniowego wycofanego z eksploatacji w odniesieniu do normy PN-G-46701:1997 oraz nowego łańcucha

Przedstawiono wybrane wyniki analizy wartości parametrów geometrycznych ogniwa łańcucha wycofanego z eksploatacji, mających istotny wpływ na własności użytkowe łańcuchów ogniowych eksploatowanych w przenośnikach zgrzeblowych.

Podziałka łańcucha ( $p$ ) ma ogromne znaczenie ze względu na prawidłowe zazębienie ogniwa łańcucha z zębami bębna łańcuchowego napędu przenośnika. W badanym łańcuchu wartość tego parametru zawierała się w zakresie 126,3–128,5 mm. Względny przyrost podziałki (odniesiony do jej wartości nominalnej)  $\Delta p/p_{nom}$ , będący miarą

wydłużenia łańcucha w czasie jego pracy, dla żadnego z ogniw objętych pomiarem nie przekroczył 2%. Był on zatem mniejszy od przyjętej wartości dopuszczalnej 2,5% [5], powyżej której łańcuch powinien zostać wymieniony.

Przyrost podziałki w ogniwach pionowych był większy niż w ogniwach poziomych. W ok. 90% ogniw pionowych podziałka łańcucha była większa od 127,5 mm (rys. 9a). Z kolei dla 60% ogniw poziomych objętych pomiarem podziałka mieściła się w dość wąskim przedziale 127,5÷128 mm. Dla ok. 1/3 ogniw poziomych była ona mniejsza od 127,5 mm. Tylko w 8% ogniw pionowych (rys. 9b) oraz 30% ogniw poziomych (rys. 9c) podziałka mieściła się w określonej przez normę [9] tolerancji (tabl. I). W większości przypadków wartości tego parametru koncentrowały się w pobliżu górnego wymiaru granicznego. Wartość średnia podziałki łańcucha wycofanego z eksploatacji, wyznaczona dla pięciu objętych pomiarem jego odcinków, wyniosła 127,8 mm. Była więc większa od wartości nominalnej podanej w normie [9] o ok. 1,5%.

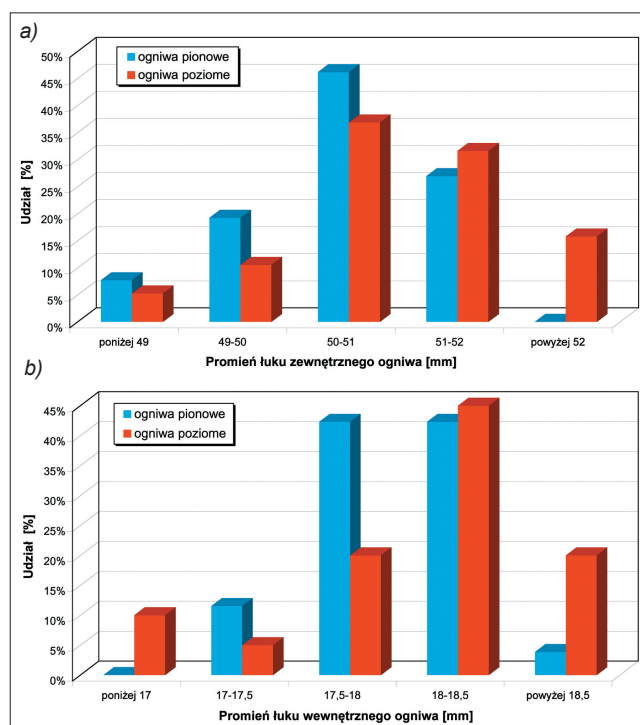


Rys. 9. Rozkład rzeczywistych wartości podziałki łańcucha wycofanego z eksploatacji (a) oraz ich udział w określonym przez normę [9] polu tolerancji: dla ogniw pionowych (b) oraz ogniw poziomych (c)

Kształt powierzchni flanki zębów bębnow łańcuchowych musi być dostosowany do kształtu zewnętrznej powierzchni torusów ogniw poziomych współpracującego z nimi łańcucha ogniowego. Kształt tej części ogniw determinowany jest z kolei przez promień łuku zewnętrznego ( $r$ ). Ze względu na współdziałanie tych elementów promień ten ma więc duże znaczenie.

Poślizgi towarzyszące zazębianiu się ogniw łańcucha z zębami bębna łańcuchowego oraz odkształcenia plastyczne spowodowane dużymi naciskami w miejscu kontaktu tych elementów są przyczyną zmiany geometrii zarówno zębów bębna łańcuchowego, jak i powierzchni zewnętrznej torusów ogniw łańcucha. Jedynie w dwóch spośród 23 objętych pomiarem ogniw promień łuku zewnętrznego mieścił się w tolerancji określonej w normie [9]. Wartości tego parametru zawierały się bowiem w przedziale 47,6÷53,5 mm (dopuszczalny zakres zmienności tego wymiaru według normy wynosi 52÷55 mm). Największy udział, zarówno dla ogniw pionowych, jak i poziomych (odpowiednio 46 i 37%), miały przy tym wartości promienia łuku zewnętrznego w zakresie 50÷51 mm – rys. 10a.

Wzrost wartości promienia łuku wewnętrznego ( $r_1$ ) jest symptomem zużycia przegubów łańcucha. Zużycie to z jednej strony przyczynia się do wzrostu podziałki łańcucha, z drugiej zaś prowadzi do osłabienia ogniw w obrębie



Rys. 10. Histogramy rzeczywistych wartości: a) promienia łuku zewnętrznego, b) promienia łuku wewnętrznego – ogniw łańcucha wycofanego z użytkowania

torusów, w efekcie czego może dojść do ich rozerwania pod wpływem dużych, zmiennych obciążeń.

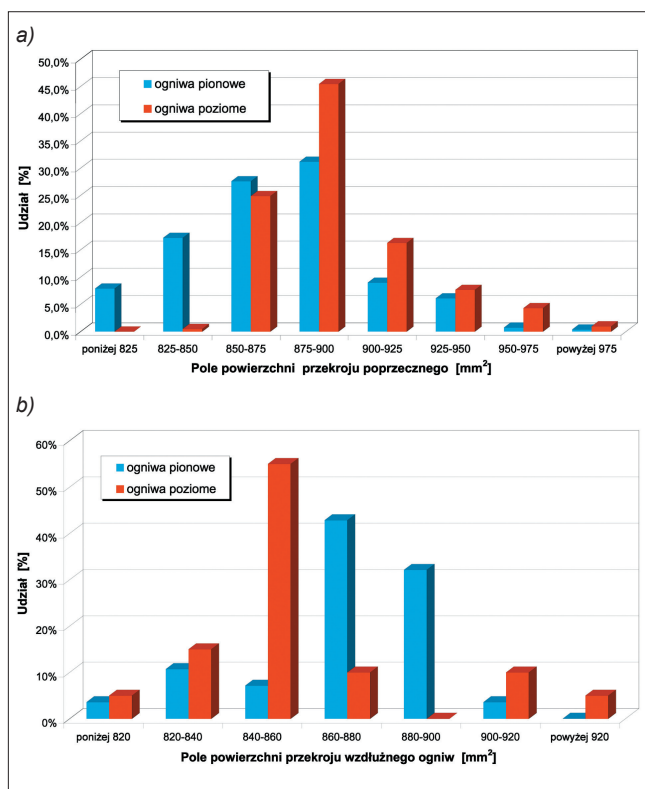
Wartości promieni łuku wewnętrznego ogniw łańcucha wycofanego z eksploatacji wahały się w granicach od ok. 16 do niespełna 19 mm. Różniły się przy tym od -11 do +5% w stosunku do wartości średniej wyznaczonej dla ogniw łańcucha nowego. Wzrost wartości tego parametru w stosunku do wartości odniesienia odnotowano w ponad połowie objętych pomiarem ogniw łańcucha wycofanego z eksploatacji.

W przypadku ogniw pionowych dominowały wartości z przedziału 17,5÷18,5 mm (rys. 10b), przy czym udział wartości większych od wartości średniej określonej dla ogniw łańcucha nowego wyniósł 46%. Z kolei w ogniwach poziomych udział wartości z tego przedziału był jeszcze większy i wyniósł 65%.

Przegebny ogniw pionowych i poziomych zużywają się więc niejednakowo. Wynika to z prostopadłego usytuowania sąsiadujących ze sobą ogniw łańcucha, a przez to i sposobu obracania się ogniw przy przechodzeniu przez bęben łańcuchowy (ogniwa wykonują obrót w płaszczyźnie pionowej, przy czym dla ogniw pionowych jest to ruch w płaszczyźnie wyznaczonej przez osie podłużne ich części walcowych, a dla ogniw poziomych w płaszczyźnie równoległej do osi torusów). Skutkuje to dużymi zmianami kształtu powierzchni wewnętrznej torusów ogniwa oraz wymiarów ogniw poziomych.

Pole powierzchni przekroju poprzecznego części walcowych ogniw łańcucha nowego ( $S_1$ ) kształtowało się w granicach 926÷1020 mm<sup>2</sup>, przy czym szacowana wartość tego parametru dla znormalizowanego zakresu grubości ogniwa zawierała się w przedziale 855÷962 mm<sup>2</sup> (tabl. II).

W ogniwach łańcucha wycofanego z eksploatacji odnotowano spadek wartości pola powierzchni przekroju poprzecznego w porównaniu z ogniwami łańcucha nowego w zakresie od 4,5 do blisko 12%. Dla zdecydowanej większości ogniw pionowych i poziomych (odpowiednio 30 i 45%) pole powierzchni analizowanych przekrojów części walcowych mieściło się w granicach 875÷900 mm<sup>2</sup> (rys. 11a). W 30% analizowanych ogniw pionowych pole powierzchni przekroju poprzecznego znajdowało się poza zakresem wynikającym z określonej w normie tolerancji grubości ogniw łańcucha 34 × 126 mm (poniżej dolnego wymiaru granicznego).



Rys. 11. Rozkład rzeczywistych wartości pola przekroju; a) poprzeczno części walcowych, b) torusów – ogniwi łańcucha wycofanego z eksploatacji

W 93% rozpatrywanych przekrojów wartość tego parametru była mniejsza od minimalnej wartości wyznaczonej dla ogniwi łańcucha nowego.

W ogniwach poziomych udział wartości spoza pola tolerancji był pięciokrotnie mniejszy. Jednak w aż 88% analizowanych przypadków odnotowano, że wartości pola powierzchni przekroju poprzecznego części walcowych były mniejsze od wartości minimalnej uzyskanej dla ogniwi łańcucha nowego. Świadczy to o znacznie większej intensywności zużycia się ogniwi pionowych łańcucha eksploatowanego w przenośnikach zgrzeblowych, a przez to i znacznie większym spadku wytrzymałości, co może prowadzić do ich rozerwania. Jest to spowodowane głównie zużyciem ściernym na skutek tarcia o blachę ślizgową rynnościaru przenośnika w trakcie ruchu łańcucha zgrzeblowego.

Wartości pola przekroju wzdłużnego ( $S_2$ ) analizowanych ogniwi wahały się w granicach 795÷939 mm<sup>2</sup>. Większe spadki tych wartości odnotowano w ogniwach poziomych; dochodziły one nawet do 11% wartości średniej wyznaczonej dla ogniwi łańcucha nowego. Dla ok. 75% przekrojów ogniwi pionowych pole powierzchni zawierało się w granicach 860÷900 mm<sup>2</sup> (rys. 11b). W ok. 80% ogniwi pionowych pole powierzchni przekroju wzdłużnego w płaszczyźnie równoległej do osi torusów ogniwa mieściło się w polu tolerancji wynikającym z dopuszczalnych odchyłek grubości ogniwa. Spośród ogniwi poziomych w zakresie tym mieściło się tylko 40%. Jednocześnie, zarówno dla ogniwi poziomych, jak i pionowych, wartości tego parametru były mniejsze od minimalnej wartości uzyskanej podczas pomiaru ogniwi łańcucha nowego. Ogniwa poziome cechują się więc większymi zmianami przekroju poprzecznego torusów w porównaniu z ogniwami pionowymi. Przyczyny tego wyjaśniono przy okazji omawiania rezultatów pomiaru promienia łuku wewnętrznego ogniwi.

## Podsumowanie

Cięgna łańcuchowe stanowią niewralgiczny – z punktu widzenia eksploatacji – element przenośnika zgrzeblowego.

Stan techniczny łańcucha decyduje bowiem w dużym stopniu o niezawodności przenośnika zgrzeblowego, a w konsekwencji – o zdolnościach produkcyjnych kompleksu zmechanizowanego, którego przenośnik ten jest elementem.

Pomiary cech geometrycznych łańcucha ogniwowego górniczego 34 × 126 mm wycofanego z użytkowania po półrocznej eksploatacji w wysoko wydajnym ścianowym przenośniku zgrzeblowym wykazały wyraźne zmiany geometrii ogniwi. Zmiany te spowodowane były zużyciem ściernym (tarciami w przegubach ogniwi, w zazębieniu – podczas nabiegania i zbiegania łańcucha z bębna łańcuchowego – oraz tarciami ogniwi pionowych o rynny przenośnika zgrzeblowego), odkształceniami plastycznymi (wydłużeniami trwałymi części walcowych oraz odkształceniami torusów ogniwi w miejscu ich wzajemnego kontaktu oraz kontaktu z flankami zębów bębnow łańcuchowych) oraz procesami korozyjnymi wynikającymi z agresywnego środowiska pracy.

Podziałka łańcucha jest aktualnie jedynym mierzalnym w warunkach dołowych parametrem, na podstawie którego kwalifikuje się łańcuch do dalszej eksploatacji. W rozpatrywanym przypadku podziałka ta uległa zwiększeniu przeciętnie o 1,5%, a maksymalnie – o ok. 2% w stosunku do jej wartości nominalnej. Chociaż średni wzrost podziałki łańcucha nie przekroczył wartości 2,5%, powyżej której uważa się, że łańcuch powinien zostać wymieniony, w przenośniku o długości 250 m wydłużenie trwałe łańcucha zgrzeblowego o tak zwiększonej podziałce wyniosło 7,5 m. W celu zapewnienia odpowiedniego napięcia wstępnego łańcucha zgrzeblowego musiał on być wielokrotnie skracany.

Zmiany geometrii ogniwi łańcucha w trakcie eksploatacji nie ograniczają się do jego trwałego wydłużenia, lecz dotyczą również innych cech geometrycznych ogniwi, takich jak promienie łuku zewnętrznego i wewnętrznego czy pola powierzchni ich charakterystycznych przekrojów. Parametry te mają istotny wpływ m.in. na wytrzymałość łańcucha.

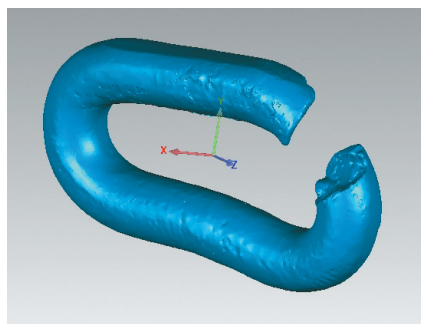
Promień łuku zewnętrznego ogniwi (zwłaszcza ogniwi poziomych) ma istotne znaczenie ze względu na współpracę z bębnum łańcuchowym. Dlatego norma określa dla poszczególnych wielkości łańcucha wartość nominalną oraz tolerancję tego wymiaru. W ogniwach łańcucha wycofanego z eksploatacji wartość średnia promienia łuku zewnętrznego była mniejsza o 3% w stosunku do wartości określonej przez normę oraz wymiarów ogniwi łańcucha nowego (zmniejszenie tego wymiaru dochodziło maksymalnie do 9%). Było to spowodowane przede wszystkim zużyciem ściernym oraz odkształceniem plastycznym ogniwi na skutek ich współdziałania z zębami bębnow łańcuchowych przenośnika zgrzeblowego przekazujących napęd na łańcuch zgrzeblowy.

Postępujące w trakcie eksploatacji zużycie ogniwi łańcucha prowadzi do zmniejszenia pola przekroju poprzecznego części walcowych oraz ich przekroju wzdłużnego (torusów). Efekt ten wywołany jest przez zużycie ściernie oraz odkształcenia plastyczne (wydłużenia części walcowych oraz deformacje powierzchni torusów) ogniwi poddawanych znacznym obciążeniom.

W przypadku badanych odcinków łańcucha zmniejszenie pola powierzchni przekroju poprzecznego części walcowych ogniwi dochodziło nawet do 12% w odniesieniu do wartości tego parametru wyznaczonej dla ogniwi łańcucha nowego. Ubytek materiału w przekroju poprzecznym ogniwa prowadzi do obniżenia wytrzymałości łańcucha na rozciąganie, w efekcie czego może dojść nawet do jego rozerwania. Spadek wartości pola przekroju wzdłużnego ogniwi dochodził natomiast do 11% wartości wyznaczonej dla ogniwi łańcucha nowego. Dotyczyło to głównie ogniwi poziomych. Skutkiem zużycia przegubów ogniwi łańcucha był również wzrost wartości promienia ich łuku wewnętrznego. Zużycie części wewnętrznej torusów ogniwi prowadzi do ich osłabienia, a nawet zniszczenia (rys. 12).

Przeprowadzone analizy wskazują, że pomiar podziałki łańcucha nie jest wystarczający z punktu widzenia kwalifikacji łańcucha ogniwowego do dalszej eksploatacji. Na trwałość łańcucha oraz współpracujących z nim elementów

przeniesienia napędu wpływają bowiem również inne cechy geometryczne ogniw. Niezbędne jest zatem zastosowanie metod pozwalających na kompleksowy pomiar cech geometrycznych ogniw łańcuchów górniczych w warunkach eksploatacyjnych.



Rys. 12. Model 3D rozerwanego ogniwa łańcucha 34 × 126 mm uzyskany w wyniku skanowania skanerem światła strukturalnego

Wykorzystanie metody światła strukturalnego do zadań metrologicznych realizowanych w podziemiach kopalń jest bardzo ograniczone, a w wielu wypadkach niemożliwe ze względu na niesprzyjające warunki środowiskowe (wysoką temperaturę, wilgotność czy zapylenie). Nie znajdzie ona zatem szerokiego zastosowania do oceny zużycia eksploatacyjnego części maszyn górniczych, w tym łańcuchów ogniowych przenośników zgrzeblowych, bezpośrednio w miejscach zastosowania – w kopalni. Z powodzeniem może być jednak stosowana w badaniach elementów maszyn górniczych wycofanych z eksploatacji, realizowanych w laboratoriach, u producentów maszyn, jak również u użytkowników – np. w warsztatach kopalnianych.

W odniesieniu do łańcuchów górniczych przenośników zgrzeblowych pomiar metodą światła strukturalnego może obejmować ogniwa bądź odcinki łańcucha pobrane w tym celu w trakcie pracy lub relokacji przenośnika do nowego przodka.

#### LITERATURA

1. Bubicz M. „Szybkie prototypowanie. Cz. 2: Skanery 3D. Wstęp do inżynierii odwrotnej”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* (czerwiec 2008): s. 12÷21.
2. Cheluszka P. „*Metrologia organów roboczych górniczych maszyn urabiających*”. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2012.
3. Ciupek M. „Pomiar cech geometrycznych elementów maszyn górniczych z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego”. Praca dyplomowa magisterska wykonana w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej pod kierunkiem dra hab. inż. Piotra Cheluszki, prof. Pol. Śl., Gliwice, 2014.
4. Dolipski M., Cheluszka P., Giza T., Sobota P. „Identyfikacja cech geometrycznych gniazd bębnow łańcuchowych przenośników zgrzeblowych”. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 4 (2012): s. 17÷28.
5. Dolipski M., Miłkuła S., Remiorz E., Sobota P. „Wytyczne do prawidłowej eksploatacji bębnow łańcuchowych w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych”. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 12 (2012): s. 15÷24.
6. Rychlik M. „Skanery 3D – wrota do wirtualnego świata”. *Design News Polska* (kwiecień 2007): s. 36÷40.
7. Sobota P. „Obciążenie gniazd bębna łańcuchowego współpracującego z łańcuchem zużytym”. *Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych*. Kraków 2013, s. 366÷374.
8. Instrukcja obsługi programu OPTOCAT 2013.
9. PN-G-46701:1997 Łańcuchy ogniowe górnicze
10. <http://www.aicon3d.de>
11. <http://www.fasing.pl>
12. <http://www.jdt.de>
13. <https://mining.cat.com/products/underground-mining/longwall/conveyor-systems/face-conveyors>
14. <http://www.ryfama.rybnik.pl>
15. <http://www.thiele.de>