

# Podstawowe formy degradacji własności użytkowych łańcuchów ogniowych górniczych stosowanych w maszynach ścianowych

dr inż. Eryk Remiorz  
Politechnika Śląska  
dr inż. Stanisław Mikuła

## Streszczenie:

Łańcuchy ogniowe górnicze stosowane są w układach pociągowych maszyn górniczych ścianowych, takich jak przenośniki ścianowe, strugi węglowe czy kombajny ścianowe z łańcuchowym układem posuwu. Ze względu na trudne warunki pracy panujące w wyrobiskach ścianowych następuje szybka degradacja własności użytkowych łańcuchów. W artykule przedstawiono podstawowe procesy niszczące prowadzące do degradacji własności użytkowych łańcuchów ogniowych górniczych oraz dokonano charakterystyki pęknięć zmęczeniowych ogniów tych łańcuchów. Przedstawiono przykłady typowych uszkodzeń ogniów łańcuchów pociągowych stosowanych w maszynach górniczych.

## Abstract:

Round link chains are used in haulage systems of longwall mining machines such as armoured face conveyors, plow systems or shearers with chain haulage systems. Due to the difficult working conditions in longwall excavations the rapid degradation of operational properties of chains occurs. The article presents the basic destructive processes leading to the degradation of the operational properties of mining haulage chains and the characteristics of fatigue cracks in the chain links. Examples of typical damage of the round chain links used in the longwall machinery are also presented.

Słowa kluczowe: maszyny ścianowe, łańcuch ogniowy, pęknięcia zmęczeniowe, korozja, zużycie ścierne, deformacje plastyczne

Keywords: longwall machines, round link chain, fatigue cracks, corrosion, abrasion, plastic strain

## 1. Wprowadzenie

Łańcuchy ogniowe górnicze stosowane są w układach pociągowych maszyn górniczych służących do transportu urobku oraz do urabiania calizny węglowej. Do pierwszej grupy zaliczane są przenośniki zgrzeblowe ścianowe i podścianowe, natomiast do drugiej – strugi węglowe oraz kombajny ścianowe z łańcuchowym mechanizmem posuwu [18]. Ze względu na znaczną długość wyrobisk ścianowych, która obecnie często jest większa od 300 m oraz duże moce napędów maszyn ścianowych stosowane są łańcuchy ogniowe górnicze o coraz większych wymiarach. Na przykład największy polski producent łańcuchów górniczych firma Fasing S.A. oferuje łańcuchy ogniowe okrągłe o wielkości nawet 42x146, którego masa jednostkowa wynosi 36 kg/m a obciążenie rozrywające jest większe od 3000 kN [17]. Większe łańcuchy produkowane są na indywidualne zamówienie.

W czasie eksploatacji łańcuchy pociągowe maszyn górniczych pracują w bardzo trudnych warunkach związanych z dużym zanieczyszczeniem oraz wilgocią panującą w wyrobiskach podziemnych. Ponadto narażone są na obciążenie dynamiczne o bardzo dużych wartościach [4, 6, 10, 16]. Przykładowe przebiegi obciążenia dynamicznego w łańcuchu pociągowym w przenośniku zgrzeblowym o długości 300 m uzyskane za pomocą zweryfikowanego doświadczalnie modelu matematycznego przedstawiono na rysunku 1 [5]. Wymienione powyżej czynniki powodują, że ogniwa łańcucha narażone są na znaczne obciążenia zmęczeniowe oraz bardzo intensywne oddziaływania ścierne i korozyjne [8]. W efekcie występuje przyspieszona degradacja własności użytkowych łańcuchów pociągowych maszyn górniczych prowadząca nawet do zerwania łańcuchów. Awarie tego typu stanowią duże

zagrożenie dla górników pracujących w wyrobiskach ścianowych i powodują znaczne straty ekonomiczne związane z zatrzymaniem wydobycia. Mimo, że łańcuchy górnicze wytwarzane są z wysokojakościowych stali stopowych według specjalnej technologii, co ma zapewnić spełnienie wysokich wymagań wytrzymałościowych i trwałościowych, to zerwania łańcuchów są najczęściej występującą przyczyną awarii rozpatrywanych maszyn transportowych i urabiających. Tempo degradacji własności użytkowych łańcuchów pociągowych, zwłaszcza wytrzymałości i trwałości zmęczeniowej jest bardzo zróżnicowane w zależności od warunków górniczo-geologicznych i charakterystyki środowiska górniczego.

Zerwania łańcuchów pociągowych maszyn górniczych następują najczęściej bez wyraźnych uprzedzających symptomów, co uniemożliwia podejmowanie działań zapobiegawczych i dodatkowo zwiększa zagrożenie.

Degradacja własności użytkowych łańcuchów górniczych wynika z postępujących ubytków zużyciowych ogniwi, ich deformacji plastycznych oraz z rozwijania się pęknięć zmęczeniowych w krytycznych przekrojach ogniwi. Podczas nagłych zerwań łańcuchów wyzwolana jest bardzo duża energia zmagazynowana w odkształconych sprężystości długiach odcinkach łańcuchów przenoszących bardzo duże obciążenia siłami wzdłużnymi.

## **2. Podstawowe procesy niszczące prowadzące do degradacji własności użytkowych łańcuchów górniczych**

Główne procesy niszczące w przypadku łańcuchów ogniwowych górniczych, takie jak zużycie ściernie, niszczenie korozyjne i wyczerpywanie się rezerwy zmęczeniowej powodowane rozwojem pęknięć zmęczeniowych cechują się dużą wzajemną synergią, mocno wzajemnie się intensyfikując. Prowadzi to do znacznego obniżenia niezawodności eksploatacyjnej rozpatrywanych maszyn ścianowych i do wzrostu częstotliwości awaryjnych zerwań łańcuchów.

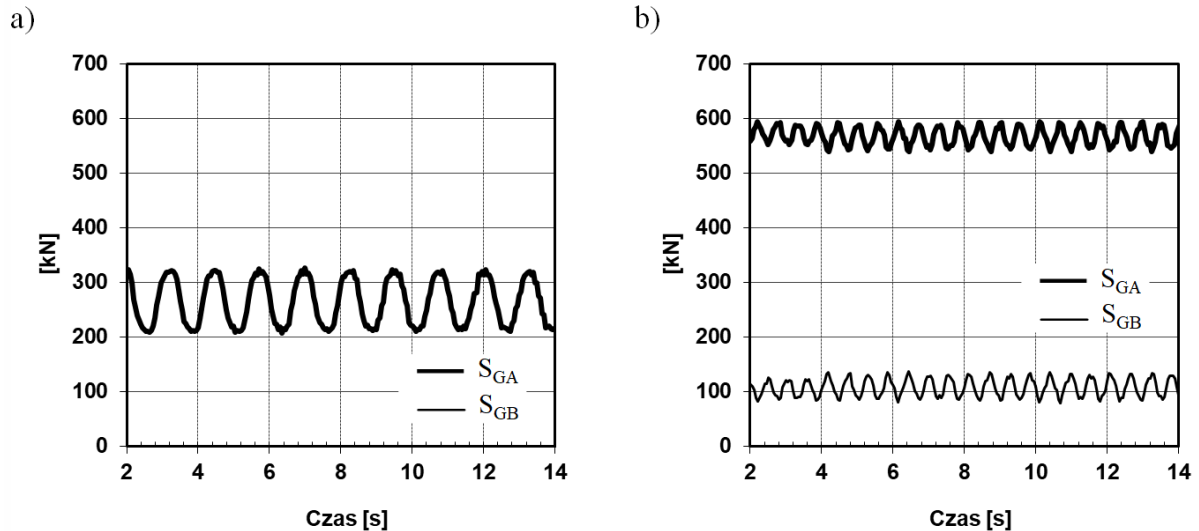
Klasyczna szeregową strukturą niezawodnościową elementów ciągów łańcuchowych powoduje, że o niezawodności ciągu decydują elementy o najniższych własnościach mechanicznych, zaś rezerwa elementów o wysokich własnościach może nigdy nie być w pełni wykorzystana.

W procesie zmęczeniowego niszczenia elementów maszyn wyróżnia się okres inkubacji mikropęknięcia, okres stopniowego rozwoju rozmiaru (głębokości) pęknięcia, aż do osiągnięcia wielkości krytycznej, po czym następuje okres gwałtownego rozwoju pęknięcia prowadzący do pełnego, wskrośnego przełomu w krytycznym przekroju nośnym [7]. W przypadku ogniwi łańcuchów górniczych ogniska pęknięć zmęczeniowych występują najczęściej w kilku charakterystycznych miejscach. Wynika to z rozkładu naprężeń w ogniwach obciążonych siłą rozciągającą (rys. 2) [9].

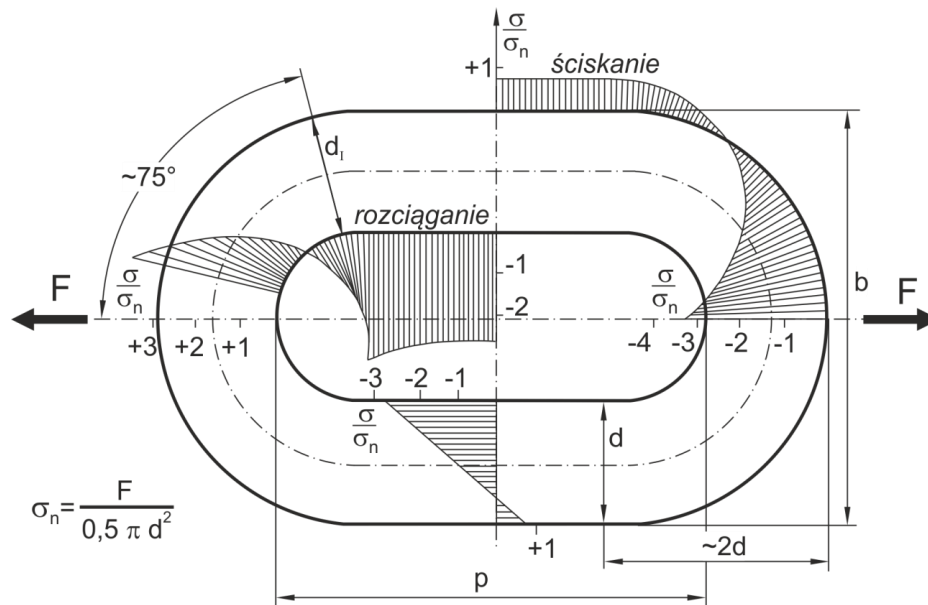
Rozkład naprężeń w ogniwie łańcuchowym w rzeczywistych warunkach jest bardzo złożony, gdyż na rozkład naprężeń od zewnętrznego obciążenia siłą wzdłużną nakładają się znaczące naprężenia własne uformowane w ogniwie w wyniku obróbki cieplnej, a zwłaszcza podczas zabiegu tzw. kalibrowania. Zabieg ten polega na odkształcaniu ogniwi, aż do wywołania znaczących odkształceń trwałych ogniwi objawiających się znacznym wydłużeniem podziałki. Po zdjęciu obciążenia kalibrującego, w strefach odkształceń plastycznych, wskutek sprężystego częściowego "powrotu" wydłużenia kalibrującego, powstają naprężenia własne ściskające, co jest korzystne z punktu widzenia trwałości

zmęczeniowej łańcuchów oraz uformowania się pożądaných cech geometrycznych ogniów, zwłaszcza w przegubach.

Rozkład naprężeń przedstawiony na rysunku 2, aczkolwiek uproszczony, gdyż nie uwzględnia udziału naprężeń własnych, dość dobrze koreluje z położeniami typowych przełomów zmęczeniowych, których przykłady (dla ogniów łańcucha 24x86) przedstawiono na rysunku 3.



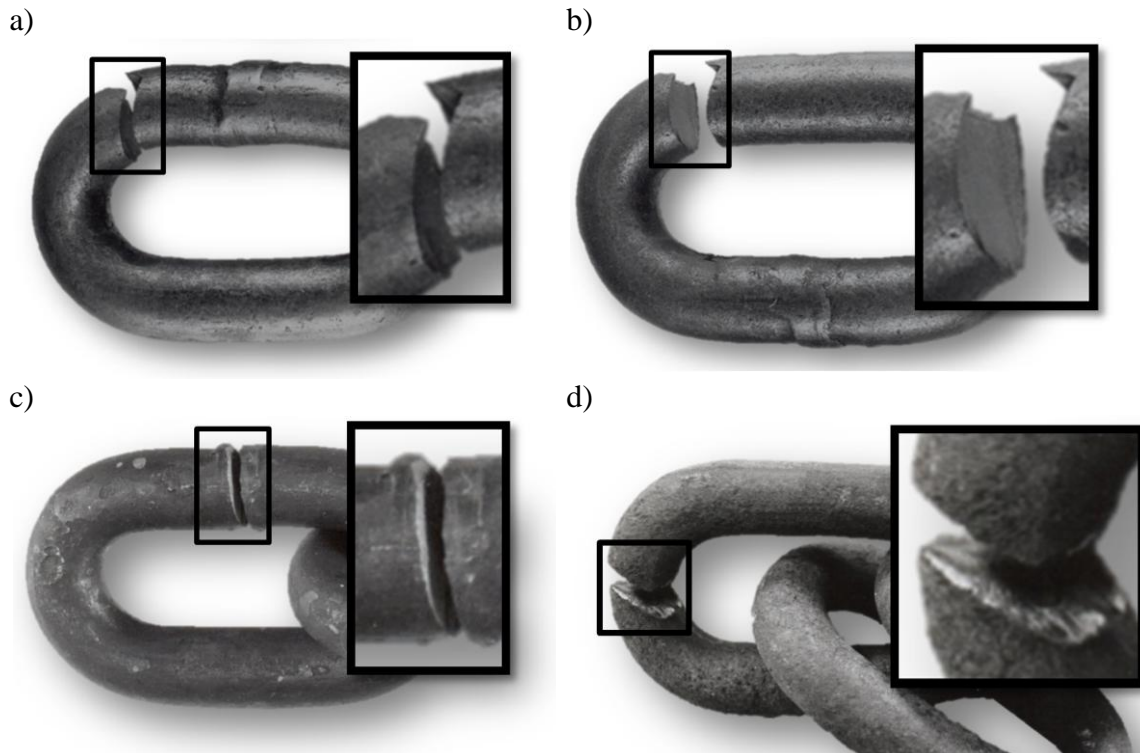
Rys. 1. Przykładowy przebieg obciążenia dynamicznego w łańcuchu w miejscu jego nabiegania na bęben łańcuchowy napędu głównego ( $S_{GA}$ ) i w miejscu jego zbiegania z bębna łańcuchowego napędu pomocniczego ( $S_{GB}$ ) w przenośniku zgrzeblowym o długości 300 m: a) stan stałego luzowania łańcuchów ( $S_{GB} = 0$ ), b) stan nieluzowania łańcuchów ( $S_{GB} > 0$ ) [5]



Rys. 2. Rozkład naprężeń w ogniwie łańcucha po zewnętrznej i wewnętrznej konturze ogniwa oraz w przekroju poprzecznym przedstawiony w wartościach względnych w stosunku do nominalnych naprężeń normalnych w odcinkach prostych ogniwa [9]

Zupełnie inny rodzaj pęknięć podczas eksploatacji można obserwować na odcinkach prostych ogniów, w strefie kontaktu łańcuchów z rynnami przenośników ścianowych lub z prowadzeniem rurowym łańcucha w przypadku maszyn urabiających.

Wskutek dużego tarcia odcinków prostych ogniów tzw. pionowych, na przykład o blachy denne rynien, zwłaszcza na zagięciach rynnociągu, dochodzi do znacznego powierzchniowego ciernego nagrzewania się powierzchni ogniów, które następnie są intensywnie chłodzone, między innymi, poprzez odpływ ciepła do pozostałych części ogniów lub innych elementów przenośnika oraz przez chłodzenie od urobku, zwłaszcza wilgotnego. Następujące po sobie cykle zagrzewania ciernego i chłodzenia prowadzą w pewnych warunkach do powstawania tzw. martenzytu tarcia. Struktura ta cechuje się dużą kruchością i łatwo pęka przy przeciążaniu ogniwa. W ten sposób powstaje charakterystyczna siatka licznych, płytkich pęknięć powierzchniowych, prostopadłych do powierzchni ogniów i zawsze prostopadłych do kierunku poślizgu [12].



Rys. 3. Typowe położenie przełomów zmęczeniowych ogniów łańcuchów górniczych: a) przełom w łuku po stronie zgrzeiny (około 50% przypadków), b) przełom w łuku po stronie przeciwnej do zgrzeiny (około 30% przypadków), c) przełom w zgrzeinie, w strefie wpływu ciepła oraz na prostych odcinkach ogniów (około 15% przypadków), d) przełom w osi ogniwa i inne formy przełomów (około 5% przypadków) [9]

Pęknięcia te stanowią ostre karby, od których mogą rozwijać się następnie wskrośne pęknięcia niszczące. Opisaną siatkę pęknięć o charakterze zmęczenia cieplnego przedstawiono na rysunku 4. Pęknięcia te wyraźnie mogą być uwidocznione np. podczas prób przeginania eksploatowanych pojedynczych ogniów pionowych w pryzmie  $90^\circ$  (rys. 5).

Gdy w czasie eksploatacji łańcucha pociągowego występują oddziaływania korozyjne, wówczas pęknięcia zmęczeniowe są dodatkowo silnie intensyfikowane wżerami korozyjnymi (rys. 6), gdyż strefy pęknięć zmęczeniowych mają silnie zwiększoną aktywność chemiczną. Można wtedy obserwować zjawisko pęknięcia korozyjnego ogniwa.

Zużycie ściernie ogniwa łańcucha występuje szczególnie w przegubach ogniów to znaczy na wewnętrznej części łuków ogniów. Powoduje to zwiększenie podziałki ogniów, co wpływa na zmianę wartości napięcia wstępnego łańcuchów. Zmiana podziałki łańcucha jest również przyczyną wzrostu obciążeń dynamicznych występujących podczas współdziałania ogniów z zębami kół napędowych [3]. Wzrasta więc cykliczne obciążenie ogniów, co intensyfikuje

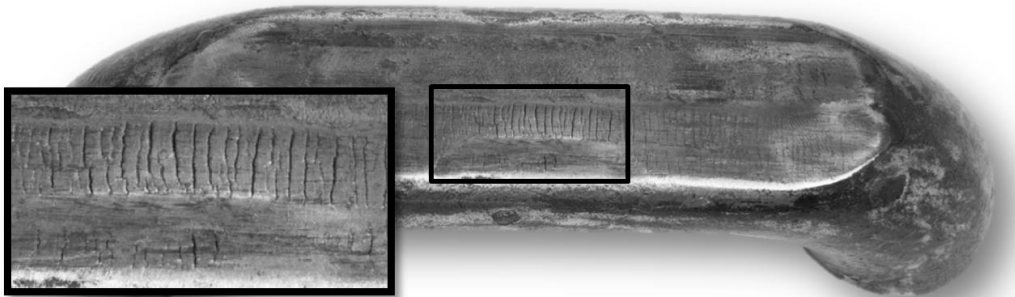


niszczenie zmęczeniowe i zużycie ściernie. Ujawnia się wtedy wzajemna synergia wielu procesów niszczących, przyspieszających degradację własności użytkowych łańcuchów.

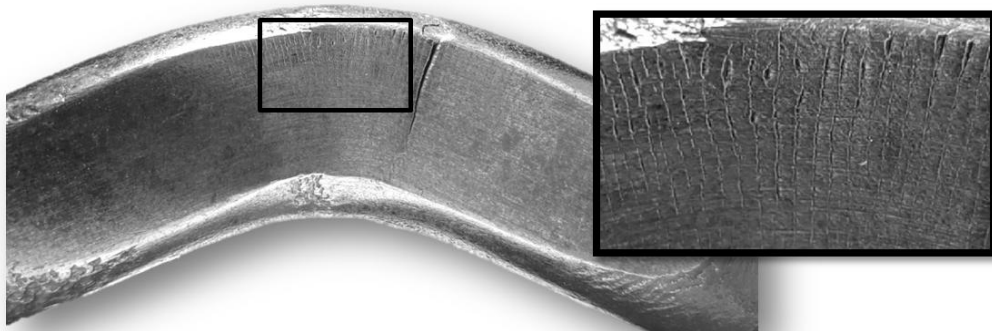
### 3. Charakterystyka pęknięć zmęczeniowych ogniw łańcuchów górniczych

Krytyczny rozmiar pęknięcia zmęczeniowego ogniw łańcuchów górniczych zmieniać się może w szerokich granicach. Przykładowo przy określonych odpowiednimi normami zakresie obciążeń zmiennych przy badaniach testowych dla łańcuchów pociągowych krytyczna głębokość pęknięcia mieści się w granicach od około 10% do 40% przekroju nośnego [9].

Miejsca występowania pęknięć zmęczeniowych ogniw łańcuchów górniczych oraz rozmiar krytycznej wielkości pęknięć zmęczeniowych, od którego następuje proces gwałtownego rozwoju pęknięć prowadzący do zniszczenia ogniwa (całkowitego przełomu) cechują się dużą zmiennością tak w praktyce eksploatacyjnej, jak i podczas badań laboratoryjnych. Wynika to z dużego rozrzutu statystycznego bardzo wielu czynników wpływowych.



Rys. 4. Siatka pęknięć w odcinku prostym ogniwa łańcucha 42x146 powstała w wyniku tworzenia się martenzytu tarcia [opracowanie własne]



Rys. 5. Pęknięcie na odcinku prostym ogniwa łańcucha 34x126 ujawnione w wyniku próby przeginięcia pojedynczego ogniwa w prostokątnej pryzmie [opracowanie własne]

Na położenie i wielkość pęknięcia zmęczeniowego mają wpływ następujące grupy czynników: materiałowe, konstrukcyjne, technologiczne i eksploatacyjne. Rozrzut własności mechanicznych stali używanych do produkcji łańcuchów wynika z rozkładu i wielkości wewnętrznych wad materiału, w tym wtrąceń niemetalicznych, segregacji składu chemicznego oraz zmienności stanu naprężeń własnych. Dodatkowymi czynnikami wpływowymi są odchyłki cech geometrycznych ogniw, obecność wad i defektów powierzchniowych, wpływ środowiska pracy łańcuchów i wpływ elementów

współpracujących z ogniwami. Wymienione czynniki często wzajemnie się wzmacniają, dając w efekcie destrukcyjny efekt synergii.



Rys. 6. Korozja ogniw łańcucha 34x126: a) obraz wżerów korozyjnych na powierzchni ogniwa łańcucha pracującego w środowisku silnie korozyjnym, b) obraz wzajemnego oddziaływania pęknięć na odcinku prostym ogniwa z postępującym niszczeniem korozyjnym [opracowanie własne]

W czasie postępujących pęknięć zmęczeniowych w różnych przekrojach ogniw następują sukcesywnie duże zmiany w rozkładzie naprężeń własnych ukształtowanych w czasie formowania ogniw, obróbki cieplnej łańcuchów oraz w procesie kalibrowania łańcuchów. Zmiany te następują zwłaszcza wtedy, gdy pęknięcia zmęczeniowe rozwijają się w większej liczbie przekrojów ogniw. W takim przypadku jeden z nich staje się w końcowej fazie przekrojem krytycznym. Na rysunku 7 a), b) i c) pokazano przykłady tego typu uszkodzeń w ogniwach łańcuchów górniczych wielkości odpowiednio 30x108, 24x86 oraz 18x64. Z kolei na rysunku 8 przedstawiono sytuację, gdy ostateczne pęknięcie ogniwa i następujące po nim odkształcenie ujawniło istnienie częściowego pęknięcia zmęczeniowego w innym przekroju tego ogniwa. Przedstawiony przykład dotyczy ogniwa łańcucha wielkości 30x108.

Szczególnych trudności nastręcza wykrywanie pęknięć zmęczeniowych zwłaszcza, gdy występują one w trudnodostępnych miejscach szczególnie na łukach ogniw. W praktyce eksploatacyjnej można obserwować często jednoczesne rozwijanie się pęknięć zmęczeniowych w kilku miejscach. Ostateczne zerwanie niszczące ma miejsce w tym przekroju nośnym, w którym pęknięcie najszybciej osiągnie rozmiar krytyczny. Po zerwaniu ogniwa można obserwować niekiedy dodatkowe istniejące pęknięcia poza miejscem ostatecznego zerwania lub wręcz zniszczenia w więcej niż jednym przekroju (rys. 7 i 8).

Przeprowadzając ocenę stanu technicznego łańcuchów należy zwrócić szczególną uwagę na uszkodzenia ogniw w opisanej strefie. Ubytki zużyciowe w strefach łuków ogniw podobnie jak ubytki w przegubach ogniw powodują znaczne zakłócenia we współpracy

z bębnami łańcuchowymi. Prowadzi to do zwiększonych obciążeń dynamicznych ogniwi i kół napędowych oraz wpływa negatywnie na niezawodność łańcucha pociągowego.

Szczególnie złożona sytuacja występuje w warunkach eksploatacyjnych, gdy obciążenia danego ogniwa cechują się bardzo dużą zmiennością, występują okresy postojów oraz chwilowe przeciążenia. Powoduje to, że na przelomach zmęczeniowych ogniwi można zaobserwować często charakterystyczne linie przystankowe. Ich powstaniu sprzyjają zwłaszcza okresy zmniejszonego obciążenia, gdy następują one po chwilowych przeciążeniach. Chwilowe przeciążenie po wywołaniu skokowego przyrostu pęknięcia może powodować efekt lokalnego, chwilowego umocnienia w stanach odkształcenia plastycznego bezpośrednio na froncie pęknięcia. W takich sytuacjach ma miejsce duża zmiana prędkości rozwoju pęknięć zmęczeniowych, nawet do okresowego zatrzymania się rozwoju pęknięcia. Dodatkowo w opisanej sytuacji obecność środowiska o umiarkowanym oddziaływaniu korozyjnym sprzyja powstawaniu linii przystankowych. Przykładowe powierzchnie przelomów zmęczeniowych ogniwi łańcuchowych, które wystąpiły podczas eksploatacji łańcucha 34x126 w przenośniku zgrzeblowym przedstawiono na rysunku 9. Widoczne są liczne linie przystankowe, zaś strefa przelomu zmęczeniowego obejmuje dużą część przekroju, natomiast strefa przelomu resztkowego jest niewielka.

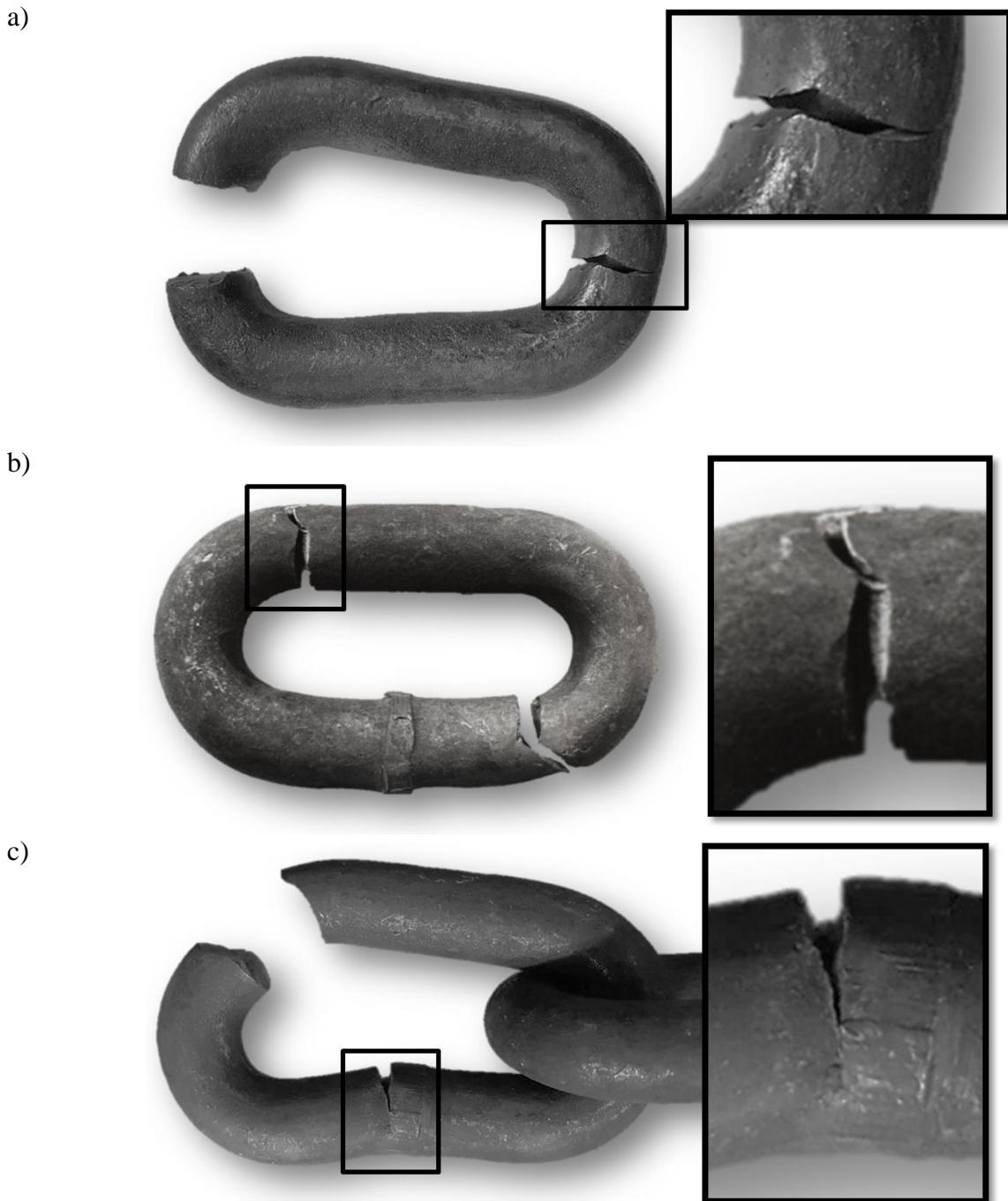
W przypadku występowania intensywnej oddziaływań korozyjnych powierzchnie przelomów zmęczeniowych ogniwi łańcucha z powodu dużej aktywności chemicznej świeżo odsłoniętych powierzchni stali szybko pokrywają się produktami korozji powierzchniowej. Powoduje to, że w takich sytuacjach linie przystankowe na końcowych przelomach ogniwi są trudne do uwidocznienia.

Gdy elementy łańcuchów pociągowych maszyn górniczych pracują w obecności ciekłych czynników środowiska (wody złożowe, woda ze zraszania w procesie urabiania węgla) to wówczas skutek ich cyklicznego wnikania w szczeliny zmęczeniowe występuje tzw. efekt Rebindera w postaci swoistego rozklinowującego działania środowiska korozyjnego. Silnie przyspiesza to proces degradacji własności zmęczeniowych ogniwi łańcucha. Dodatkowym czynnikiem przyspieszającym rozwój pęknięć zmęczeniowych jest fakt, że objętość produktów korozji stali jest zdecydowanie większa od objętości metalu ulegającego korozji. Powoduje to dodatkowy efekt rozklinowujący pęknięcia zmęczeniowe.

W obecności czynników korozyjnych dodatkowo następuje duży spadek wartości krytycznej intensywności naprężeń, od której rozpoczyna się gwałtowny rozwój pęknięć [1, 9, 11]. Stąd też strefa pęknięcia zmęczeniowego ogniwi pracujących w warunkach korozji ma na ogół mniejszy rozmiar niż w przypadku braku oddziaływań korozyjnych. Szczególnie silne oddziaływanie, jak wykazują badania, występuje w przypadku obecności rozpuszczonych chlorków w wodzie kopalnianej, co często ma miejsce w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego.

Podczas znormalizowanych badań testowych łańcuchów prowadzonych przy stałym poziomie określonych normą obciążeń zmiennych i realizowanych bez przerwy na ogół nie ma warunków do powstawania linii przystankowych. Wtedy część zmęczeniowa przelomu ma najczęściej jednorodny charakter, zmianie często ulega jedynie ziarnistość przelomu, na ogół wyraźnie rosnąca wraz z postępującym pęknięciem zmęczeniowym. Strefa całkowitego przelomu jest wtedy zdecydowanie większa, gdyż obciążenia normowe są ustalone na dość wysokim poziomie.

Nawet w znormalizowanych warunkach badań zmęczeniowych ujawnia się znaczny rozrzut wielkości krytycznych rozmiarów pęknięć oraz niekiedy występowanie pęknięć w miejscach innych niż typowe położenie pęknięć. Wynika to z opisanych wcześniej licznych czynników wpływowych o stochastycznym charakterze występowania.

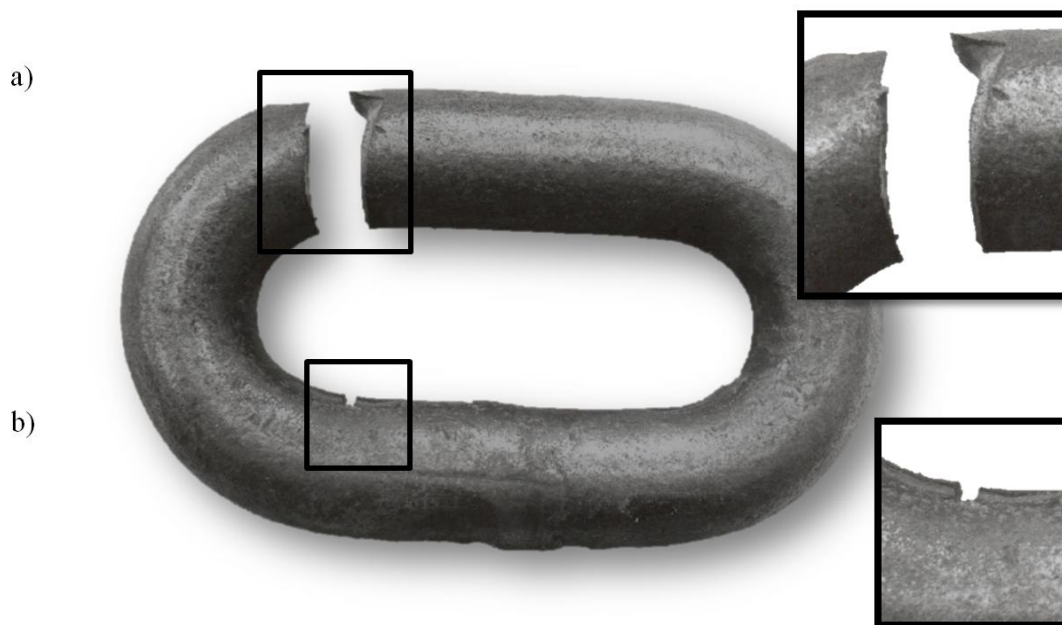


Rys. 7. Przykłady pęknięć zmęczeniowych ogniw w większej liczbie przekrojów dla łańcuchów różnej wielkości: a) po stronie przeciwnej do przełomu wskrośnego widoczne pęknięcie zmęczeniowe w typowym przekroju krytycznym, b) po wskrośnym przełomie po stronie zgrzeiny widoczny pełny wtórny przełom z wyraźnymi cechami przełomu zmęczeniowego, c) przełom wskrośny w przekroju krytycznym oraz przełom w zgrzeinie [opracowanie własne]

Na rysunku 10 pokazano zróżnicowany obraz wielkości krytycznych pęknięć zmęczeniowych ogniw łańcuchowych. Należy zaznaczyć, że wszystkie zaprezentowane obrazy pęknięć dotyczą łańcucha tej samej wielkości (34x126), wykonanego z takiego



samemu gatunku stali, w takich samych warunkach obróbki cieplnej i badanych w tych samych warunkach wielkości obciążeń zmiennych, przy tej samej częstotliwości i na tym samym urządzeniu badawczym. Ze zmiennością obrazu pęknięć ogniwi wiąże się duży rozrzut wartości trwałości zmęczeniowej, to jest liczby pełnych zmęczeniowych cykli badawczych do całkowitego przełomu jednego z ogniwi próbki łańcuchowej o określonej normą liczbie ogniwi. Przełomy zmęczeniowe uzyskiwane w opisanych warunkach badań testowych cechują się na ogół dużym udziałem strefy całkowitego przełomu, co wynika z dużej amplitudy cykli badawczych. W tych warunkach również częściej występują strefy całkowitego przełomu w postaci pęknięcia pod kątem około  $45^\circ$  w stosunku do powierzchni zewnętrznej ogniwa (przykładową strefę całkowitego przełomu ogniwa łańcucha wielkości  $30 \times 108$  przedstawiono na rysunku 11). Świadczy to o dużym udziale naprężeń stycznych w procesie pęknięcia ogniwi łańcuchów, w końcowej fazie ich niszczenia. Początek pęknięcia zmęczeniowego najczęściej ma natomiast kierunek prostopadły do powierzchni ogniwa.



Rys. 8. Przykład pęknięcia zmęczeniowego ogniwa łańcucha w dwóch przekrojach: a) całkowity przełom pod kątem  $45^\circ$  do powierzchni, b) ujawnione pęknięcie zmęczeniowe w innym przekroju [opracowanie własne]



Rys. 9. Widok linii przystankowych na przełomie zmęczeniowym ogniwa łańcucha górniczego [opracowanie własne]

W przypadku ogniwi poziomych łańcuchów, oprócz zużycia w przegubach, w toku eksploatacji przenośników zgrzeblowych i maszyn urabiających występuje intensywny proces

niszczenia na zewnętrznych łukach ogniów w wyniku współpracy z zębami bębnow napędowych w napędzie głównym i pomocniczym. W tych strefach ogniów naciski stykowe są ekstremalnie wysokie. Rosną one silnie wraz ze wzrostem mocy napędów i wartości obciążeń dynamicznych występujących w łańcuchach pociągowych, natomiast są dość nieznacznie łagodzone ze wzrostem wymiarów łańcucha (średnicy pręta ogniów).

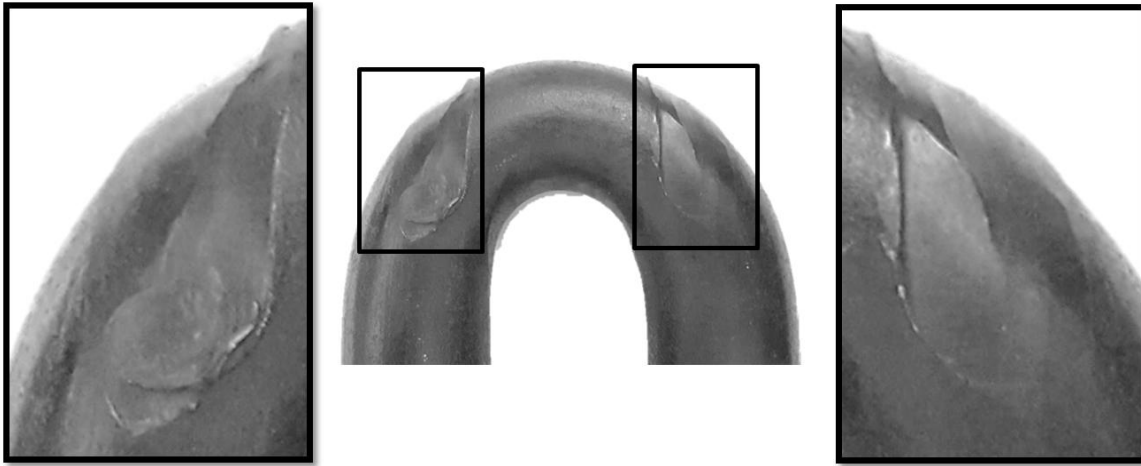
W praktyce eksploatacyjnej maszyn ścianowych rozpatrywane naciski stykowe są na tyle duże, że powodują często znaczne odkształcenia plastyczne materiału na łukach ogniów poziomych już na początkowym etapie eksploatacji. Obserwować można charakterystyczne przewalcowanie materiału ogniów podczas kontaktu ogniów z zębami bębnow. Tworzą się charakterystyczne wypływki materiału ogniwa poza jego początkowy zewnętrzny zarys. Przykład deformacji plastycznych ogniwa łańcucha 34x126 wynikających ze współpracy z kołem łańcuchowym przedstawiono na rysunku 12. Wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych dotyczących współpracy ogniów łańcucha z zębami bębnow napędowych i zużycia ściernego przedstawione są, między innymi, w pracach [2, 3, 14, 15].



Rys. 10. Widok stref zmęczeniowych pęknięć pręta ogniów o zróżnicowanym położeniu ognisk pęknięć i wielkości strefy przełomu zmęczeniowego [opracowanie własne]



Rys. 11. Strefa całkowitego przełomu ogniwa pod kątem około 45° w stosunku do powierzchni [opracowanie własne]



Rys. 12. Obraz deformacji plastycznych powierzchni ogniwa poziomego na skutek wysokich obciążeń stykowych wynikających ze współpracy z kołem łańcuchowym [opracowanie własne]

Kolejne cykle lokalnych odkształceń plastycznych powodują, że materiał ogniwa w strefie łuków traci posiadany na początku zapas plastyczności. Powstają wówczas strefy o znacznie powiększonej skłonności do kruchego pęknięcia. Tworzące się uskoki i wypłytki na powierzchni ogniwa stają się silnymi koncentratorami naprężeń (karbami), od których inicjowane mogą być pęknięcia zmęczeniowe. Na rysunku 13 pokazano przykład pęknięcia eksploatacyjnego ogniwa łańcucha 34x126, którego początkiem rozwoju był karb od zużycia na łuku, w miejscu współpracy z zębami bębna łańcuchowego.

Z opisanym mechanizmem zużycia łańcuchów wiąże się racjonalne zalecenie, aby przy alokacji wyposażenia ściany stosować odwracanie łańcucha po określonym czasie eksploatacji tak, aby ogniwa poziome przyjęły pozycję ogniwa pionowych. W tym celu zaleca się obrócić łańcuch wokół jego osi o  $90^\circ$ . Służy to również korzystnie ogniwom pionowym, w których pojawia się siatka pęknięć tarciovych opisanych wcześniej. Również celowym jest stosowanie w przenośnikach zgrzeblowych odwracania łańcucha w układzie przód-tył oraz w mniejszym stopniu odwracanie łańcucha o  $180^\circ$  wokół osi podłużnej. Skuteczność tych zabiegów jest potwierdzona praktycznie przez użytkowników rozpatrywanych maszyn ścianowych.



Rys. 13. Przełom ogniwa poziomego w strefie ubytków zużyciowych powstałych na skutek współpracy z zębami bębna łańcuchowego [opracowanie własne]

## 4. Podsumowanie

Łańcuchy ogniwoe górnicze stosowane w układach pociągowych maszyn ścianowych są narażone na działanie bardzo dużego obciążenia dynamicznego oraz wielu procesów niszczących, takich jak korozja, zużycie ściernie, odkształcenia plastyczne czy pęknięcia zmęczeniowe.

Spośród niszczących procesów eksploatacyjnych rozwijające się pęknięcia zmęczeniowe ogniw mają szczególne znaczenie ze względu na trudności w ich ujawnianiu w warunkach wyrobisk podziemnych. Skuteczne i wczesne wykrywanie rozwijających się pęknięć zmęczeniowych oraz ubytków zużyciowych ogniw łańcuchów umożliwia podejmowanie racjonalnych decyzji dotyczących konieczności ich wymiany, przyczyniając się do zmniejszenia zagrożeń wynikających z nagłych zerwań łańcuchów oraz do ograniczenia strat postojowych maszyn górniczych.

W celu wydłużenia czasu eksploatacji łańcucha ogniwoego górniczego pracującego w przenośnikach zgrzeblowych zaleca się jego odwracanie po określonym okresie użytkowania (obrót wokół osi podłużnej o  $90^\circ$  lub  $180^\circ$ ). Korzystne jest również odwrócenie łańcucha w układzie przód-tył. Spowoduje to taką zmianę położenia każdego ogniwa, że jego część łukowa znajdująca się pierwotnie od strony napędu wysypowego zajmie w nowym położeniu miejsce od strony napędu zwrotnego.

Łańcuchy pociągowe maszyn ścianowych powinny być poddawane w czasie eksploatacji ocenie stopnia degradacji ich własności użytkowych. Jest to szczególnie istotne, gdy planowane jest ponowne wykorzystanie łańcucha w nowej ścianie. Jednakże ze względu na dużą masę jednostkową łańcuchów pociągowych (często większą od  $30 \text{ kg/m}$ ) bardzo duży problem stanowi manipulowanie łańcuchem w taki sposób, aby umożliwić dostęp do poszczególnych jego ogniw. Należy do tego celu wykorzystać odpowiednie stanowisko diagnostyczne, które zostanie przedstawione w oddzielnym opracowaniu.

## Literatura

- [1] Badanie własności mechanicznych łańcucha przenośnika ścianowego. Praca naukowo-badawcza NB-105/RG-2/2005, Gliwice 2005 (praca niepublikowana)
- [2] Dolipski M., Remiorz E., Sobota P., Osadnik J.: Komputerowe badania wpływu zużycia den gniazd i flanki zębów bębna na położenie ogniw w gniazdach bębna łańcuchowego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2011, nr 4
- [3] Dolipski M., Remiorz E., Sobota P.: Determination of dynamic loads of sprocket drum teeth and seats using mathematical model of a scraper conveyor. *Archives of Mining Sciences* 2012, volume 57 issue 4
- [4] Dolipski M., Remiorz E., Sobota P.: Dynamics of Non-Uniformity Loads of AFC Drives. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 59, Issue 1, 2014
- [5] Dolipski M., Remiorz E.: *Nadążne napinanie łańcuchów w przenośnikach ścianowych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016
- [6] Eszczin E. K.: *Dynamika skrebkovykh konweerov*. *Wiestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Techniczeskogo Universiteta*, Nr 1, 2015
- [7] Kocańda S.: *Zmęczeniowe niszczenie metali*. WNT, Warszawa 1972



- [8] Kotwica K., Furmanik K., Scherf B.: Wpływ warunków pracy na zużycie i trwałość ciągów łańcuchowych zgrzeblowych przenośników ścianowych w wybranych kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy 2011, T.67, nr 11
- [9] Mikuła S.: Trwałość zmęczeniowa ciągów łańcuchowych górniczych maszyn urabiających i transportowych. Prace Badawcze CMG Komag, Gliwice 1978
- [10] Nie R., He B., Zhuang D., Li G.: Modelling of the Transmission System in Conveying Equipment Based on Euler Method with Application. Journal of Multi-body Dynamics, No. 3, 2014
- [11] Ocena własności użytkowych łańcucha górniczego przenośnika zgrzeblowego Rybnik 295/842/BP. Praca naukowo-badawcza NB-189/RG-2/2004, Gliwice 2004 (praca niepublikowana)
- [12] Pawlukiewicz B., Wiedermann J.: Mechanizm niszczenia ogniw łańcuchów górniczych podczas eksploatacji. Inżynieria Materiałowa 1998, R. XIX, nr 5
- [13] Rykaluk K.: Pęknięcia w konstrukcjach stalowych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2000
- [14] Wieczorek A.N.: Comparative studies on the wear of ADI alloy cast irons as well as selected steels and surface-hardened alloy cast steels in the presence of abrasive. Archives of Metallurgy and Materials 2017 vol. 62 iss. 1
- [15] Wieczorek A.N.: Influence of Shot Peening on Abrasion Wear in Real Conditions of Ni-Cu-Ausferritic Ductile Iron. Archives of Metallurgy and Materials, 2016 vol. 61 iss. 4
- [16] Wölfe M., Flöte K.: Causes of vibration and stress loadings of chain-operated face equipment resulting from vibration. Vorträge anlässlich des zweiten internationalen Kolloquiums Hochleistungs-Strebbetriebe. RWTH Aachen, 13. und 14. Juni 2000
- [17] [http://www.fasing.pl/lancuchy\\_ogniwowe\\_gornicze\\_okragle](http://www.fasing.pl/lancuchy_ogniwowe_gornicze_okragle) (21.09.2017)
- [18] [www.kopex.com.pl/upload/user/image/MIKRUS\\_GU%C5%81\\_500\\_PL.pdf](http://www.kopex.com.pl/upload/user/image/MIKRUS_GU%C5%81_500_PL.pdf) (21.09. 2017)

*Czy wiesz, że ....*

*...w kopalni węgla kamiennego Kotinskaya AO SUEK-Kuzbass w rejonie Kamerowo osiągnięto światowy rekord wydobywania, wynoszący 1,4 mln ton węgla w ciągu miesiąca. Było to możliwe dzięki zastosowaniu kombajnu ścianowego SL 900 firmy Eickhoff. Maszyna ta jest kolejnym krokiem w rozwoju konstrukcji i produkcji dużych kombajnów. W unikalny sposób łączy kompaktowe wymiary kombajnu SL 750 z oszałamiającą mocą kombajnu SL 1000. Zmienność parametrów SL 900 pozwala na zastosowanie go w szerokim zakresie urabiania - od 2,4 do 5,5 m przy zainstalowanej mocy do 2300 kW. Od momentu powstania firmy w 1864 roku, Eickhoff specjalizuje się w produkcji maszyn górniczych. Obecnie firma jest wiodącym niemieckim dostawcą urządzeń urabiających, dostarczając światowemu górnictwu ponad 50 maszyn rocznie.*

*Coal International 2017 nr 4 s.4*