MASZYNY GÓRNICZE

3/2017

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY

MASZYNY GÓRNICZE
MINING MACHINES
3(151)2017

Szanowni Państwo

Czwarta rewolucja przemysłowa nadchodzi.

Gospodarka oparta na Przemyśle 4.0 odmieni naszą rzeczywistość w stopniu, jakiego się nie spodziewamy. Nadchodzące rewolucyjne zmiany nastąpią w obszarach technologii, biznesu oraz kadr. W technologiach już dzisiaj widoczne są zmiany w postaci: chmur obliczeniowych, Internetu Rzeczy, poszerzonej rzeczywistości, sztucznej inteligencji czy stosowania druku 3D. Dają one powszechny dostęp do narzędzi pozwalających w nowoczesny sposób prowadzić analizę danych. Dane są dzisiaj wartością bezcenną, gdyż pozwalają się bogacić i rządzić. Dodatkowo, istnieje możliwość otwartego dostępu do nowoczesnych rozwiązań programistów.

W sferze produkcji maszyn i urządzeń dokona się postęp w organizacji pracy. Maszyny będą połączone internetowo, a pozyskane od nich dane będą wspomagały procesy decyzyjne. Pozwoli to zredukować koszty produkcji i skrócić cykle produkcyjne. W modelu biznesu istotnie skróci się czas od koncepcji do dostawy gotowego produktu. Symulacje komputerowe zastąpią często drogie i czasochłonne badania, a drukowanie 3D przyspieszy opracowywanie prototypów i pozwoli na spełnienie potrzeb klienta. Digitalizacja obejmie większość procesów w naszym życiu.

Przemysł 4.0 będzie potrzebował pracowników, z umiejętnościami interpersonalnymi, umiejących współpracować w dużych zespołach, często o odmiennej kulturze, mobilnych i znających kilka języków. Trzeba zatem zmieniać metody nauczania, zmierzając do pobudzania kreatywności oraz kształtowania umiejętności pracy zespołowej. Potrzeba kształcenia ustawicznego przez całe zawodowe życie również stanie się koniecznością. Także mentalność pracowników będzie musiała się zmienić. Dążenie do doskonałości, profesjonalizmu, niezależności i znajdywania sensu pracy będzie charakteryzowało pracowników nadchodzącej rewolucji. Kto w najbliższym czasie nie utworzy planów wdrożenia technologii Przemysłu 4.0, zostanie na szarym końcu i będzie mógł wykonywać tylko podrzędne prace. Argument rzekomej konkurencyjności w postaci niskich kosztów prac staje się pułapką, gdyż odnosi się wrażenie, że nie trzeba się starać o wyższą jakość. Przedsiębiorcy często nie odczuwają jeszcze tego zagrożenia, gdyż pracują w epoce Przemysłu 3.0 lub 2.0. Aby zaangażować się w technologie Przemysłu 4.0 wymagane będą oczywiście znaczne środki finansowe. Należy zatem postawić pytanie, czy przemysł producentów maszyn i urządzeń dla górnictwa poradzi sobie z nadchodzącą rewolucją przemysłową? Oznaki optymizmu można czerpać z wyników prac jednostek zaplecza, które starają się korzystać z nowoczesnych technologii. Jest o nich mowa w wielu artykułach publikowanych w naszym kwartalniku. Serdecznie zapraszamy zatem do zapoznania się z kolejnymi pracami, w szczególności Instytutu Techniki Górniczej KOMAG. Życząc przyjemnej lektury, tradycyjnie zapraszamy do współpracy z redakcją „Maszyn Górniczych".

Redaktor Naczelny
dr inż. Antoni Kozieł

Kwartalnik naukowo-techniczny
Rok XXXV, wrzesień 2017

Zespół Redakcyjny:

Redaktor Naczelny:
dr inż. Antoni Kozieł

Z-ca Redaktora Naczelnego:
dr inż. Edward Pieczora

Sekretarz Redakcji:
mgr inż. Romana Zając

Redaktor statystyczny:
dr inż. Jarosław Tokarczyk

Redaktor językowy:
mgr Anna Okulińska

Redaktorzy tematyczni:
dr hab. inż. Beata Grynkiewicz-Bylina, prof. nadzw. w ITG KOMAG
prof. dr hab. inż. Adam Klich
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek
prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński
dr hab. inż. Stanisław Szweda, prof. nadzw. w Pol. Śl.
prof. dr hab. inż. Teodor Winkler

Wydawca:
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice
tel. 32 2374 528
fax 32 2374 304
http://www.komag.eu

Redakcja nie zwraca nadesłanych artykułów i nie odpowiada za treść ogłoszeń i reklam.

Wersję elektroniczną wydawanego kwartalnika należy traktować jako wersję pierwotną.

OPEN ACCESS

CC BY NC

ISSN 2450-9442

PROJEKTOWANIE I BADANIA

Bałaga D., Kalita M., Siegmund M.: Zastosowanie technologii druku 3D do szybkiego prototypowania dysz zraszających 3

Remiorz E., Mikuła S.: Podstawowe formy degradacji własności użytkowych łańcuchów ogniwowych górniczych stosowanych w maszynach ścianowych ……... 14

BEZPIECZEŃSTWO I ERGONOMIA

Majewski M.: Identyfikacja zagrożeń, jako jeden z elementów procesu projektowania maszyn górniczych ……. 27

TRANSPORT I ODSTAWA

Pieczora E., Suffner H.: Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych ……. 44

SYSTEMY ZASILANIA, STEROWANIA, MONITORINGU I DIAGNOSTYKI

Polnik B., Kurpiel W., Juszczyk Z.: Autonomiczny system monitorowania parametrów pracy baterii ogniw ołowiowych 58

NOWE TECHNOLOGIE I MATERIAŁY

Lazar D., Szweda S.: Koncepcja układu odzyskiwania energii z rurociągu szybowego 65

JAKOŚĆ, CERTYFIKACJA, NORMALIZACJA, ZARZĄDZANIE

Zając R.: Podejście oparte na ryzyku w świetle wymagań normy PN-EN ISO 9001:2015-10 …….. 75

DESIGNING AND TESTING

Bałaga D., Kalita M., Siegmund M.: Use of 3D additive manufacturing technology for rapid prototyping of spraying nozzles ……... 3

Remiorz E., Mikuła S.: Typical forms of deterioration functional properties of chains used in longwall machines ……..... 14

SAFETY AND ERGONOMICS

Majewski M.: Identification of hazards as one of stages of designing the mining machines 27

TRANSPORT AND CONVEYING SYSTEM

Pieczora E., Suffner H.: Development of drives for underground suspended monorails 44

SYSTEMS FOR POWER SUPPLY, CONTROL, MONITORING AND DIAGNOSTICS

Polnik B., Kurpiel W., Juszczyk Z.: Autonomous system for monitoring lead-acid battery parameters ……. 58

NEW TECHNOLOGIES AND MATERIALS

Lazar D., Szweda S.: Idea of the system for energy recovery from shaft pipeline …….. 65

QUALITY, CERTIFICATION, STANDARIZATION, MANAGEMENT

Zając R.: Risk-based approach in the light of requirements of PN-EN ISO 9001:2015-10 Standard ……. 75

Zastosowanie technologii druku 3D do szybkiego prototypowania dysz zraszających

dr inż. Dominik Bałaga
dr inż. Marek Kalita
mgr inż. Michał Siegmund
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

W artykule zaprezentowano możliwości zastosowania technologii druku 3D do szybkiego prototypowania dysz zraszających. Przedstawiono procedury badawcze jakie przeprowadzono dla sprawdzenia przydatności opisywanej technologii. Zweryfikowano wytworzone egzemplarze, zarówno pod względem jakości wydruku, jak i oceny generowanych przez dysze strumieni zraszających. Wyniki badań dysz drukowanych porównano z wynikami badań dysz wytwarzanych za pomocą tradycyjnej technologii obróbki.

Abstract:

Possibility of using the additive manufacturing technology in production of spraying nozzles is presented. Testing procedures used for verification of usability of the described technology are given. Items manufactured by this technology were checked in terms of their quality and parameters of the generated water stream. The results obtained from testing the printed nozzles are compared with those manufactured using traditional technology.

Słowa kluczowe: zwalczanie zapylenia, dysze zraszające, druk 3D, szybkie prototypowanie

Keywords: dust control, spraying nozzles, additive manufacturing, rapid prototyping

1. Wprowadzenie

Szybkie prototypowanie, nazywane również szybkim wykonywaniem prototypów (ang. Rapid Prototyping), jest określeniem zbioru metod służących do szybkiej, precyzyjnej i powtarzalnej produkcji elementów najczęściej w technologii addytywnej (np. z wykorzystaniem technik druku przestrzennego). Głównym etapem procesu szybkiego prototypowania jest zdefiniowanie przedmiotu jako trójwymiarowego modelu, który jest następnie przetwarzany w procesach numerycznych do postaci zbioru danych odpowiednich dla systemów wytwarzających np. przez systemy typu CAM bądź odpowiednie oprogramowania drukarek 3D. Najczęściej stosowane w szybkim prototypowaniu wytwarzanie przez kształtowanie przyrostowe (druk 3D), eliminuje konieczność stosowania specjalnego oprzyrządowania np. w postaci form czy specjalnych narzędzi. Przewaga wytwarzania przyrostowego nad tradycyjną metodą wytwarzania w sposób ubytkowy uwidacznia się zwłaszcza podczas procesu przygotowania produkcji, gdzie eliminuje się konieczność określenia półfabrykatów oraz technologii wytwarzania. Wszystkie dane niezbędne do wytworzenia gotowego produktu tworzone są w bezpośredniej integracji z komputerowo wspomaganym konstruowaniem CAD [7, 10].

W ITG KOMAG od wielu lat opracowywane są konstrukcje dysz zraszających mających na celu redukcję zapylenia [1, 3]. Wysoka skuteczność ich działania uzyskiwana jest dzięki odpowiednio dobranym parametrom kropel w strumieniach zraszających. Przykładowo, w pracy [2], potwierdzono wpływ ich wielkości na efektywność wytrącania pyłu i skuteczność redukcji zapylenia. Wykazano, że jakość wytwarzanego strumienia zależy od parametrów zasilania dyszy oraz jej kształtu. Opracowanie kształtu dyszy zraszającej o określonych parametrach pracy oraz jakościowych strumienia zraszającego jest jednak procesem czasochłonnym, a dodatkowo nawet najmniejsze modyfikacje (np. zmiana średnicy

czy kąta wylotu) w konstrukcji dyszy mogą skutkować znaczą zmianą parametrów pracy i jakości strumienia dyszy. Stosowana dotychczas do wytwarzania dysz technologia obróbki ubytkowej znacząco wydłuża czas powstawania prototypów oraz generuje zwiększone koszty ich wytworzenia, ze względu na jednostkowy charakter produkcji. Zastosowanie szybkiego prototypowania (RP), przy użyciu technologii druku 3D, pozwala niemal natychmiast po zakończeniu prac konstrukcyjnych rozpocząć proces wytwarzania, którego koszt nie zależy od liczby wytwarzanych egzemplarzy. W ramach prac [4, 5, 6], realizowanych w ITG KOMAG, podjęto działania mające na celu weryfikację możliwości zastosowania druku 3D do wytwarzania dysz zraszających.

2. Dobór urządzenia drukującego

Podstawowym założeniem przy użyciu technologii druku 3D było wytworzenie pojedynczego egzemplarza dyszy o kosztach kilkukrotnie niższych od tradycyjnej obróbki ubytkowej w metalu, przy zachowaniu dużej dokładności wydruku. Analizując dostępne na rynku urządzenia druku 3D oraz zakres oferowanych usług stwierdzono, iż drukarka Zortrax M200 (rys.1) będzie wystarczająca do spełnienia założeń realizowanej pracy badawczej.

Rys. 1. Drukarka Zortrax M200 podczas druku dysz powietrzno-wodnych [11]

Urządzenie to drukuje w technologii Layer Plastic Deposition (LPD), w której drukarka rozpuszcza termoplastyczny materiał (filament) w ekstruderze i układa go na podgrzewanej platformie roboczej, tworząc w ten sposób trójwymiarowy model – jest to technologia tożsama z FFF (Fused Filament Fabrication) i FDM (Fused Deposition Modeling). Do drukarki Zortrax M200 dedykowane są materiały firmy Zortrax: Z-ABS, Z-ULTRAT, Z-HIPS, Z-GLASS, Z-PCABS oraz Z-PETG [9].

3. Dobór materiału, wytwarzanie dysz oraz badania weryfikacyjne

Mając do dyspozycji różne rodzaje materiałów (filamentów) należało wytypować najbardziej nadający się do wytworzenia i użytkowania dyszy zraszającej. Dobór odpowiedniego materiału zrealizowano poprzez wydruk z każdego rodzaju filamentów dyszy o tej samej konstrukcji oraz jednej próbki badawczej. Na rysunku 2 pokazano jeden z pięciu

kompletów badawczych, mających na celu określenie najlepszego, dostępnego materiału do wytwarzania dysz w technologii druku 3D.

Rys. 2. Przykładowy wydruk dyszy oraz próbki do badań zmęczeniowych [11]

Przygotowano dysze i próbki badawcze, które poddano badaniom weryfikacyjnym w aspekcie:

- oceny organoleptycznej jakości wydruku,
- próby gwintowania wydrukowanego pręta,
- próby skręcania wydrukowanego pręta,
- badania odporności dysz na działanie wysokiej temperatury,
- badania parametrów pracy oraz strumienia zraszającego.

Proces druku dysz rozpoczęto od określenia najlepszego kierunku ułożenia modelu (drukowanej dyszy) podczas procesu nakładania kolejnych warstw materiału. Na rysunku 3 przedstawiono ten sam model dyszy ułożonej w pozycji pionowej i poziomej (podczas druku). Zdecydowanie lepszą jakość wydruku uzyskano dla dysz ułożonych pionowo. Walcowe powierzchnie dyszy były gładkie oraz zachowały kształt okręgu w przekroju. Można było również zaobserwować zdecydowanie wyraźniejszy zarys gwintu. Z kolei dysza drukowana poziomo, posiadała bardziej zdeformowane walcowe powierzchnie boczne, które w przekroju przybierały kształt eliptyczny.

Rys. 3. Różnice w jakości drukowanej dyszy, w zależności od kierunku ułożenia dyszy [11]

Wydrukowane z różnego rodzaju materiału dysze, pomimo tej samej konstrukcji oraz technologii druku, różniły się między sobą jakością powierzchni (szczególnie walcowej), odwzorowaniem zarysu gwintu, czy średnicami otworów wlotowych i wylotowych dyszy. Niemal we wszystkich egzemplarzach wydrukowanych dysz, przed ich podłączeniem do zasilania, należało poprawić otwór wylotowy strumienia zraszającego oraz otwory wlotowe wody i sprężonego powietrza. Gwint w dyszach był gwintem drukowanym, którego zarys określono podczas modelowania konstrukcji dyszy. Jak pokazały już pierwsze próby użytkowania dysz, wkręcenie drukowanych dysz do gniazd w korpusie zasilającym było bardzo utrudnione, bądź prawie niemożliwe ze względu na odchyłki rozmiaru gwintu opracowanego w konstrukcji dyszy od rozmiaru rzeczywistego [5, 6]. Gwint wydrukowany w materiale Z-GLASS oraz Z-PETG klinował się podczas wkręcania (niemożliwe było pełne wkręcenie dyszy). Gwint wykonany w próbkach z Z-ABS oraz Z-HIPS dawał się wkręcić do korpusu przyłączeniowego, jednak łatwo ulegał zniszczeniu poprzez skręcenie na przewężeniu dyszy. Jedynie gwinty drukowane z Z-ULTRA pozwalały na kilkukrotne wkręcanie do korpusu zasilającego, bez uszkodzenia konstrukcji dyszy zraszającej. Sprawdzono możliwość nagwintowania pręta badawczego, wydrukowego na potrzeby badań. Na rysunku 4 przedstawiono zdjęcie z przebiegu prób gwintowania. Na wszystkich próbkach badawczych możliwe było nacięcie ciągłego zarysu gwintu, umożliwiającego współpracę z nakrętką M12x1,5. Jedynie gwint na próbce drukowanej poziomo był nieciągły, a wiór powstający podczas gwintowania zdecydowanie różnił się od pozostałych.

Rys. 4. Wyniki prób gwintowania próbek badawczych [11]

Większość tradycyjnych dysz opracowywanych w ITG KOMAG montowanych jest w bateriach zraszających za pomocą gwintów przyłączeniowych. W celu doszczelnienia dyszy w gnieździe przyłączeniowym należy wkręcić ją na właściwą głębokość. Stąd istotne było również sprawdzenie wytrzymałości na skręcanie próbek drukowanych z różnego rodzaju materiałów. W tabeli 1 zamieszono wyniki próby skręcania wydrukowanego i nagwintowanego pręta Φ12. Próbę przeprowadzono dla dwóch wariantów zamocowania: a) wkręconego w nakrętkę M12x1,5 oraz b) złapanego w szczęki imadła na gładkiej powierzchni walcowej.

Wartości momentów skręcających poszczególnych próbek badawczych [5]

Tabela 1

Rodzaj badanej próbki	Wartość niszczącego momentu skręcającego próbkę na gwincie M12x1,5 [Nm]	Wartość niszczącego momentu skręcającego próbkę na powierzchni walcowej Φ12 [Nm]
Czarna Z-PETG	3,19	8,31
Żółta Z-ABS	0,79	2,02
Szara Z-HIPS	1,24	3,26
Pomarańczowa Z-ULTRAT (drukowana pionowo)	2,57	4,09
Pomarańczowa Z- ULTRAT (drukowana poziomo)	5,16	7,67
Transparentna Z-GLASS	2,47	7,84

Badania weryfikacyjne potwierdziły, że najniższe wartości momentu skręcającego uzyskano dla prętów wykonanych z materiału Z-ABS oraz Z-HIPS. Uszkodzenia na próbkach wykonanych z Z-PETG oraz Z-GLASS miały charakter plastyczny. Duże znaczenie na wytrzymałość miał również kierunek ułożenia modelu podczas druku.

Dysze wytwarzane technologią druku 3D, poddano również badaniom oddziaływania wysokiej temperatury. Dysze umieszczono w komorze klimatycznej i poddane działaniu temperatury, w granicach od 50°C do 130°C. Przyrost temperatury odbywał się co 10°C. Po uzyskaniu zadanej temperatury, dysze pozostawały w niej przez okres 1 godziny. Efekt oddziaływania temperatury na dysze pokazano na rysunku 5.

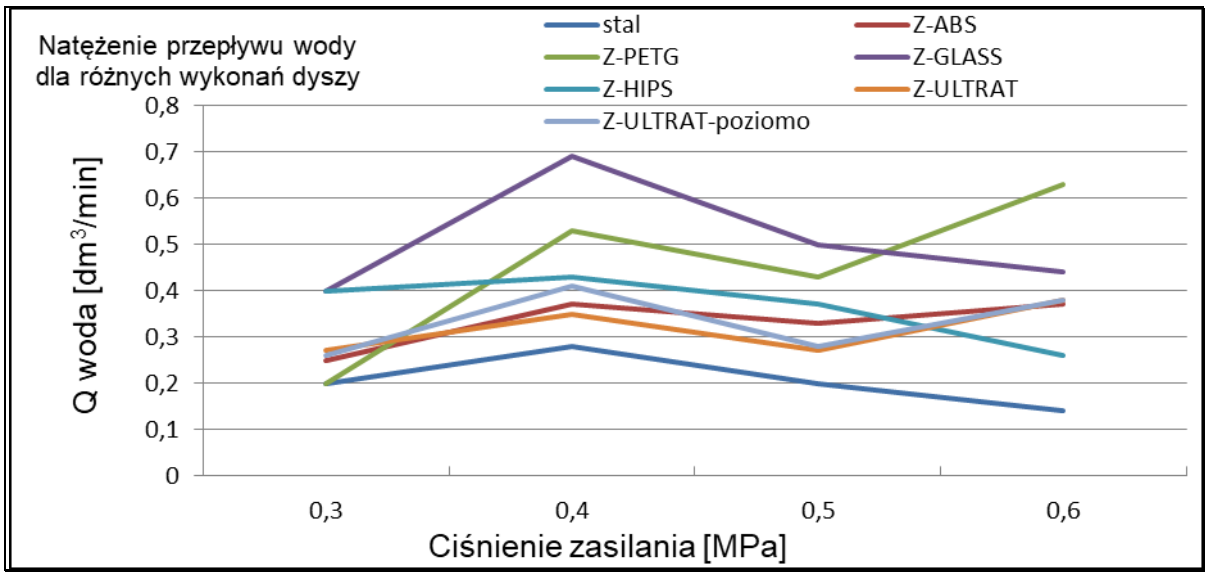
Rys. 5. Widok dysz po badaniach w komorze klimatycznej [11]

Przeprowadzone badania wykazały, iż dysze w zakresie temperatur 50-90°C zachowywały kształt oraz sztywność. W temperaturze 100°C, dysze zaczęły ulegać uplastycznianiu. Dalszy wzrost temperatury powodował całkowite topienie się materiału dyszy Z-GLASS (transparentna) i Z-PETG (czarna). Przy temperaturze 130°C dysza Z-PETG (szara) uległa uplastycznieniu i znacznemu wydłużeniu. Z kolei dysze Z-ULTRAT (pomarańczowa) oraz Z-ABS (żółta), zaczęły się nieznacznie rozciągać, zmniejszając przy tym średnicę poszczególnych części walcowych. Żadna z badanych dysz po przekroczeniu 130°C nie nadawała się do użycia [4].

W celu sprawdzenia jakości dysz wykonywanych w technologii druku 3D, z każdego rodzaju filamentu wykonano badawczy egzemplarz dyszy typu STK-ZZ-2 (najczęściej stosowany, powietrzno-wodny typ dysz w instalacjach zraszających). Badanie parametrów pracy dyszy, polegało na pomiarze zakresów ciśnień i natężeń przepływu oraz rozkładu frakcyjnego kropel w strumieniu zraszającym każdej dyszy, w zależności od ciśnienia wody i sprężonego powietrza. Podczas badań, przetestowano siedem wykonań dyszy STK-ZZ-2. Pięć dysz wykonano z różnego rodzaju materiału, jedną dyszę (pomarańczową Z-ULTRAT) drukowaną w ułożeniu poziomym oraz jedną handlową wykonaną w metalu, w celach porównawczych. Dysze przed badaniami oczyszczono z resztek materiału podporowego oraz wyposażono w komplet uszczelnień typu o-ring. Otwór wlotowy powietrza oraz wylotowy z dyszy rozwiercono do nominalnej wielkości Φ2, natomiast otwór wlotowy wody poprawiono do wielkości Φ1. Dodatkowo oryginalnie drukowany gwint zewnętrzny poprawiono narzynką M12x1,5. Było to konieczne ze względu na trudności podczas wkręcania dyszy do korpusu zasilającego. Komplet dysz przygotowanych do badań przedstawiono na rysunku 6.

Rys. 6. Komplet badawczy różnych wykonań dysz STK-ZZ-2

Dysze testowano dla równych wartości ciśnienia zasilającego w zakresie 0,3 MPa, 0,4 MPa, 0,5 MPa oraz 0,6 MPa. Zestawienie wyników przepływu wody zraszającej, w zależności od parametrów zasilania, pokazano na rysunku 7. Najmniejszym zużyciem wody cechowała się tradycyjna dysza wykonana z metalu (w technologii ubytkowej). Zbliżone wartości miały również dysze wykonane z Z-ULTRAT.

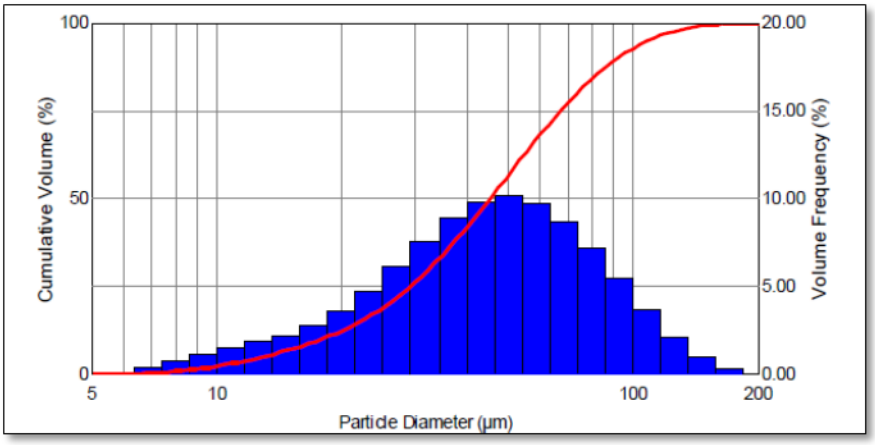


Rys. 7. Natężenie przepływu wody, w zależności od ciśnienia zasilania (wody i sprężonego powietrza), dla różnych materiałów wykonania dyszy STK-ZZ-2

Równocześnie z pomiarami natężenia przepływu mediów roboczych, w wytwarzanym strumieniu zraszającym mierzono rozkład frakcyjny kropel. Stanowisko do badań jakości strumienia pokazano na rysunku 8. Każdy z siedmiu badanych egzemplarzy dyszy montowano na konstrukcji ramowej, na poziomie linii detekcyjnej urządzenia pomiarowego, w odległości 1 m.

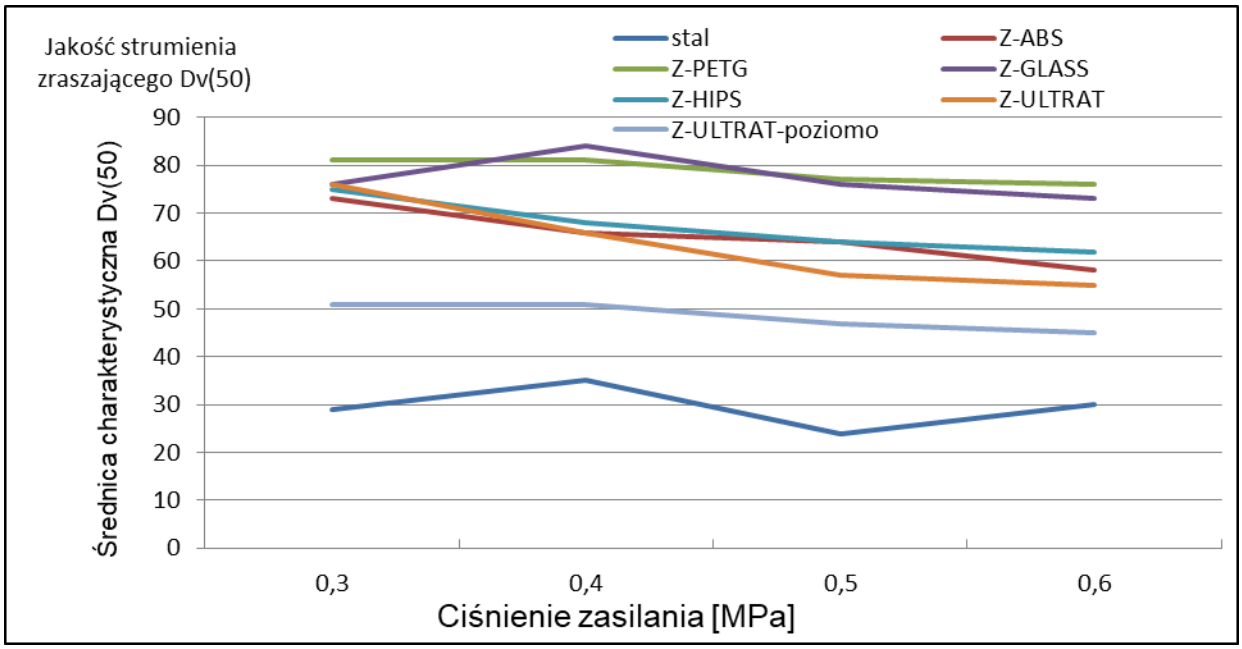
Rys. 8. Stanowisko badawcze jakości strumienia zraszającego [11]

Dla każdego wykonania dyszy mierzono rozkład frakcyjny strumienia, w zależności od ciśnienia mediów zraszających. Przykład takiego rozkładu, dla ciśnienia zasilania równego 0,5 MPa, pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Przykładowy rozkład frakcyjny kropel w strumieniu zraszającym jednej z drukowanych dysz [4]

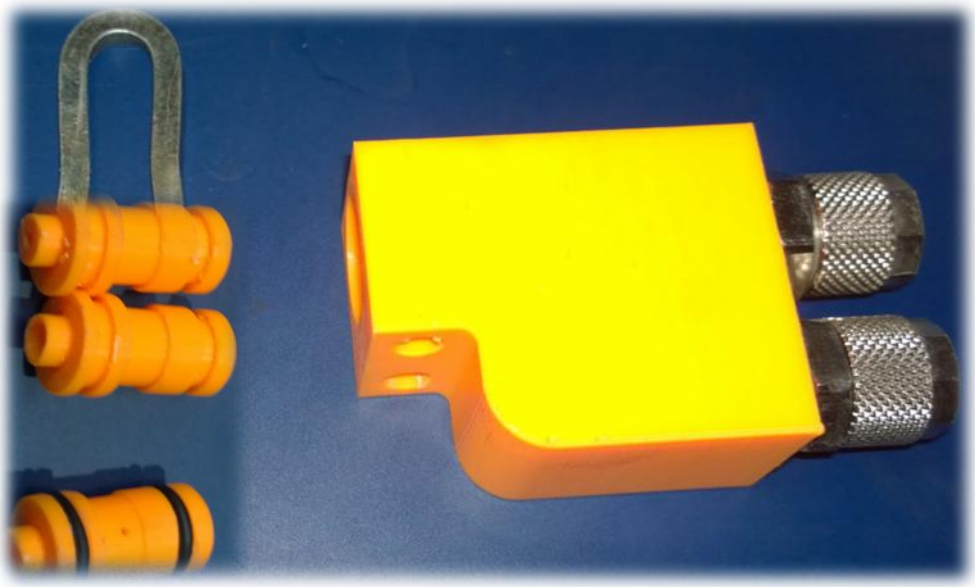
Z danych pomiarowych wyodrębniono takie wielkości, jak Dv(10), Dv(50) oraz Dv(90). Jako najbardziej reprezentatywny oraz najczęściej stosowany w ocenie jakości strumienia zraszającego przyjęto wskaźnik Dv(50), pokazujący jaka jest maksymalna średnica kropel połowy objętości rozpylanej cieczy [8]. Na rysunku 9 przedstawiono zmianę parametru jakościowego strumienia Dv(50) w zależności od ciśnienia mediów zasilających, dla różnych wykonań dyszy STK-ZZ-2.



Rys. 10. Średnica charakterystyczna Dv(50) dla różnych materiałów wykonania dyszy STK-ZZ-2 [5]

Najlepszym rozbiciem kropel w strumieniu zraszającym cechowała się tradycyjna dysza wykonana z metalu w technologii ubytkowej. Dysza wykonana z materiału Z-ULTRAT, w układzie poziomym, generowała strumień o zdecydowanie najlepszej jakości spośród dysz drukowanych. Pozostałe wykonania dysz cechowały się gorszymi wynikami. Zachowana została jednak prawidłowość poprawy jakości strumienia wraz z wzrostem ciśnienia zasilania. Gorsze wyniki jakości strumienia zraszającego dysz drukowanych w układzie pionowym były najprawdopodobniej spowodowane ułożeniem włókien filamentu podczas druku. Włókna te układały się prostopadle do kierunku wylotu strumienia, co mogło zaburzać proces rozbijania filmu wodnego.

W rezultacie przeprowadzonych prób badawczych, jako najbardziej odpowiedni do druku dysz wytypowany został materiał Z-ULTRAT, obrabiany za pomocą technologii (LPD) na drukarce Zortrax M200. Cechuje się on bardzo dobrą jakością wydruku, z jednoczesną, stosunkowo wysoką wytrzymałością mechaniczną, w aspekcie kosztów wytwarzania oraz dostępności technologii. Badania wykazały, że znacznym ograniczeniem w użytkowaniu drukowanych dysz zraszających jest montaż dysz za pomocą gwintów przyłączeniowych. W celu rozwiązania tego problemu opracowano i wytworzono nowe rozwiązanie dyszy montowanej wciskowo, utwierdzanej za pomocą przetyczki powszechnie stosowanej w złączkach typu STECKO (rys. 11). Nowy typ dysz opracowany i wytworzony został zgodnie z zasadami szybkiego prototypowania (RP).



Rys. 11. Prototypowe rozwiązanie dyszy zraszającej, montowanej wciskowo [11]

4. Podsumowanie

Przeprowadzone w ITG KOMAG prace projektowe oraz badawcze [6, 7] miały na celu ocenę możliwości zastosowania technologii druku 3D do szybkiego wytwarzania dysz zraszających. Przeprowadzona analiza wyników badań pozwoliła na sformułowanie następujących stwierdzeń:

- odporność użytego materiału na zużycie jest wystarczająca nawet podczas kilkugodzinnych testów działania zraszania, nie jednak na tyle wysoka, aby dysze drukowane mogły być wdrożone przemysłowo,
- dysze wykonane w technologii druku 3D pozwalają na szybkie sprawdzenie poprawności działania nowo opracowywanych rozwiązań,
- wszystkie wykonania dysz wytwarzały poprawny kształt strumienia zraszającego,
- dysze drukowane cechują się nieznacznie gorszymi parametrami jakości strumienia zraszającego, w odniesieniu do dysz wykonanych w metalu,
- podczas drukowania modeli następuje skurcz materiału, który należy uwzględnić podczas projektowania modelu 3D, szczególne przy elementach współpracujących,
- podczas wytwarzania dyszy należy zwrócić szczególną uwagę na położenie modelu w stosunku do kierunku druku (otwory drukowane poziomo nie zachowują swojego cylindrycznego kształtu),
- skurcz materiału powoduje zmianę wymiarów m.in. otworów wlotowych czy gwintów przyłączeniowych, które należy poprawić po wydruku poprzez obróbkę mechaniczną.

W celu przemysłowego wdrożenia dysz drukowanych należałoby wykonywać je za pomocą technologii DMLS (Direct Metal Laser Sintering - proszki metali topione laserem dużej mocy), co generowałoby jednak wysokie koszty ich wytworzenia. Nie wyklucza się jednak możliwości stosowania rozwiązań hybrydowych, w których obszary najbardziej narażone na zużycie wykonywane byłyby z materiałów bardziej wytrzymałych. Dynamiczny

wzrost jakości oferowanych drukarek i stosowanych materiałów, oraz spadek ich cen, może w krótkim czasie przyczynić się do znacznego rozpowszechnienia produktów wykonywanych w technologii druku 3D.

Literatura

[1] Bałaga D., Cebula D., Kalita M., Siegmund M.: Powietrzno-wodne instalacje zraszające do redukcji zapylenia. Wiadomości Górnicze 2015 nr 11 s. 560-568

[2] Karowiec K.: Zwalczanie zapylenia za pomocą wyrzutu strumienia powietrza nasyconego mgłą wodną na źródło pyłu. Maszyny Górnicze 1984 nr 5

[3] Pieczora E., Prostański D., Bałaga D., Rojek P.: Ocena skuteczności strumienia wytworzonego w dyszy dwuczynnikowej w aspekcie ograniczania zagrożenia zapłonu metanu i wybuchu pyłu węglowego. Maszyny Górnicze 2009 nr 3 s. 20-24

[4] Rybka A., Orzech Ł.: Badania powietrzno-wodnych dysz produkowanych za pomocą technologii druku 3D. Sprawozdanie z badań, ITG KOMAG Gliwice 2016 (materiały niepublikowane)

[5] Siegmund M.: „Młody naukowiec" - Wirtualne prototypowanie konstrukcji dysz zraszających wykorzystujące technologię druku 3D. ITG KOMAG, Gliwice 2016 (materiały niepublikowane)

[6] Siegmund M., Bałaga D., Kalita M.: Dysza dwuczynnikowa STK-WM, egzemplarz badawczy. Sprawozdanie z badań, Gliwice 2015 (materiały niepublikowane)

[7] Sobolak M., Budzik G., Miechowicz S.: Szybkie prototypowanie wirnika turbiny turbosprężarki, International Scientific Conference PRO-TECH-MA Rzeszów–Bezmiechowa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005, s. 16-20

[8] PN-G-52001:2015-11: Urządzenia do zwalczania zapylenia w górnictwie podziemnym - - Dysze zraszające

[9] Karta katalogowa drukarki ZORTRAX M200. Źródło: https://zortrax.pl/

[10] Materiały konferencji naukowej "Szybkie prototypowanie. Modelowanie – Wytwarzanie – Pomiary" organizowanej przez Politechnikę Warszawską: źródło: http://www.szybkieprototypowanie.edu.pl/index.php/pl/

[11] Archiwum fotograficzne ITG KOMAG

Podstawowe formy degradacji własności użytkowych łańcuchów ogniwowych górniczych stosowanych w maszynach ścianowych

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

Streszczenie:
Łańcuchy ogniwowe 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 ogniwowych górniczych oraz dokonano charakterystyki pęknięć zmęczeniowych ogniw tych łańcuchów. Przedstawiono przykłady typowych uszkodzeń ogniw 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 ogniwowy, pęknięcia zmęczeniowe, korozja, zużycie ścierne, deformacje plastyczne

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

1. Wprowadzenie

Łańcuchy ogniwowe górnicze stosowane są w układach pociągowych maszyn górniczych służących do transportu urobku oraz do urabiania calizny węglowej. Do pierwszej grupy zaliczane są przenośniki zgrzebłowe 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 ogniwowe górnicze o coraz większych wymiarach. Na przykład największy polski producent łańcuchów górniczych firma Fasing S.A. oferuje łańcuchy ogniwowe 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 zgrzebłowym 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 ogniw, ich deformacji plastycznych oraz z rozwijania się pęknięć zmęczeniowych w krytycznych przekrojach ogniw. Podczas nagłych zerwań łańcuchów wyzwalana jest bardzo duża energia zmagazynowana w odkształconych sprężyście długich 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 ścierne, niszczenie korozyjne i wyczerpywanie się resursu zmęczeniowego 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.

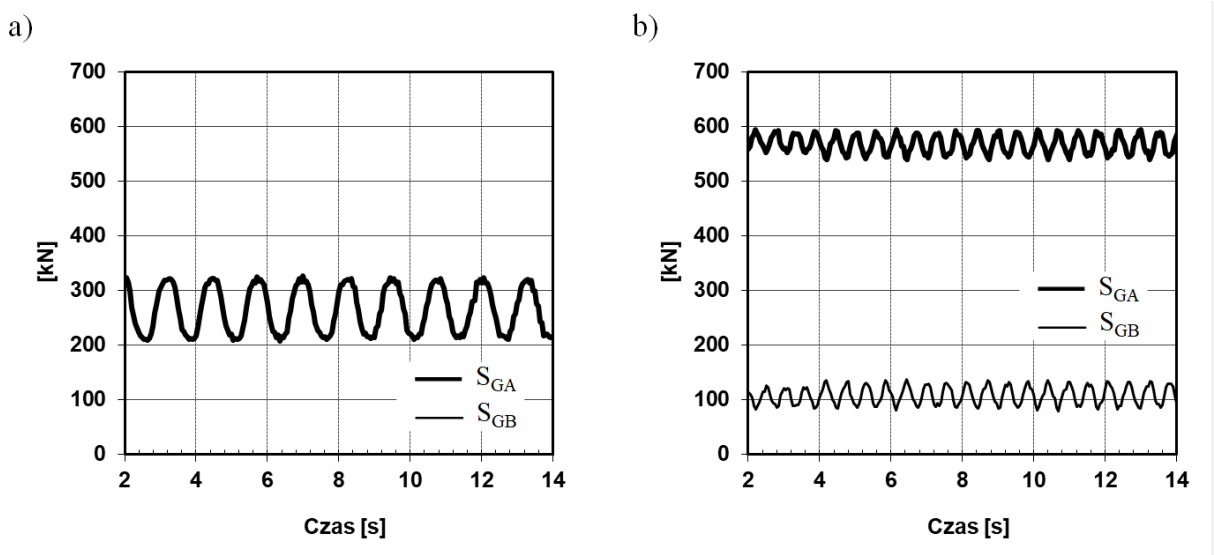
Klasyczna szeregowa struktura niezawodnościowa elementów cięgien łańcuchowych powoduje, że o niezawodności cięgna decydują elementy o najniższych własnościach mechanicznych, zaś resurs elementów o wysokich własnościach może nigdy nie być w pełni wykorzystany.

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 ogniw łańcuchów górniczych ogniska pęknięć zmęczeniowych występują najczęściej w kilku charakterystycznych miejscach. Wynika to z rozkładu naprężeń w ogniwach obciążonych siłą rozciągającą (rys. 2) [9].

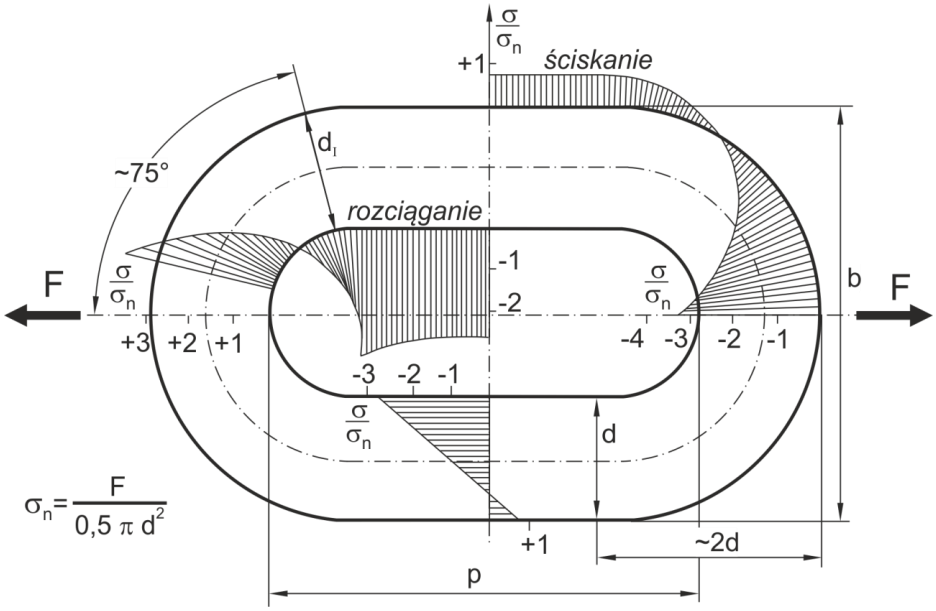
Rozkład naprężeń w ogniwie łańcuchowym w rzeczywistych warunkach jest bardzo złożony, gdyż na rozkład naprężeń od zewnętrznego obciążenia siłą wzdłużną nakładają się znaczące naprężenia własne uformowane w ogniwie w wyniku obróbki cieplnej, a zwłaszcza podczas zabiegu tzw. kalibrowania. Zabieg ten polega na odkształcaniu ogniw, aż do wywołania znaczących odkształceń trwałych ogniw 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 pożądanych cech geometrycznych ogniw, 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 ogniw łańcucha 24x86) przedstawiono na rysunku 3.



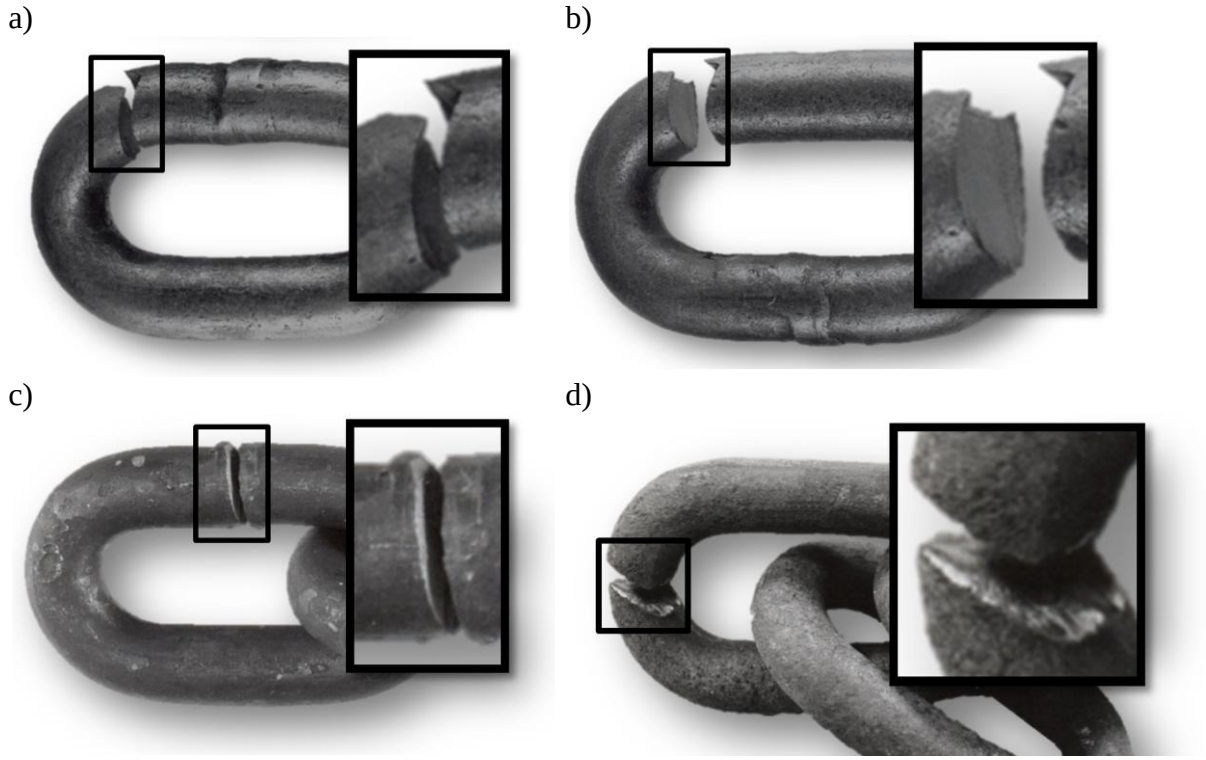
Rys. 1. Przykładowy przebieg obciążenia dynamicznego w łańcuchu w miejscu jego nabiegania na bęben łańcuchowy napędu głównego (S_{GA}) i w miejscu jego zbiegania z bębna łańcuchowego napędu pomocniczego (S_{GB}) w przenośniku zgrzebłowym o długości 300 m: a) stan stałego luzowania łańcuchów ($S_{GB}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



Rys. 2. Rozkład naprężeń w ogniwie łańcucha po zewnętrznym i wewnętrznym 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 ogniw, w strefie kontaktu łańcuchów z rynnami przenośników ścianowych lub z prowadzeniem rurowym łańcucha w przypadku maszyn urabiających.

Wskutek dużego tarcia odcinków prostych ogniw tzw. pionowych, na przykład o blachy denne rynien, zwłaszcza na zagięciach rynnociągu, dochodzi do znacznego powierzchniowego ciernego nagrzewania się powierzchni ogniw, które następnie są intensywnie chłodzone, między innymi, poprzez odpływ ciepła do pozostałych części ogniw 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 ogniw i zawsze prostopadłych do kierunku poślizgu [12].



Rys. 3. Typowe położenie przełomów zmęczeniowych ogniw 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 ogniw (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 ogniw pionowych w pryzmie 90° (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 pękania korozyjnego ogniw.

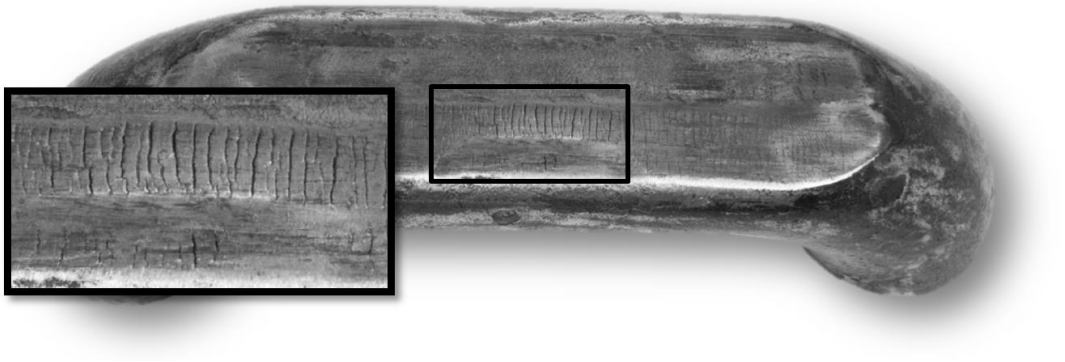
Zużycie ścierne ogniw łańcucha występuje szczególnie w przegubach ogniw to znaczy na wewnętrznej części łuków ogniw. Powoduje to zwiększenie podziałki ogniw, co wpływa na zmianę wartości napięcia wstępnego łańcuchów. Zmiana podziałki łańcucha jest również przyczyną wzrostu obciążeń dynamicznych występujących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

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

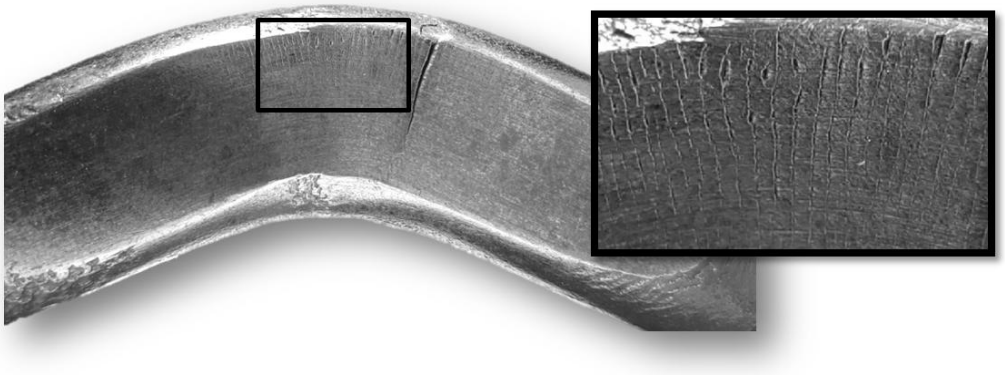
3. Charakterystyka pęknięć zmęczeniowych ogniw łańcuchów górniczych

Krytyczny rozmiar pęknięcia zmęczeniowego ogniw łańcuchów górniczych zmieniać się może w szerokich granicach. Przykładowo przy określonym 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 ogniw (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.



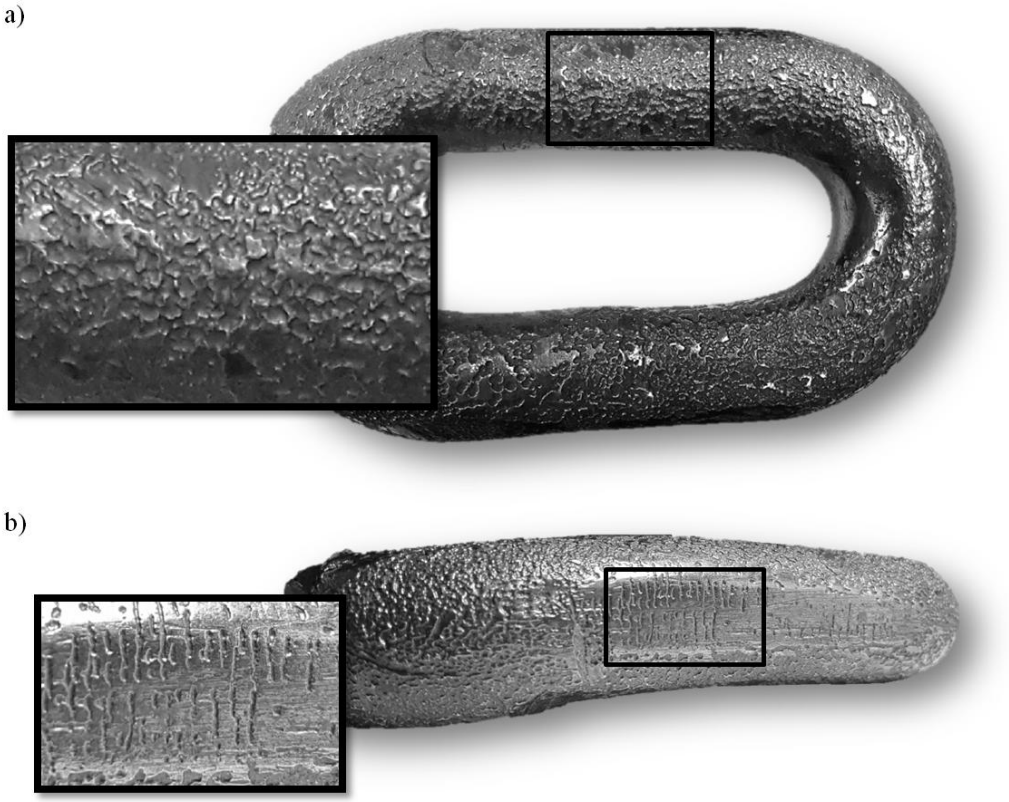
Rys. 4. Siatka pęknięć w odcinku prostym ogniwa łańcucha 42x146 powstała w wyniku tworzenia się martenzytu tarcia [opracowanie własne]



Rys. 5. Pęknięcie na odcinku prostym ogniwa łańcucha 34x126 ujawnione w wyniku próby przeginania 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 ogniw 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 postoju oraz chwilowe przeciążenia. Powoduje to, że na przełomach zmęczeniowych ogniw 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 pękania. W takich sytuacjach ma miejsce duża zmiana prędkości rozwoju pęknięć zmęczeniowych, nawet do okresowego zatrzymania się rozwoju pękania. Dodatkowo w opisanej sytuacji obecność środowiska o umiarkowanym oddziaływaniu korozyjnym sprzyja powstawaniu linii przystankowych. Przykładowe powierzchnie przełomów zmęczeniowych ogniw łańcuchowych, które wystąpiły podczas eksploatacji łańcucha 34x126 w przenośniku zgrzebłowym przedstawiono na rysunku 9. Widoczne są liczne linie przystankowe, zaś strefa przełomu zmęczeniowego obejmuje dużą część przekroju, natomiast strefa przełomu resztkowego jest niewielka.

W przypadku występowania intensywnych oddziaływań korozyjnych powierzchnie przełomów zmęczeniowych ogniw 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 przełomach ogniw 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 wskutek ich cyklicznego wnikania w szczeliny zmęczeniowe występuje tzw. efekt Rebindera w postaci swoistego rozklinowującego działania środowiska korozyjnego. Silnie przyspiesza to proces degradacji własności zmęczeniowych ogniw łańcucha. Dodatkowym czynnikiem przyspieszającym rozwój pęknięć zmęczeniowych jest fakt, że objętość produktów korozji stali jest zdecydowanie większa od objętości metalu ulegającemu 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 ogniw 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.

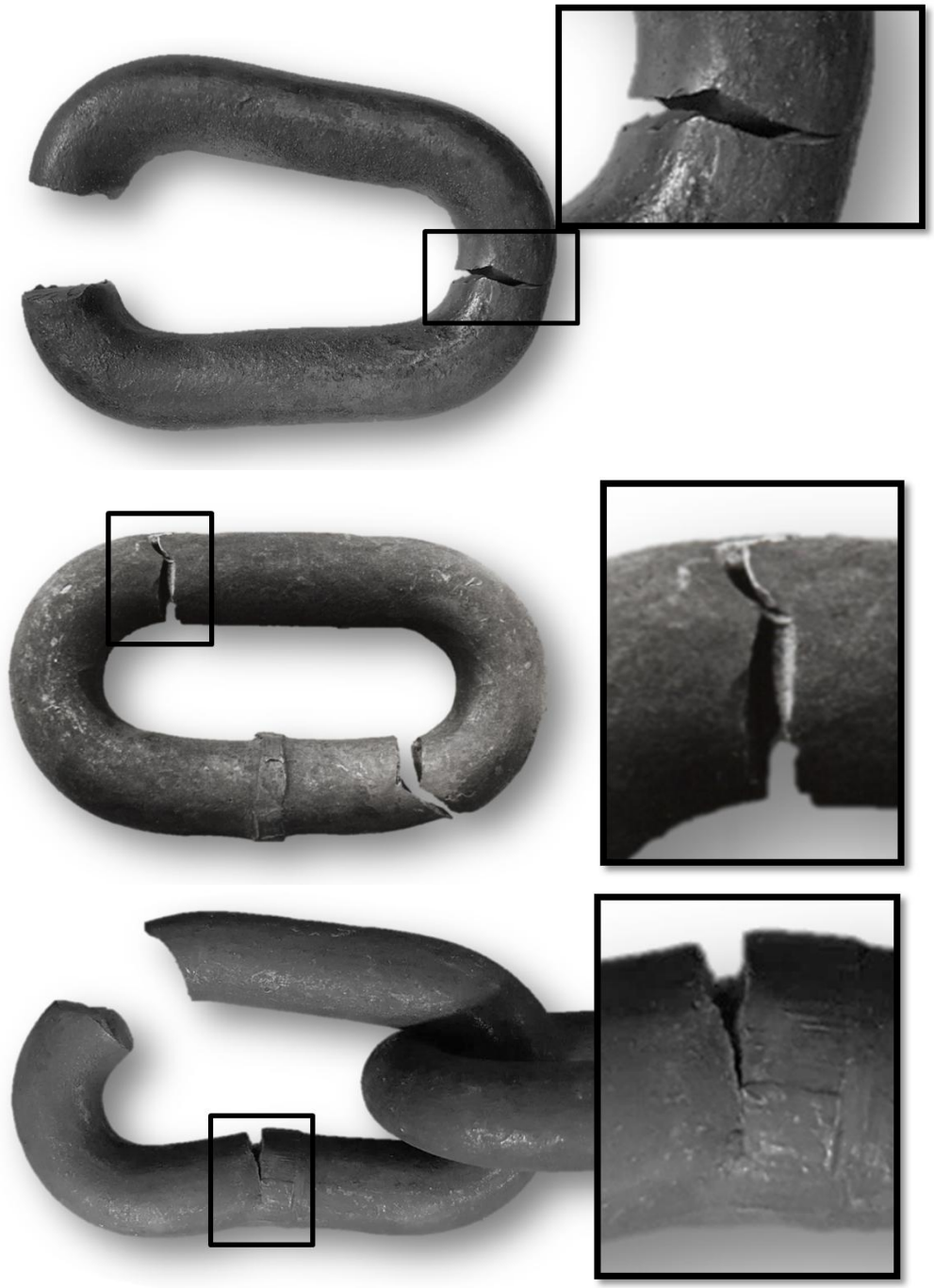
Podczas znormalizowanych badań testowych łańcuchów prowadzonych przy stałym poziomie określonych normą obciążeń zmiennych i realizowanych bez przerwy na ogół nie ma warunków do powstawania linii przystankowych. Wtedy część zmęczeniowa przełomu ma najczęściej jednorodny charakter, zmianie często ulega jedynie ziarnistość przełomu, na ogół wyraźnie rosnąca wraz z postępującym pęknięciem zmęczeniowym. Strefa całkowitego przełomu 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.

a)

b)

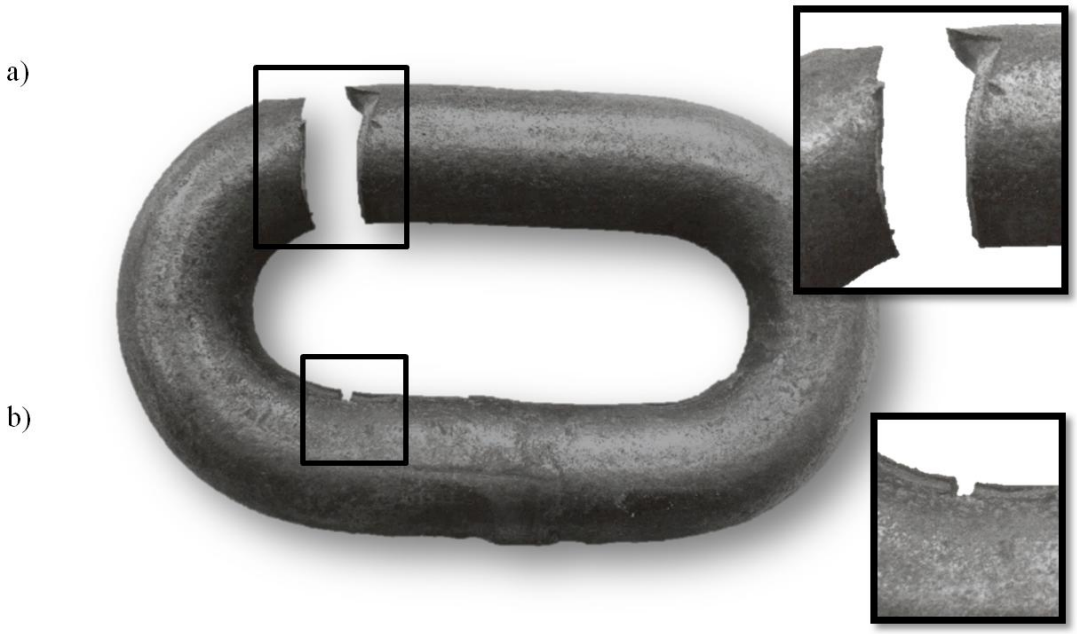
c)



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

samego 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 ogniw wiąże się duży rozrzut wartości trwałości zmęczeniowej, to jest liczby pełnych zmęczeniowych cykli badawczych do całkowitego przełomu jednego z ogniw próbki łańcuchowej o określonej normą liczbie ogniw. 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° w stosunku do powierzchni zewnętrznej ogniwa (przykładową strefę całkowitego przełomu ogniwa łańcucha wielkości 30x108 przedstawiono na rysunku 11). Świadczy to o dużym udziale naprężeń stycznych w procesie pękania ogniw łańcuchów, w końcowej fazie ich niszczenia. Początek pękania 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° do powierzchni, b) ujawnione pęknięcie zmęczeniowe w innym przekroju [opracowanie własne]

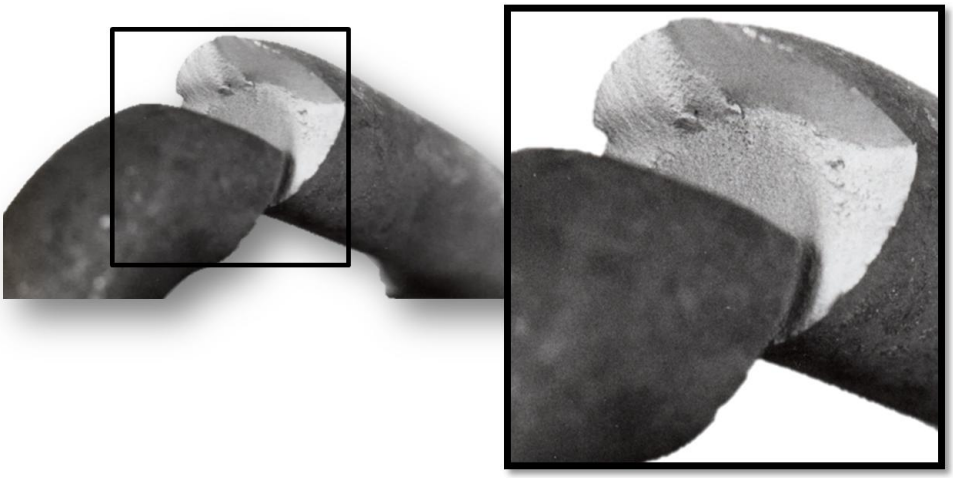
Rys. 9. Widok linii przystankowych na przełomie zmęczeniowym ogniwa łańcucha górniczego [opracowanie własne]

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

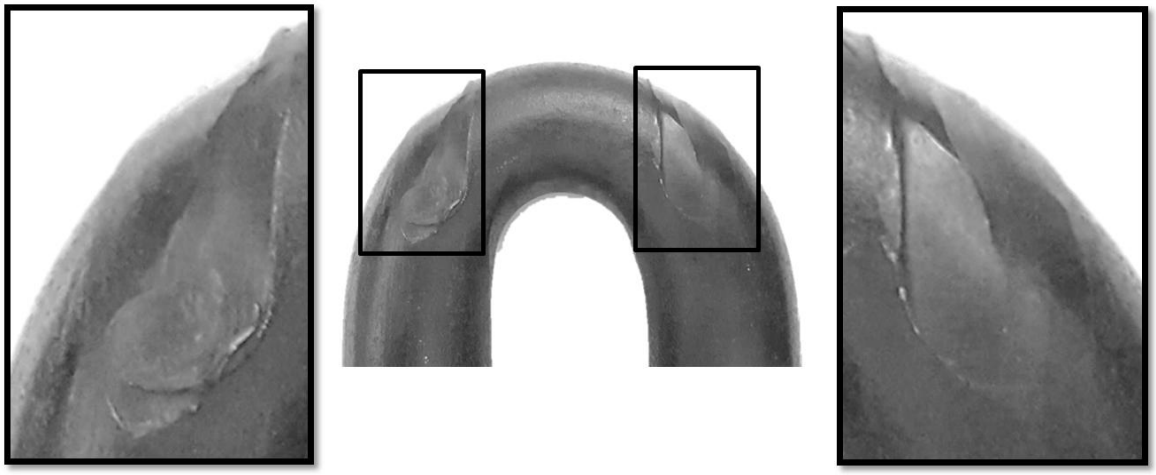
niszczenia na zewnętrznych łukach ogniw w wyniku współpracy z zębami bębnów napędowych w napędzie głównym i pomocniczym. W tych strefach ogniw naciski stykowe są ekstremalnie wysokie. Rosną one silnie wraz ze wzrostem mocy napędów i wartości obciążeń dynamicznych występujących w łańcuchach pociągowych,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

W praktyce eksploatacyjnej maszyn ścianowych rozpatrywane naciski stykowe są na tyle duże, że powodują często znaczne odkształcenia plastyczne materiału na łukach ogniw poziomych już na początkowym etapie eksploatacji. Obserwować można charakterystyczne przewalcowanie materiału ogniw podczas kontaktu ogniw z zębami bębnów. 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 ogniw łańcucha z zębami bębnów napędowych i zużycia ściernego przedstawione są, między innymi, w pracach [2, 3, 14, 15].

Rys. 10. Widok stref zmęczeniowych pęknięć pręta ogniw 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 ogniw w strefie łuków traci posiadany na początku zapas plastyczności. Powstają wówczas strefy o znacznie powiększonej skłonności do kruchego pękania. Tworzące się uskoki i wypływki na powierzchni ogniw 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 ogniw pionowych. W tym celu zaleca się obrócić łańcuch wokół jego osi o 90°. Służy to również korzystnie ogniwom pionowym, w których pojawia się siatka pęknięć tarciowych opisanych wcześniej. Również celowym jest stosowanie w przenośnikach zgrzebłowych odwracania łańcucha w układzie przód-tył oraz w mniejszym stopniu odwracanie łańcucha o 180° 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 ogniwowe górnicze stosowane w układach pociągowych maszyn ścianowych są narażone na działanie bardzo dużego obciążenia dynamicznego oraz wielu procesów niszczących, takich jak korozja, zużycie ścierne, 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 ogniwowego górniczego pracującego w przenośnikach zgrzebłowych zaleca się jego odwracanie po określonym okresie użytkowania (obrót wokół osi podłużnej o 90° lub 180°). 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 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.: Dinamika skrebkovych konweerov. Wiestnik Kuzbasskogo Gosudarstwennogo 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 cięgien łańcuchowych zgrzebłowych przenośników ścianowych w wybranych kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy 2011, T.67, nr 11

[9] Mikuła S.: Trwałość zmęczeniowa cięgien 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 zgrzebłowego 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_ (21.09.2017)

[18] 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 wydobycia, 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

Identyfikacja zagrożeń, jako jeden z elementów procesu projektowania maszyn górniczych

mgr inż. Marek Majewski
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Obowiązujące przepisy zawarte w dyrektywie maszynowej 2006/42/WE wymagają, przy projektowaniu maszyn eliminowania zagrożeń, redukcji ryzyka do akceptowalnego poziomu. Służy temu przeprowadzenie procesu oceny ryzyka. Ocena ryzyka przeprowadzona na etapie projektowania, pozwala na stwierdzenie czy podjęte działania odpowiadają aktualnemu poziomowi wiedzy. Proces oceny ryzyka wymaga systematycznej identyfikacji możliwych do przewidzenia zagrożeń, niebezpiecznych sytuacji i/lub zdarzeń, we wszystkich etapach życia maszyny.

Abstract:

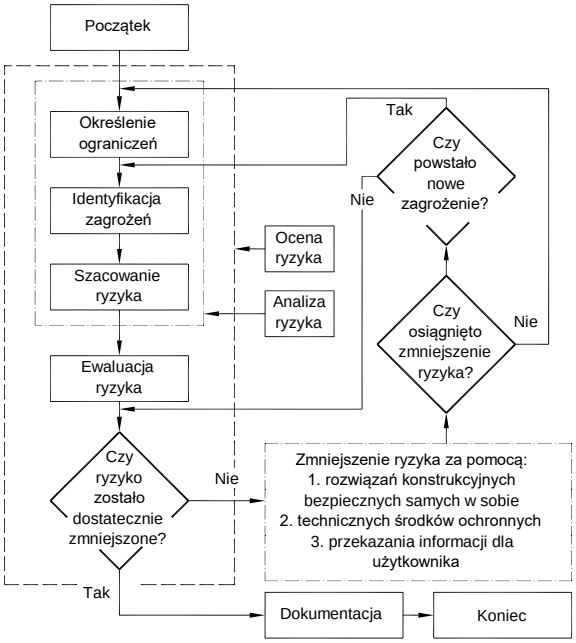
Current regulations included in directive No 2006/42/EC require elimination of hazards and risk at the stage of designing the mining machines to the acceptable level. Rick assessment is used for that purpose. Rick assessment at the stage of designing enables concluding if all the undertaken measures are in accordance with the state of the art and legal requirements. Risk assessment requires systematic identification of possible hazards, dangerous situations and/or events at all stages of the machine life.

Słowa kluczowe: maszyny górnicze, zagrożenia, ocena ryzyka, sposoby eliminacji zagrożeń

Keywords: mining machines, hazards, rick assessment, methods for elimination of hazards

1. Wprowadzenie

Maszyny górnicze są projektowane zgodnie z wymaganiami zawartymi w dyrektywie maszynowej [3] i w normach zharmonizowanych tak, aby mogły być stosowane w podziemnych zakładach górniczych, w warunkach zagrożenia wybuchem gazu i/lub pyłu palnego.



Rys. 1. Proces oceny oraz redukcji ryzyka [opracowanie własne na podstawie [13]]

Obowiązujące przepisy [3] wymagają stosowania rozwiązań, przede wszystkim konstrukcyjnych, eliminujących zagrożenia i redukujących ryzyko do akceptowalnego poziomu [1]. Można to osiągnąć poprzez uwzględnienie w procesie projektowania wyników oceny ryzyka, obejmującej analizę i ewaluację ryzyka. Proces oceny ryzyka jest przedstawiony na rysunku 1.

Analiza ryzyka rozpoczyna się od zidentyfikowania w obiekcie technicznym ograniczeń, wynikających z określonych przepisów, w tym ograniczeń przestrzennych, czasowych, jak również zakresu użytkowania:

- zgodnego z przeznaczeniem, z uwzględnieniem rodzajów pracy oraz różnych sposobów ingerencji operatorów (zapis w instrukcji maszyny),
- nieprawidłowego, dającego się przewidzieć w rozsądny sposób (zapis w instrukcji maszyny),
- zabronionego (zapis w instrukcji maszyny).

Kolejnym etapem jest wyznaczenie ewentualnej szkody i prawdopodobieństwa jej wystąpienia, w odniesieniu do każdego zagrożenia. W końcowym etapie analizy określa się czy cele związane z redukcją ryzyka zostały osiągnięte (ewaluacja ryzyka) [13] np. poprzez zastosowanie środków ochronnych.

Ocena ryzyka przeprowadzona na etapie projektowania pozwala stwierdzić czy podjęte działania odpowiadają aktualnemu poziomowi wiedzy technicznej i wymaganiom prawnym. Przekazanie poprawnie zaprojektowanej maszyny do eksploatacji wraz z towarzyszącą jej instrukcją, przy przyjętym poziomie ryzyka, umożliwia odpowiednią organizację prac, przyjętą w ramach systemu zarządzania bezpieczeństwem.

Na rysunku 1 opisano proces mający na celu maksymalne zmniejszenie ryzyka. Jeśli odpowiedź na pytanie „Czy ryzyko zostało dostatecznie zmniejszone?” brzmi „Nie”, należy koniecznie powtórzyć proces oceny ryzyka z wykorzystaniem dostępnych, najnowszych rozwiązań technicznych. Proces powinien uwzględniać następujące czynniki [13]:

- bezpieczeństwo maszyny we wszystkich fazach jej życia,
- zdolność maszyny do realizacji przypisanych funkcji,
- użyteczność maszyny,
- koszty wykonania, eksploatacji i demontażu.

2. Identyfikacja zagrożeń i sposoby ich redukcji

Pierwszym etapem w procesie oceny ryzyka jest systematyczna identyfikacja możliwych do przewidzenia zagrożeń, niebezpiecznych sytuacji i/lub niebezpiecznych zdarzeń, we wszystkich etapach życia maszyny. W niniejszym artykule omówiono zagrożenia, sytuacje i zdarzenia związane z maszynami górniczymi użytkowanymi w warunkach zagrożenia wybuchem gazu kopalnianego i/lub pyłu węglowego podlegające normom i badaniom według dyrektywy w odniesieniu do urządzeń grupy I kategorii M2 Ex [4].

2.1. Zagrożenia mechaniczne związane z przyśpieszeniem i opóźnieniem

Zagrożenia wynikające z przyśpieszenia lub opóźnienia są związane z ruchem maszyny lub jej ruchomych podzespołów w przestrzeni o ograniczonej objętości wyrobiska górniczego (tabela 1).

Ograniczenie tego zagrożenia polega na:

- użytkowaniu maszyny zgodnie z przeznaczeniem – według zapisów w instrukcji,
- prowadzeniu wszelkich prac z wykorzystaniem maszyny zgodnie z obowiązującymi przepisami BHP [6] oraz wewnętrznymi przepisami w danym zakładzie górniczym – według zapisów w instrukcji,
- angażowaniu do obsługi maszyny osób przeszkolonych i uprawnionych – według zapisów w instrukcji,
- stosowaniu sygnałów akustycznych i/lub optycznych ostrzegających przed uruchomieniem maszyny oraz zmianą kierunku ruchu (jazda do tyłu) – według zapisów w instrukcji,
- zwróceniu przez obsługę uwagi na możliwość pojawienia się w strefie zagrożenia ruchem osób niezwiązanych z obsługą pracy maszyny – według zapisów w instrukcji,
- dostarczeniu do każdej maszyny instrukcji.

Zagrożenia związane z przyśpieszeniem i opóźnieniem [2, 13]

Tabela 1

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Przyśpieszenie, opóźnienie** (energia kinetyczna) wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Rzucenie, skaleczenie lub obcięcie, starcie lub obtarcie, uderzenie, upadek, przejechanie	Nieodpowiednie zachowanie operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny do dających się w rozsądny sposób przewidzieć warunków użytkowania
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.4.1, 6.4.3, 6.4.4, 6.4.5 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej Badanie funkcjonalne maszyny	

Sprawdzenie zastosowania powyższych środków polega na kontroli umieszczenia odpowiednich zapisów w instrukcji użytkowania maszyny na stanowisku pracy w zakładzie górniczym.

W punkcie 6.2.2.1 normy [13] zamieszczono zalecenie unikania ostrych krawędzi i naroży. Zagrożenie wynikające z możliwości wystąpienia części ostro zakończonych jest redukowane w procesie projektowania i wytwarzania poszczególnych detali konstrukcji mechanicznej (tabela 2). Na rysunkach konstrukcyjnych poszczególnych elementów umieszcza się uwagi nakazujące stępienie ostrych krawędzi. Wszystkie elementy muszą być wykonane zgodnie

z warunkami technicznymi (WT). Elementy składowe maszyny muszą być o takim kształcie i wzajemnym położeniu, aby ich przemieszczanie nie powodowało zagrożenia zgnieceniem lub cięciem. Powierzchnie powinny być o wymaganej chropowatości, zgodnej z dokumentacją.

Podczas montażu i demontażu podzespołów maszyny należy przestrzegać zapisów zawartych w instrukcji.

Zagrożenia związane z częściami ostro zakończonymi [2, 13]

Tabela 2

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Części ostro zakończone** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Skaleczenie lub obcięcie, starcie lub obtarcie, ścięcie	Ostre krawędzie i kąty, nieodpowiedni kształt i położenie względne mechanicznych części składowych, pozostawienie wystających fragmentów
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i bezpieczeństwa osób znajdujących się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.2.1 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej oraz zgodności wykonania	

Powyższe przykłady zagrożeń mechanicznych wraz z pozostałymi wskazanymi w normie [13] należy eliminować na etapie projektowania poprzez wskazanie sposobów ich uniknięcia.

2.2. Zagrożenia termiczne

Kolejną grupą zagrożeń, są zagrożenia termiczne spowodowane nagrzanymi powierzchniami lub rozgrzanym czynnikiem roboczym np. olejem hydraulicznym (tabela 3).

Zagrożenia związane z wybuchem [2, 13]

Tabela 3

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Wybuch** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Oparzenia, obrażenia na skutek promieniowania cieplnego, zapalenie się metanu	Brak wyposażenia zapewniającego utrzymanie temperatury materiałów palnych poniżej punktu zapłonu
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby obsługi stanowiska pracy	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.3, 6.2.4 [13] – PN-EN ISO 80079:2016-07 punkt 5, 6.2.4, 8.2 [14]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie zapisów w dokumentacji technicznej oraz przeprowadzenie pomiarów temperatury powierzchni	

W skład wyposażenia elektrycznego maszyny wchodzą czujniki poziomu i temperatury oleju hydraulicznego. Czujniki są włączone w obwód sterowania i w razie wykrycia niedopuszczalnych parametrów (zbyt wysoka temperatura lub zbyt niski poziom oleju) powodują zasygnalizowanie tego stanu i/lub zatrzymanie maszyny. Ponowne załączenie jest możliwe po uzupełnieniu oleju i/lub jego ostygnięciu.

Dla maszyn grupy I kategorii M2 należy rozważyć zagrożenie wybuchem zgodnie z wymaganiami 2014/34/UE [4] oraz normy zharmonizowanej PN-EN ISO 80079-36:2016-07 [14] wynikające z możliwości zapalenia się metanu i/lub pyłu węglowego od rozgrzanych powierzchni maszyny. Ocena powinna wykazać wszystkie potencjalne źródła zapłonu. Temperaturę powierzchni określa się podczas próby nagrzewania przy maksymalnym obciążeniu określonym przez producenta.

Zaleca się również przestrzeganie zasady (tabela 4), aby wszystkie elementy maszyny do wysokości 1,8 m od powierzchni każdej drogi dostępu lub od podłoża, były skonstruowane i wykonane tak, aby nie był możliwy uraz spowodowany zetknięciem się z gorącymi powierzchniami [7]. W instrukcji oryginalnej dołączonej do maszyny powinny być pokazane kanały do prowadzenia gorących przewodów hydraulicznych i zabudowane osłony.

Zagrożenia związane z obiektami lub materiałami o wysokiej temperaturze [2, 13]

Tabela 4

Pochodzenie zagrożenia – **Obiekty lub materiały o wysokiej temperaturze** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
	Oparzenia, obrażenia na skutek promieniowania cieplnego	Brak barier ochronnych uniemożliwiających zetknięcie osób z nagrzanymi elementami lub niewłaściwe osłony
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby obsługi stanowiska pracy	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: −PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.8, 6.3.2.7, 6.3.3.2.1 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej	

2.3. Zagrożenia związane z hałasem

Podczas projektowania maszyny należy również dążyć do ograniczenia źródeł hałasu powodowanych poprzez pracę (tabela 5) oraz zastosować wyważanie statyczne i dynamiczne elementów wirujących (tabela 6). Wszystkie elementy napędowe będące źródłem hałasu powinny być zabudowane w przestrzeniach zamkniętych konstrukcji maszyny. Należy zastosować dodatkowe środki w postaci osłon. Osłony należy pokazać na zdjęciach w instrukcji. Operator oraz osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny powinny zostać wyposażone w środki ochrony słuchu oraz poinformowane o konieczności ich stosowania.

Zagrożenia związane z pracą maszyny w zakładzie górniczym [2, 13]

Tabela 5

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Proces produkcji** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Niewygoda, utrata świadomości, utrata równowagi, trwałe uszkodzenie słuchu, stres, dzwonienie w uszach, zmęczenie, inne w efekcie działania informacji głosowych bądź sygnałów dźwiękowych	Brak ograniczenia emisji hałasu poprzez wpływanie na prawidłowy dobór urządzeń przy projektowaniu lub stosowanie niewłaściwych osłon
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.2.2, 6.2.3, 6.2.4, 6.3.1, 6.3.2.1, 6.3.4.2, 6.4.3 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Pomiar hałasu, zapis w instrukcji o konieczności używania ochronników słuchu	

Zagrożenia związane z poruszającymi się częściami będącymi źródłem hałasu [2, 13]

Tabela 6

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Poruszające się części** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Niewygoda, utrata świadomości, utrata równowagi, trwałe uszkodzenie słuchu, stres, dzwonienie w uszach, zmęczenie,	Brak ograniczenia emisji hałasu poprzez wpływanie na prawidłowy dobór urządzeń przy projektowaniu lub stosowanie niewłaściwych osłon
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.3, 6.2.4, 6.3.2.1, 6.3.4.2, 6.4.3 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Pomiar hałasu, zapis w instrukcji o konieczności używania ochronników słuchu	

Należy ograniczyć prędkość przemieszczających się mechanizmów (np. ramię w ładowarkach) aby wyeliminować hałas związany z ruchem.

2.4. Zagrożenia związane z drganiami

Wszystkie ruchome części i ich gniazda powinny być zaprojektowane zgodnie z dobrą praktyką inżynierską z zachowaniem tolerancji przewidzianej dla ruchomych podzespołów (tabela 7).

Zagrożenia związane z brakiem współosiowości ruchomych części [2, 13]

Tabela 7

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Niewspółosiowość ruchomych części** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Niewygoda, choroby kręgosłupa, zaburzenia neurologiczne, zaburzenia kostno stawowe, uraz kręgosłupa, zaburzenia naczyniowe	Brak ograniczenia emisji drgań poprzez nieprawidłowe zaprojektowanie urządzeń, niestaranny montaż oraz niewłaściwe urządzenia tłumiące
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.2.2, 6.2.3, 6.2.8, 6.3.3.2.1, 6.3.4.3, 6.4.5.1 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Pomiar drgań na siedzisku operatora	

Zagrożenia związane z brakiem wyważenia części wirujących [2, 13]

Tabela 8

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Niewyważone części wirujące** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Niewygoda, choroby kręgosłupa, zaburzenia neurologiczne, zaburzenia kostno stawowe, uraz kręgosłupa, zaburzenia naczyniowe	Nieprawidłowe zaprojektowanie urządzenia, niestaranne wykonanie i montaż oraz niewłaściwe urządzenia tłumiące
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.2.2, 6.2.3, 6.2.8, 6.3.3.2.1, 6.3.4.3, 6.4.5.1 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej, pomiar drgań na siedzisku operatora	

Wirujące części zabudowane w maszynie powinny zostać wyważone (tabela 8) oraz należy zastosować dodatkowe środki ochronne:

- urządzenia tłumienia drgań w postaci poduszek gumowych pod silnik elektryczny i przekładnie,
- zawieszenie na sprężynach siedziska operatora.

2.5. Zagrożenia związane z zasadami ergonomii

Konstrukcja maszyny górniczej powinna zapewniać obsłudze (tabela 9):

- łatwość dostępu do poszczególnych podzespołów z uwzględnieniem otoczenia i wymiarów ludzkiego ciała, łącznie z wymiarami odzieży roboczej i używanych narzędzi,
- łatwość przemieszczania się po konstrukcji maszyny z uwzględnieniem możliwości fizycznych człowieka,
- ograniczenie liczby narzędzi specjalnych i wyposażenia specjalnego (opis stosowanych narzędzi powinien być zawarty w instrukcji dołączonej do maszyny),
- dostępność do punktów kontrolnych i smarowniczych (opis w instrukcji).

Zagrożenia związane z brakiem dostępności [2, 13]

Tabela 9

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Dostępność** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Niewygoda, zmęczenie, zaburzenia kostno szkieletowe, stres, inne jako konsekwencja błędu człowieka	Niewłaściwy dobór cech konstrukcyjnych maszyny nie uwzględniających czynnika ludzkiego
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.2.1, 6.2.7, 6.2.8, 6.3.2.1, 6.3.3.2.1 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej	

Na stanowisku operatora powinny być rozmieszczone wskaźniki i elementy sterownicze, które:

- zapewniają odczyt wskazywanych parametrów, bez przyjmowania uciążliwej pozycji ciała przez obsługującego,
- są widoczne, rozpoznawalne i odpowiednio oznakowane,
- zapewniają bezpieczną obsługę, bez wahania i wątpliwości lub straty czasu,
- poruszają się zgodnie z sygnałem sterowania,
- zakresem ruchu i oporów aktywizacji powinny być dostosowane do obsługującego.

Przy projektowaniu powinny być uwzględnione zasady ergonomii w celu zmniejszenia obciążenia psychicznego, fizycznego oraz wysiłku obsługującego poprzez (tabela 10):

- ograniczenie hałasu, drgań i efektów termicznych,
- dobór, umiejscowienie i rozpoznawalność wskaźników dostosowanych do możliwości postrzegania przez człowieka ze stanowiska sterowania,
- dobór, umiejscowienie, rozpoznawalność i oznakowanie elementów sterowniczych ręcznych, z ograniczeniem potrzebnej siły do ich przestawienia o ruchu zgodnym z efektami sterowania,

– dostępność przycisków ze stanowiska sterowania,
– widoczność ze stanowiska operatora osób mogących się pojawić w strefach zagrożenia.

W miejscu pracy maszyny może być zabudowane oświetlenie ogólne (tabela 10). Emitowane przez nie światło jest przeważnie niewystarczające do oświetlenia miejsca pracy. Każda osoba obsługi posiada własną lampę oświetleniową, a na maszynie może być zabudowany reflektor, pozwalający na uniknięcie migotania światła oraz nie dający efektu stroboskopowego. Olśnienie światłem można uniknąć poprzez właściwe ustawienie reflektora (opis w instrukcji).

Zagrożenia związane z brakiem widoczności [2, 13]

Tabela 10

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Widoczność** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Niewygoda, zmęczenie, zaburzenia kostno szkieletowe, stres, inne jako konsekwencja błędu człowieka	Niewłaściwy dobór cech konstrukcyjnych maszyny nie uwzględniających czynnika ludzkiego
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.2.1, 6.2.7, 6.2.8, 6.3.2.1, 6.3.3.2.1 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej oraz sprawdzenie widoczności ze stanowiska sterowniczego	

Większość maszyn górniczych nie działa w automatycznym rytmie pracy. Przeważnie są pasywne, a ich działanie wynika ze sterowania nimi przez operatora. Warunki górnicze nigdy nie wymuszają na operatorze nużących i stale powtarzających się czynności. W instrukcji powinien być zawarty opis działania maszyny i jej funkcji sterowniczych.

W niniejszym punkcie podano wybrane przykłady zagrożeń wynikających z nie uwzględniania ergonomii, które należy eliminować na etapie projektowania. Pozostałe zagrożenia związane z ergonomią wskazane w normie [13] należy uwzględnić i wskazać sposoby ich uniknięcia.

2.6. Zagrożenia związane ze środowiskiem

Zwykle maszyna górnicza i jej wyposażenie powinno być dostosowane do pracy w temperaturze otoczenia od -20°C do +40°C, przy wilgotności względnej do 95% przy 20°C. Zakres warunków środowiskowych jest związany z miejscem jej pracy w wyrobiskach podziemnych kopalni i jest zgodny z normą PN-EN 60079-0:2013-03 [8] dotyczącą urządzeń elektrycznych stanowiących wyposażenie maszyny (tabela 11).

Zagrożenia związane z wilgocią i temperaturą [2, 13]

Tabela 11

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Wilgoć, temperatura** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Nieprawidłowa praca urządzeń elektrycznych	Niewłaściwy dobór cech konstrukcyjnych urządzenia nie uwzględniających warunków środowiskowych
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.2.1, 6.4.5.1 [13]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej	

Wyposażenie elektryczne maszyny powinno posiadać stopień ochrony, zapewniany przez obudowy, przed wnikaniem ciał stałych i wody co najmniej IP54. Elementy maszyny powinny być pokryte warstwą ochronną i odporne na korozję.

Zagrożenie zjawiskiem elektromagnetycznym jest związane z oddziaływaniem silnego pola magnetycznego na człowieka oraz z indukowaniem się prądu elektrycznego podczas rozłączania obwodów siłowych zasilających silniki i transformatory dużej mocy.

Zagrożenia związane z zakłóceniami elektromagnetycznymi [2, 13]

Tabela 12

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Zakłócenia elektromagnetyczne** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Konsekwencja działania źródła zagrożenia w urządzeniu lub jego części	Niewłaściwy dobór cech konstrukcyjnych urządzenia nie uwzględniający warunków środowiskowych
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora i osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.11, 6.3.3.2, 6.3.5.4 [13] – PN-EN 61000-6-2 [11] (odporność na środowisko przemysłowe) – PN-EN 61000-6-4 [12] (wymagania dotyczące emisji)	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej Sprawdzenie funkcjonalności wg PN-EN 60204-1:2010 punkt 7.9 [10], badanie odporności wg normy PN-EN 61000-6-2 [11] oraz emisji zakłóceń wg normy PN-EN 61000-6-4 [12]	

Urządzenia elektryczne pracujące w środowisku przemysłowym (tabela 12) zasilane z sieci przemysłowej powinny spełniać określone przez konstruktorów wymagania dotyczące emisji elektromagnetycznej mogącej powodować zakłócenia w pracy innych urządzeń oraz wykazywać się odpornością na zjawiska elektromagnetyczne powodowane przez inne urządzenia występujące ciągle lub przejściowo w danym środowisku oraz na wyładowania elektrostatyczne. Badanie urządzenia przeprowadza się po wykonaniu prototypu.

Norma PN-EN ISO 12100:2012 [13] odnosi się do wymagań dotyczących osłon. Zastosowanie osłon metalowych rozprasza i ogranicza oddziaływanie silnych pól elektromagnetycznych. Osłony projektuje się na etapie wykonywania dokumentacji technicznej.

Wyposażenie elektryczne maszyny powinno być zabezpieczone przed skutkami zakłóceń elektromagnetycznych mogących wystąpić pod wpływem określonego środowiska. Elementy wyposażenia elektrycznego powinny być opisane w instrukcji.

2.7. Zagrożenia elektryczne

W skład wyposażenia elektrycznego maszyn wchodzi aparatura łączeniowa. Podczas przełączania obwodów siłowych może dochodzić do pojawiania się pomiędzy stykami łączników łuku elektrycznego. Norma PN-EN ISO 12100:2012 [13] omawiająca zasady bezpieczeństwa podczas projektowania maszyn, w punkcie 6.2.9 odnosi się do zagrożeń elektrycznych, wymienionych w normie PN-EN 60204-1:2010 [10], którą należy posługiwać się podczas doboru elementów wyposażenia elektrycznego. Norma PN-EN 60204-1:2010 [10] określa wymagania dotyczące:

- rozłączania i załączania obwodów elektrycznych – punkt 5,
- ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym – punkt 5,
- wprowadzenia przewodów zasilających do skrzyń aparaturowych, przekrojów i obciążalności przewodów – punkt 5,
- zacisków przewodów ochronnych – punkt 5,
- odłączników izolujących od zasilania urządzenia maszyny – punkt 5,
- urządzeń zapewniających ochronę przed załączeniem nieuprawnionym, przypadkowym i/lub pomyłkowym – punkt 5,
- ochrony wyposażenia elektrycznego za pomocą zabezpieczeń:
  - nadprądowych – punkt 7,
  - przeciążeniowych – punkt 7,
  - temperaturowych (przed nadmiernym wzrostem temperatury) – punkt 7,
  - przed przerwą w zasilaniu lub obniżeniem napięcia i jego powrotem – punkt 7,
  - pomiaru rezystancji doziemnej lub upływowej – punkt 7,
- podłączenia do obwodów wyrównawczych i ochronnych – punkt 8.2,
- obwodów sterowniczych i zatrzymania awaryjnego – punkt 9,
- stopnia ochrony przed wnikaniem wody i ciał stałych – punkt 11.3,
- izolacji i wielkości napięć probierczych stosowanych do pomiaru rezystancji izolacji – punkt 12.3,
- oznakowania ostrzegawczego, działania oraz identyfikacji funkcji łączników – punkt 16.

Przy projektowaniu wyposażenia elektrycznego maszyn górniczych należy posługiwać się dodatkowo normami dotyczącymi urządzeń elektrycznych przeznaczonych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

Norma PN-EN ISO 60079-0:2013-02 [8], w punkcie 8.2, określa skład materiałowy z jakiego mogą być wykonane osłony budowy przeciwwybuchowej, a w punkcie 26.4 są zawarte wymagania dotyczące stopni ochrony IP zapewnianych przez obudowy.

W normie PN-EN 60079-1:2014-12 [9], w punkcie 15, są określone wymagania dotyczące długości złączy ognioszczelnych nieprzenoszących wybuch, natomiast w punkcie 17 są określone wymagania dotyczące aparatury łączeniowej dla grupy I, zawierające środki odłączające obwody od zasilania elektrycznego podczas otwierania osłon ognioszczelnych.

Realizacja postanowień zawartych w normach oraz zastosowanie aparatury o parametrach dostosowanych do warunków pracy maszyny powoduje ograniczenie dostępu do miejsc potencjalnie niebezpiecznych, szczególnie narażonych na możliwość pojawienia się łuku elektrycznego (tabela 13). Podjęte działania na etapie projektowania, poprzez dobór aparatury i osłon, zgodne z tabelą B1 normy PN-EN 12100:2012 [13], minimalizują ryzyko związane z zagrożeniem łukiem elektrycznym. Dzięki zastosowaniu środków ochronnych eliminowane są zagrożenia i podejmowane są działania zapewniające bezpieczne użytkowanie maszyny przez operatora oraz obsługę wyposażenia elektrycznego.

Zagrożenie elektryczne związane z łukiem elektrycznym [2, 13]

Tabela 13

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Łuk** wg PN-EN ISO 12100:2012 tabela B1 [13]	Oparzenia, ogień, wyrzut stopionych cząstek metali, upadek, promieniowanie termiczne	Nieprawidłowy dobór urządzeń do warunków zasilania (moc zwarciowa)
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora oraz osoby znajdujące się w strefie oddziaływania maszyny	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.9 [13] – PN-EN 60204-1:2010 punkt 5, 7, 8.2, 9, 11.3, 12.3, 16.2 [10] – PN-EN 60079-0:2013-03 punkt 8.2, 26.4.5 [8] – PN-EN 60079-1:2014-12 punkt 15.2, 17 [9]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej	

Poprzez zagrożenie częściami czynnymi należy rozumieć dostęp do nieosłoniętych oraz nieizolowanych, będących pod napięciem i przewodzących prąd, elementów obwodu elektrycznego. Dostęp do nieosłoniętych elementów powoduje dla obsługi zagrożenie porażenia prądem elektrycznym oraz możliwość wystąpienia przypadkowego zwarcia poprzez zetknięcie się części czynnych z metalowymi częściami konstrukcji maszyny.

Zagrożenie elektryczne związane z części czynnymi [2, 13]

Tabela 14

Pochodzenie zagrożenia – **Części czynne** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
	Śmiertelne porażenie prądem, porażenie prądem, oparzenia, wpływ na implanty, upadek, rzucenie	Dotknięcie przez obsługę części, które są czynne – przewodzą prąd podczas pracy, stały się czynne na skutek defektu
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora oraz obsługę wyposażenia elektrycznego	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 [9] punkt 6.2.9, 6.3.3.2 [13], – PN-EN 60204-1:2010 [6] punkt 5.3, 6.2, 7.7, 11.3, 12.3, 16.2 [10]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej Badanie wg PN-EN 60204-1:2010 punkt 18.3 [10] Badanie wg PN-EN 60204-1:2010 [6] punkt 18.4 [10]	

W normie PN-EN ISO 12100:2012 [13] do eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka związanego z dostępnością elementów pod napięciem, w punkcie 6.2.9, zaleca się wyposażenie aparatury elektrycznej w ochronę przed porażeniem elektrycznym w postaci osłon (tabela 14). Norma PN-EN 60204-1:2010 [10] w punktach 5.3, 6.2, 7.7, 11.3, 12.3, 16.2 uzupełnia powyższe zalecenie, o:

- urządzenia izolujące i odłączające maszynę od zasilania,
- ochronę przed dotykiem bezpośrednim:
  - zapewnianą przez obudowę, do której jest możliwy dostęp przy użyciu specjalnych narzędzi,
  - odłączanie części czynnych przed otwarciem osłony,
  - zastosowanie stopni ochrony,
  - izolowanie części czynnych,
- ochronę przed dotykiem pośrednim, poprzez zastosowanie :
  - środków zapobiegających pojawieniu się napięć dotyku – przez zastosowanie odpowiedniej izolacji,
  - separacji obwodów elektrycznych,
  - środków samoczynnego odłączania od zasilania.

Sprawdzenie powyższych kryteriów odbywa się poprzez weryfikację dokumentacji technicznej, pomiar rezystancji izolacji oraz jej wytrzymałości elektrycznej.

Na etapie projektowania przeprowadza się dobór aparatury elektrycznej oraz jej rozmieszczenie w korpusach osłon tak, aby zachować właściwą odległość pomiędzy częściami będącymi pod napięciem a uziemionymi częściami maszyny.

Zagrożenie elektryczne związane z niewystarczającą odległością od miejsc czynnych pod napięciem [2, 13]

Tabela 15

	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Niewystarczająca odległość od miejsc czynnych pod napięciem** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Śmiertelne porażenie prądem, porażenie prądem, oparzenia, upadek, rzucenie, wpływ na implanty	Zbliżenie się człowieka do części czynnych, będących pod napięciem
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora oraz obsługę wyposażenia elektrycznego	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 punkt 6.2.9, 6.3.3 [13] – PN-EN 60204-1:2010 [2] punkt 6.2, 6,3, 7.7, 8, 9, 11.3, 11.4, 12.3, 16.2 [10]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej Badanie wg PN-EN 60204-1:2010 punkt 18.3 [10] Badanie wg PN-EN 60204-1:2010 punkt 18.4 [10]	

Zachowanie właściwych odległości w powietrzu i po izolacji zapewnia ochronę przeciwporażeniową oraz upływową (tabela 15). Sprawdzanie odbywa się przez pomiar odległości i porównanie jej z danymi podanymi we właściwych normach.

Maszyny górnicze są wyposażone w silniki napędowe przewidziane do określonego poboru mocy.

Zagrożenie elektryczne związane z przeciążeniem [2, 13]

Tabela 16

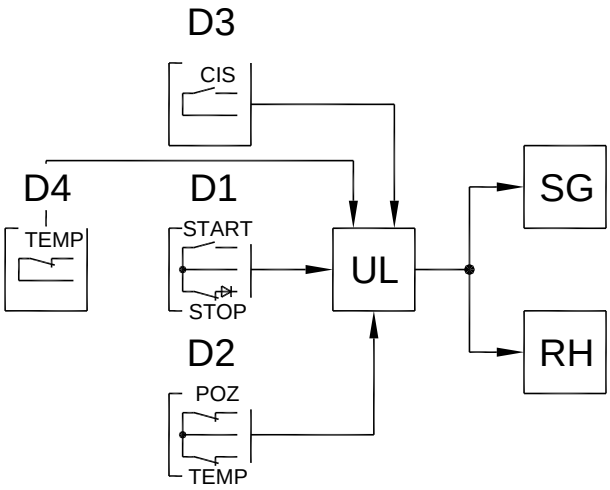
	Potencjalne konsekwencje	Przyczyna
Pochodzenie zagrożenia – **Przeciążenie** wg PN-EN ISO 12100:2012 tab. B1 [13]	Oparzenia, ogień, porażenie prądem	Dotknięcie przez obsługę części, które stały się czynne na skutek defektu, izolacja nieodpowiednia do dających się w sposób rozsądny przewidzieć warunków użytkowania, promieniowanie cieplne
Cel	Zapewnienie bezpiecznego użytkowania maszyny przez operatora oraz obsługę wyposażenia elektrycznego	
Podjęte kroki w celu eliminacji ryzyka lub ograniczenia ryzyka	Zastosowano środki zgodne z: – PN-EN ISO 12100:2012 [2] punkt 6.2.9 [13] – PN-EN 60204-1:2010 [2] punkt 7.3.2, 7.4, 12.4, 14.5, 16.4, 17.7 [10]	
Kryteria sprawdzenia	Sprawdzenie dokumentacji technicznej Badanie wg PN-EN 60204-1:2010 punkt 18.3 [10] Badanie wg PN-EN 60204-1:2010 punkt 18.4 [10] Badanie wg PN-EN 60204-1:2010 zał. D [10]	

W obwodach zasilania urządzeń odbiorczych są zabezpieczenia zwarciowe i przeciążeniowe.

2.8. Zagrożenia spowodowane układem sterowania

W procesie oceny ryzyka należy również uwzględnić zagrożenia związane z układem sterowania. Na rysunku 2 pokazano przykładowy schemat układu sterowania maszyny. Układ pełni następujące funkcje:

- załącza maszynę łącznikiem START umieszczonym w łączniku D1,
- wyłącza maszyny łącznikiem STOP umieszczonym w łączniku D1,
- kontroluje parametry pracy maszyny – czujniku D2, kontrola poziomu i temperatury oleju hydraulicznego w zbiorniku oleju,
- załącza sygnalizację dźwiękową, przy jeździe do tyłu, przez czujnik D3 – kontrola ciśnienia oleju,
- kontroluje ciągłość żyły uziemiającej poprowadzonej do silnika i temperatury silnika, przez czujnik D4 – kontrola temperatury uzwojeń silnika.



Rys. 2. Schemat blokowy układu sterowania [opracowanie własne]

Gdzie:

D1 – pulpit sterowniczy S2 oraz styk załączania START i wyłączania STOP,

D2 – czujnik poziomu i temperatury oleju hydraulicznego w zbiorniku oleju,

D3 – czujnik ciśnienia oleju (załączenie sygnalizacji dźwiękowej i/lub świetlnej przy jeździe do tyłu),

D4 – czujnik temperatury uzwojeń silnika,

UL – układ logiczny,

SG – układ wyjściowy – stycznik załączający,

RH – układ wyjściowy – rozdzielacz elektrohydrauliczny, zamknięty w czasie pracy maszyny, przy otwarciu kieruje spływ oleju z układu hydraulicznego do zbiornika.

Łączniki i czujniki współpracują z układem logicznym UL, który steruje układem wyjściowym, tj. stycznikiem SG oraz rozdzielaczem elektrohydraulicznym RH. Rozdzielacz RH jest zamknięty przy załączonym styczniku SG, a przy wyłączonym styczniku SG kieruje spływem oleju z układu hydraulicznego do zbiornika. Układ logiczny UL kontroluje ciągłość żyły uziemiającej poprowadzonej do silnika oraz temperaturę uzwojeń silnika elektrycznego.

Układowi sterowania można przypisać kategorię 1 – struktura jednokanałowa z układem diagnostycznym wykrywającym utratę funkcji bezpieczeństwa. Wyłączenie rozdzielacza RH realizuje funkcję zatrzymania awaryjnego.

Tego typu układy sterowania są powszechnie używane w maszynach górniczych, sprawdzają się i są pewne.

3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono zagrożenia związane z maszynami górniczymi. Na wybranych przykładach omówiono sposób ich eliminacji. Identyfikację zagrożeń omówiono na podstawie zapisów zawartych w normach dotyczących bezpieczeństwa maszyn. Normy dotyczące danej grupy maszyn w sposób ścisły określają jakie specyficzne wymagania powinny być spełnione. Natomiast normy dotyczące wyposażenia elektrycznego określają wymagania dotyczące osłon i parametrów elektrycznych obwodów. Spełnienie tych wymagań oraz doświadczenie pozwalają na eliminacje zagrożeń już na etapie projektowania. Dodatkowo, normy dotyczące bezpieczeństwa, ułatwiają przeprowadzenie w sposób prawidłowy ocenę ryzyka, której wynik pozwala na wprowadzenie środków ograniczających ryzyko związane ze wszystkimi zagrożeniami dotyczącymi danej maszyny do poziomu akceptowalnego.

Literatura

[1] Figiel A.: Ocena ryzyka w procesie projektowania maszyn i urządzeń przeznaczonych do stosowania w zakładach górniczych KOMTECH 2014, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo – Efektywność, ITG KOMAG, Gliwice 2014 s. 291-302, ISBH 978-83-60708-83-5

[2] Ocena ryzyka – Spągoładowarka BH 3000 ITG KOMAG 2017 (opracowanie własne)

[3] Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE

[4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego w sprawie harmonizacji ustawodawstwa państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze wybuchowej

[5] Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylającą dyrektywę 89/336/EWG

[6] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 9 czerwca 2017 w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych

[7] PN-EN 12111:2014-07 Maszyny do drążenia tuneli – Kombajny chodnikowe i maszyny do urabiania ciągłego – Wymagania bezpieczeństwa

[8] PN-EN 60079-0:2013-03 Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania

[9] PN-EN 60079-1:2014-12 Atmosfery wybuchowe – Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d”

[10] PN-EN 60204-1:2010 Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn – Część 1: Wymagania ogólne

[11] PN-EN 61000-6-2:2008 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 6-2: Normy ogólne – Odporność w środowiskach przemysłowych

[12] PN-EN 61000-6-4:2008 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 6-4 Normy ogólne – Norma emisji w środowisku przemysłowym

[13] PN-EN ISO 12100:2012 Bezpieczeństwo maszyn – Ogólne zasady projektowania – Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka

[14] PN-EN ISO 80079-36:2016-07 Atmosfery wybuchowe – Część 36: Urządzenia nieelektryczne do atmosfer wybuchowych – Metodyka i wymagania

Czy wiesz, że ....

...międzynarodowa grupa kapitałowa Glencore, po wielu staraniach, zdołała wreszcie zakupić od firmy Rio Tinto kopalnię w dolinie Hunter, położoną w regionie Nowej Południowej Walii w Australii. Ogłoszono, że została już podpisana umowa z Yancoal Australia, spółką zależną China Yanzhou Coal Mining, w sprawie nabycia 49% udziałów w kopalni węgla Hunter Valley Operations i utworzenia wspólnego przedsięwzięcia, po tym jak Yancoal przejęła część Rio's Coal & Allied na kwotę 2,69 mln USD. Ostatecznie Glencore wykupi 32% udziałów w kopalni Mitsubishi i uzyska kolejne 16,6% od firmy Yancoal. Połączone kopalnie Glencore w dolinie Hunter będą osiągały zdolność produkcyjną na poziomie 69 mln ton wysokiej jakości węgla energetycznego rocznie. Wysokie wydobycie ma na celu zaspokojenie rosnącego popytu w Azji. Według notowań ARA (Amsterdam-Rotterdam-Antwerpia) czy Richards Bay (RPA) cena węgla w lipcu tego roku przekroczyła 85 USD za tonę. W lipcu 2016 roku cena węgla oscylowała wokół 70 USD za tonę. Korzystne zmiany cen tego surowca mogą więc branżę wydobywczą napawać optymizmem.

World Coal 2017 nr 7 s.6

Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych

dr inż. Edward Pieczora
mgr inż. Hubert Suffner
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Przedstawiono w sposób syntetyczny rozwój dołowych kolejek podwieszonych linowych i jednoszynowych. Omówiono jednoszynowe kolejki z napędem linowym, a następnie spalinowym, zwracając uwagę na ich zalety i ograniczenia stosowania. Dokonano analizy unijnych i krajowych wymagań w zakresie toksyczności spalin wskazując na niekonsekwencje istniejących zapisów. Przedstawiono rozwiązania kolejek z napędem akumulatorowym, w tym opracowanego w KOMAG-u ciągnika GAD-1, jako kierunku przyszłościowego.

Abstract:

Development of cable underground suspended monorails is presented in a concise way. Monorails with a cable drive and then with diesel drives are discussed drawing attention to their advantages and limitations of their use. European Union and Polish regulations regarding the requirements exhaust gases toxicity are analysed indicating inconsistencies of the existing provisions. Design solutions of battery driven monorails including the GAD-1 drive train developed in KOMAG are given as the future trend

Słowa kluczowe: kolej podwieszona, kolej linowa, kolej jednoszynowa, napęd linowy, napęd spalinowy, napęd akumulatorowy

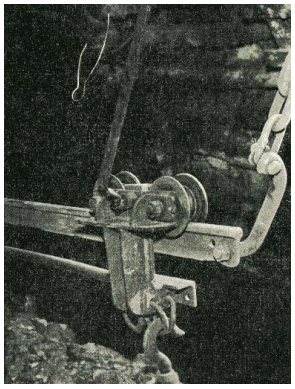
Keywords: suspended monorail, cable train, monorail, cable drive, diesel drive, battery drive

1. Wstęp

Transport kopalniany jest niezbędnym ogniwem procesu wydobywczego każdego zakładu górniczego. Mimo, że transport po spągu był stosowany od początku rozwoju górnictwa, a pierwsze tory kopalniane pojawiły się w XVII wieku, początek rozwoju transportu podwieszonego nastąpił dopiero w połowie XX wieku.

Opracowanie nowoczesnych kołowrotów linowych przyczyniło się do rozwoju nowego systemu transportu, z zastosowaniem zamontowanej pod stropem wyrobiska liny, stanowiącej trasę nośną (rys. 1). Podwieszone wózki przemieszczano ręcznie lub za pomocą wciągarek. W pierwszej połowie lat pięćdziesiątych XX-go wieku firma Esehweiler – Bergwerks – Vercin z Niemiec wprowadziła, jako element nośny, typową szynę kolei podziemnej (rys. 2), po główce której poruszały się wózki nośne ciągnięte przez linę, zaś transportowana masa dochodziła do 1000 kg. Podobne rozwiązania wprowadziła na rynek firma Becorit (i inne).

Rys. 1. Podwieszona kolej linowa [13]



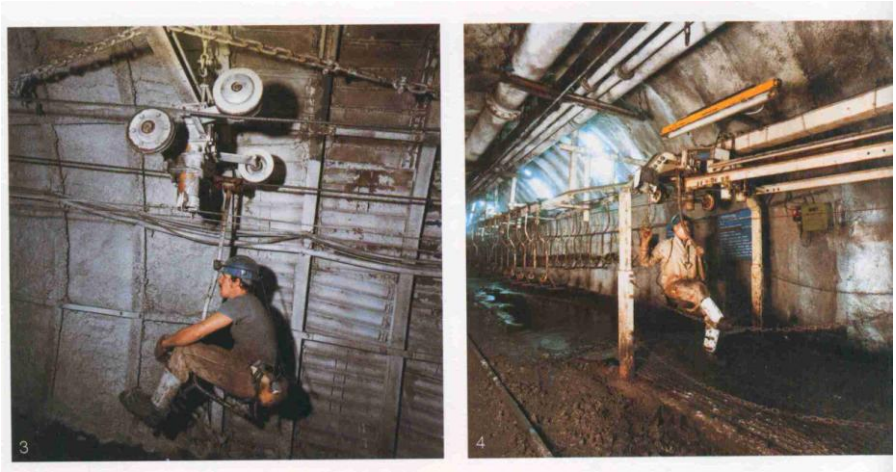
Rys. 2. Podwieszona kolej szynowa [13]

Rys. 3. Podwieszona kolej szynowa (trasa dwuteownikowa) z napędem linowym [13]

W 1956 roku niemiecka firma Scharf wdrożyła, jako element nośny toru podwieszonego, dwuteownik, przy zastosowaniu napędu linowego (rys. 3).

Zestaw transportowy składał się z wózka ciągnącego, wózków transportowych z wciągnikami ręcznymi, kontenerów i wózka hamulcowego. Taki system rozpowszechniono w kopalniach węgla Zagłębia Ruhry (Niemcy) po 1958, zaś firmy Becorit i Underground Mining Machinery (UMM) wprowadziły go w Wielkiej Brytanii, a firma Macanaub we Francji [5].

W latach 60-tych francuska firma Societe APOD opracowała i wdrożyła kolej linową krzesełkową do przewozu ludzi, w której lina stanowiła zarówno element nośny, jak i napędowy. Ideę tę rozwijały inne firmy, w tym niemiecka firma Scharf, której rozwiązanie pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Kolej linowa krzesełkowa firmy Scharf [11]

Znane są dwa rozwiązania techniczne ww. kolei: z krzesełkami zdejmowanymi i na stałe zamocowanymi do liny ciągnąco-nośnej. Kolej tego typu w latach 60-tych XX wieku była testowana również w Polsce, w kopalni Ziemowit.

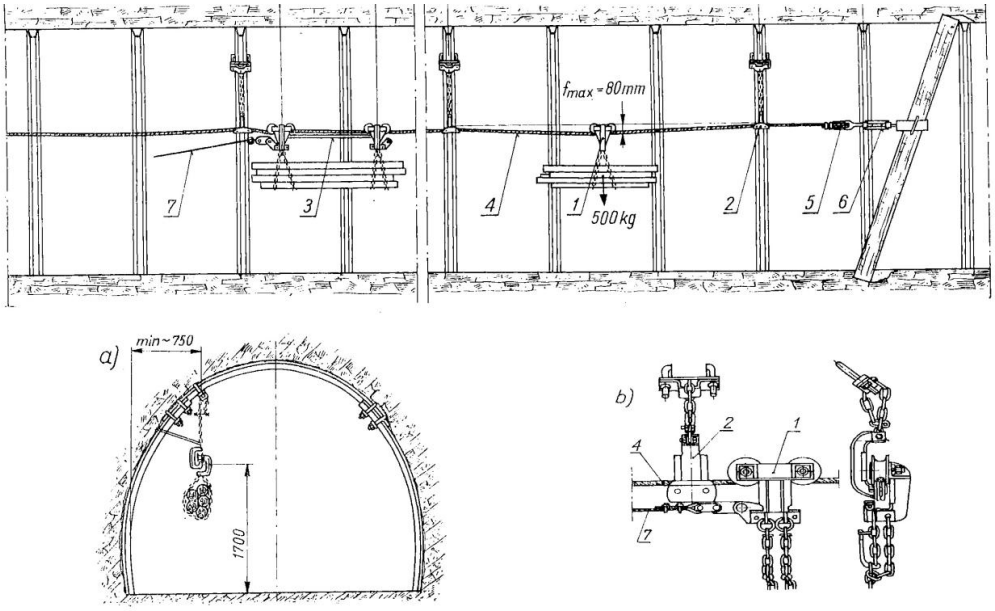
Pod koniec lat sześćdziesiątych rozwój podwieszonego transportu linowego w Europie Zachodniej praktycznie został zakończony. Okazało się, że możliwości zastosowania tego rodzaju transportu są ograniczone i trudno dostosować go do często zmieniających się w górnictwie warunków eksploatacyjnych. Napęd linowy zastąpiono przez mobilne urządzenia trakcyjne - podwieszony ciągnik (lokomotywę) z napędem spalinowym (wysokoprężnym). Pierwszy ciągnik (lokomotywę) Monorail opracowała firma Qualter Hall z Anglii dla kopalni złota w Republice Południowej Afryki, w 1965 roku [5]. W tym samym czasie ciągnik spalinowy do podziemnej kolei podwieszonej opracowała także angielska firma Bretty – Cowlishaw Walker. Były to jednak wykonania jednostkowe. Szerszy zakres stosowania zapoczątkowała firma Ruhrthaler z Niemiec, wprowadzając w 1967 roku do kopalń niemieckich i francuskich dwukabinowy ciągnik typu HL 32H. Kolejnymi rozwiązaniami, które pojawiły się na rynku były ciągniki (lokomotywy) firmy Scharf z Niemiec oraz Stephanoise z Francji (1970 rok). W 1967 roku prace nad tego typu rozwiązaniem rozpoczęto w Czechosłowacji w Prievidzy (Bansky Vyskumny Ustav).

Wraz z rozwojem ciągników (lokomotyw) udoskonalano trasy podwieszone, poprzez zwiększenie ich nośności oraz poprawę połączeń i zawieszenia. Zmieniono profil I 120 na powszechnie stosowany profil I 140 wg DIN (I 155 wg PN). Obecnie stosowany jest także

profil I 250 o zwiększonej nośności. Udoskonalono również rozwiązania wózków nośnych i hamulcowych oraz zestawów transportowych, w tym wciągników [5].

2. Kolejki z napędem linowym

Pierwsze krajowe rozwiązania kolejek z napędem linowym były wzorowane na konstrukcjach zachodnich, z wykorzystaniem liny jako elementu nośnego i wózków przemieszczanych początkowo ręcznie, a następnie z wykorzystaniem kołowrotów z liną ciągnącą, w układzie otwartym lub zamkniętym. Przykładem takiego rozwiązania może być kolejka TAGOR (rys. 5), z wykorzystaniem której można było prowadzić transport ręczny do nachyleń 0,07 rad (4°), a powyżej do nachylenia 0,44 rad (25°), z użyciem liny ciągnącej [1].



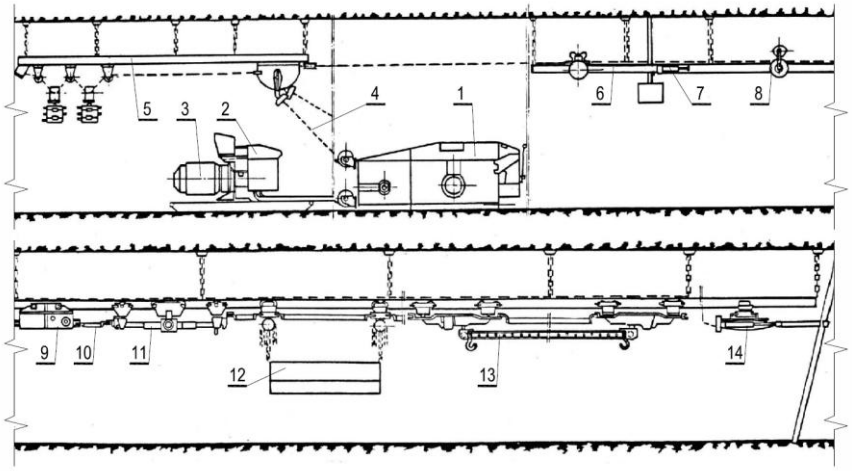
Rys. 5. Kolejka TAGOR [1]

a) zabudowa kolejki, b) szczegół zamocowania liny nośnej
1 - wózek nośny, 2 - element podtrzymujący linę nośną, 3 - łącznik, 4 - lina nośna,
5 - zamocowanie liny nośnej, 6 - śruba rzymska, 7 - lina podtrzymująca

Kolej podwieszona, z liną jako elementem nośnym miała dwa podstawowe ograniczenia, tj.: nośność oraz problemy z prowadzeniem liny nośnej na zakrętach i przegięciach trasy. Aby uniknąć nadmiernego uginania liny nośnej przy zwiększaniu jej obciążenia ładunkiem zawieszonym na wózku jezdnym, należało zwiększyć jej napięcie wstępne. Efektem tego było występowanie zjawiska „ścinania zakrętu", czyli układania się liny po cięciwie łuku (zakrętu). Z tego względu przy zwiększającej się masie transportowanych elementów oraz wydłużaniu się dróg transportowych, linowy element nośny został zastąpiony sztywną szyną nośną, która przeszła swoją ewolucję od typowej szyny kolei kopalnianej, przez dwuteowniki 120 i 140, do specjalnie walcowanych dwuteowników 155 oraz szyn o specjalnym kształcie.

W pierwszym okresie stosowania, podwieszone koleje szynowe były projektowane i wykorzystywane jedynie do transportu materiałów. Z czasem przystosowano je do jazdy ludzi. Osiągnięto to poprzez wdrożenie specjalnych kabin osobowych, zawieszonych na podwieszonej jezdni szynowej oraz wprowadzenie systemu zabezpieczeń, umożliwiającego wyłączenie napędu kolei z każdego miejsca trasy, również przez jadących koleją.

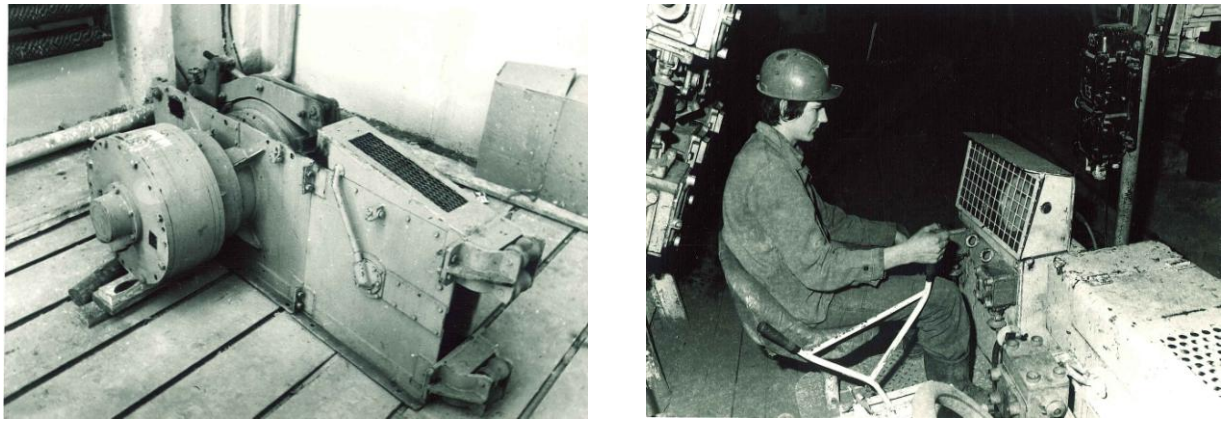
Jedną z pierwszych krajowych kolei szynowej podwieszonej z napędem linowym było rozwiązanie znane dziś pod nazwą KSP-32 (rys. 6), będące efektem współpracy KOMAG-u, FMG PIOMA i firmy BECORIT (licencja). Pierwotnie kolej przystosowana była tylko do transportu materiałów, z czasem została zmodernizowana i przystosowana do przewozu ludzi. Do 2002 r. FMG PIOMA wyprodukowała ponad 1200 kolejek tego typu [8].



Rys. 6. Kolej podwieszona z napędem linowym [12]

1 - kołowrót przewojowy, 2 - stanowisko sterowania, 3 - agregat zasilający, 4 - lina ciągnąca, 5 - stacja napinająca, 6 - podwieszona jezdnia szynowa, 7- odbojnica, 8 - zespół prowadzenia liny, 9 - wózek hamulcowy, 10 - cięgło łączące, 11- wózek ciągnący, 12 - kontener do przewozu drobnicy, 13 - belka nośna, 14 - zwrotnia linowa

W praktyce ruchowej, do napędu tej kolei wykorzystywano, między innymi, kołowroty typu EKO z tarczą paraboliczną. Dopiero wprowadzenie kołowrotów przewojowych, ze zwiększonym kątem opasania, pozwoliło na osiągnięcie siły pociągowej o wartości 32 kN. Pierwszym z serii napędów do podwieszonych kolejek linowych był napęd typu HNK-1 pokazany na rysunku 7.



Rys. 7. Kołowrót i stanowisko sterowania napędu HNK-1 [12]

Konstrukcja kolei KSP, jak i samego napędu linowego, opracowana w KOMAG-u, była stopniowo rozwijana czego wynikiem było wdrożenie kolei KSP-63 z napędem typu HNK-2 a następnie HNK-3 (rys. 8).

Rys. 8. Kołowrót linowy przewojowy napędu HNK-3 [12]

W tabeli 1 przedstawiono dane techniczne napędów linowych produkcji krajowej stosowanych w kolejkach podwieszonych.

Zestawienie parametrów technicznych napędów linowych produkcji krajowej [12]

Tabela 1

Typ napędu	Maksymalna siła w linie [kN]	Maksymalna prędkość liny [m/s]	Uwagi
HNK-1	32	2	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-32
MNK	32	2	napęd mechaniczny stosowany w kolei KSP-32
HNK-2	63	2	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-63 i SKS-60 M
HNK-3	100	1,5	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-63 i SKS-60 M
NK-100H	100	2	napęd elektrohydrauliczny stosowany w kolei KSP-63 i SKS-100/900 NL

W celu osiągnięcia wymaganej siły pociągowej w linie ciągnącej, niezbędnym było wywołanie napięcia wstępnego, dociskającego ją do bieżni kołowrotu. Zrealizowano to z wykorzystaniem stacji napinających, które dodatkowo kompensowały (ograniczone) wydłużenie liny. Początkowo były to stacje ciężarowe (rys. 6). Wywierane przez nie stałe napięcie liny ciągnącej musiało odpowiadać maksymalnej sile pociągowej napędu, która nie była jednak zawsze wykorzystywana. Nadmierne napinanie liny wpływało niekorzystnie na jej trwałość, jak również na trwałość rolek ją prowadzących i wykładzin ciernych kołowrotu. Stąd też wprowadzono do konstrukcji kolei stacje napinające proporcjonalne, z napędem hydraulicznym lub pneumatycznym. Urządzenia te generują w linie napięcie wstępne proporcjonalne do oporów ruchu zestawu transportowego. W latach 80-tych XX wieku firma PIOMA wprowadziła na rynek stację napinającą proporcjonalną, początkowo o działaniu mechanicznym, później z napędem hydraulicznym. Układ rolek, bloków i wózków linowych pozwalał na wytworzenie napięcia wstępnego w linie ciągnącej, dostosowanego do aktualnego zapotrzebowania na siłę ciągnącą.

W latach 80-tych XX w. KOMAG, przy współudziale FMG PIOMA, wychodząc naprzeciw oczekiwania użytkowników, opracował i wdrożył w KWK Brzeszcze kolej linową krzesełkową typu KLK-2000W/1.

Doświadczenia z okresu eksploatacji kolejek z napędem linowym ujawniły jednak ich ograniczenia tj.:

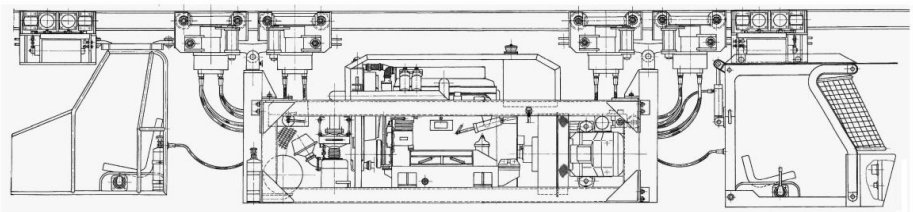
- możliwość prowadzenia transportu jedynie wzdłuż, z góry wyznaczonej trasy,
- brak wizualnego kontaktu pracownika obsługującego napęd z zestawem transportowym,
- możliwość niekontrolowanego zerwania liny ciągnącej i wynikające stąd zagrożenie wypadkowe,
- konieczne stałe nakłady na konserwację liny oraz zespołów jej rolek prowadzących na trasie jezdnej.

Rozwój podwieszonych kolei szynowych z napędem linowym prowadzono w kierunku zwiększenia możliwości przewozowych, a więc zwiększenia nośności i wytrzymałości jezdni szynowych i zespołów zestawu transportowego np. belek nośnych oraz zwiększenia siły pociągowej napędów linowych. Z uwagi na podstawową niedogodność tego rozwiązania jaką była ograniczona długość transportu, wynikająca z długości zabudowanego układu prowadzenia liny ciągnącej, koleje te zostały stopniowo zastępowane rozwiązaniami wykorzystującymi napędy własne (autonomiczne), w postaci ciągników spalinowych. W polskich kopalniach (stan na 31.12.2016 r.), wg wiedzy autorów, eksploatowano 48 kolejek podwieszonych z napędem linowym.

3. Kolejki z napędem spalinowym

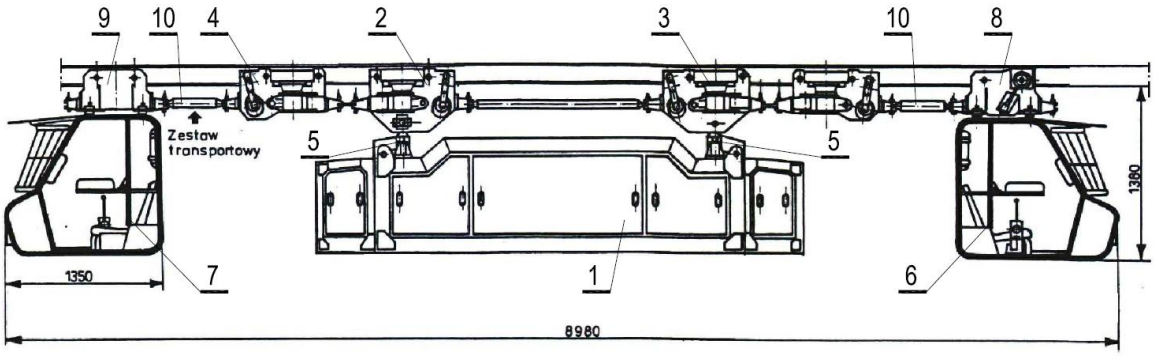
W 1976 roku w KOMAG-u opracowano dokumentację egzemplarza doświadczalnego lokomotywy spalinowej (ciągnika) Lps-80 do kolei podwieszonej, który w 1979 r. wykonały Zakłady Urządzeń Naftowych i Gazowniczych w Krośnie. W latach 1979÷80 w KWK Ziemowit przeprowadzono jej próby, które pozwoliły na zebranie pierwszych doświadczeń eksploatacyjnych. Do napędu zastosowano silnik SW-400, który był regulowany ze względu na konieczność uzyskania wymaganej jakości (toksyczności) spalin. Silnik napędzał pompę RAUCHA o zmiennej wydajności (0÷10 dm^3/min) i ciśnieniu 20 MPa, a ta z kolei silniki hydrauliczne SW-160 produkcji firmy HYDROSTER. Układ oczyszczania i chłodzenia spalin zapewniał utrzymanie wymaganej temperatury gazów wylotowych poniżej 70°C [14].

Korzystając z doświadczeń pracy lokomotywy (ciągnika) Lps-80, w 1980 roku opracowano dokumentację prototypu lokomotywy podwieszonej spalinowej (ciągnika) Lps-90D (rys. 9). Do napędu zastosowano również ww. silnik spalinowy oraz sprawdzony układ zabezpieczeń, gwarantujący uzyskanie wymaganej toksyczności spalin, a także ich temperatury wylotowej. Zastosowano pompę typu PAG AZP250 z zabudowanym regulatorem stałej mocy oraz zdalnie (hydraulicznie) sterowanym regulatorem zmiany wydajności i kierunku przepływu oraz zespołem dwóch pomp zębatych. Pompa napędzała silniki hydrauliczne typu SOK-160K. W 1982 roku Zakład Naprawczy Taboru Samochodowego i Sprzętu w Brzesku wykonał prototyp, który poddano próbom ruchowym w KWK Murcki, a następnie KWK Piast. Wykazały one poprawne działanie większości zespołów. Głównym mankamentem była jednak niska trwałość wykładzin ciernych kół napędowych [14].



Rys. 9. Ciągnik podwieszony typu Lps-90D [14]

Zebrane doświadczenia wykorzystano podczas realizacji, w latach 1993÷1996, wspólnie z FMG PIOMA S.A. (obecnie FAMUR S.A.), projektu celowego pt.: „System transportu dołowego szynowymi kolejami podwieszonymi z napędem spalinowym”, w ramach którego opracowano, wykonano i przebadano, w warunkach stanowiskowych i ruchowych, lokomotywę (ciągnik spalinowy) o symbolu LPS-90 (rys. 10 i rys. 11) do kolei podwieszonej. Lokomotywę (ciągnik) przeznaczono do napędu jednoszynowych kolei podwieszanych do transportu materiałów, elementów maszyn i urządzeń oraz do jazdy ludzi w podziemnych korytarzowych wyrobiskach górniczych, w tym w wyrobiskach ze stopniem „a” „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu.



Rys 10. Lokomotywa (ciągnik) LPS-90 do jednoszynowej kolei podwieszonej [8]

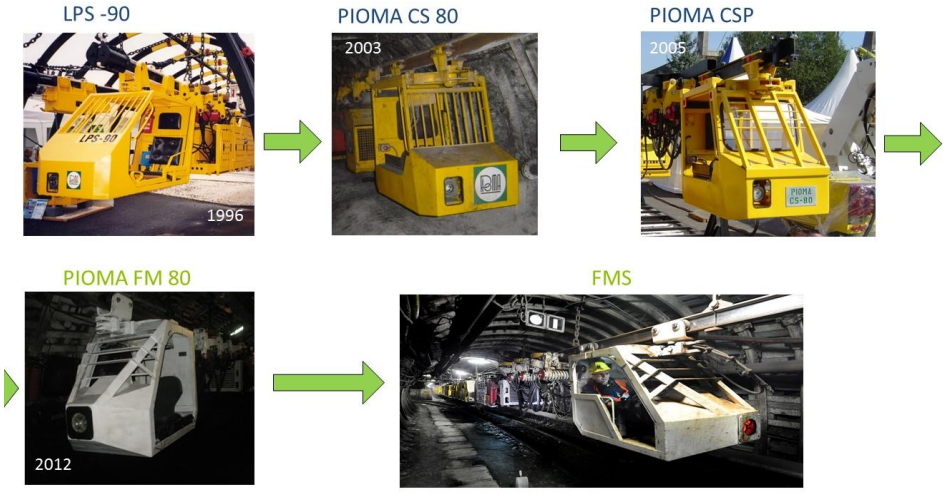
1 - przedział silnikowy, 2 - wózek napędowo-jezdny I, 3 - wózek napędowo-jezdny II, 4 - wózek napędowo-jezdny III, 5 - zawiesia, 6 - kabina główna, 7 - kabina pomocnicza, 8 - wózek nośny kabiny głównej, 9 - wózek nośny kabiny pomocniczej , 10 - cięgła KSP-63

a)

b)

Rys. 11. Lokomotywa (ciągnik) LPS-90 a) na targach KATOWICE’95, b) w wyrobisku podziemnym [8]

Wyniki projektu stały się podstawą do późniejszego rozwoju kolejek podwieszonych z napędem spalinowym w FMG PIOMA S.A. (FAMUR S.A.) – rysunek 12.



Rys. 12. Rozwój kolei z napędem spalinowym w FMG PIOMA S.A. (FAMUR S.A.) [8]

W polskich kopalniach węgla kamiennego początek stosowania kolei podwieszonych z napędem spalinowym datuje się na pierwszą połowę lat dziewięćdziesiątych XX w. Na koniec 1995 r., wg wiedzy autorów, w eksploatacji znajdowało się 35 szt. tego typu urządzeń (KWK Ziemowit, KWK Piast, KWK Bogdanka - po 6 szt., KWK Mysłowice - 4 szt., KWK Wesoła, KWK Staszic - 3 szt., KWK Murcki, Czeczott - po 2 szt., KWK Brzeszcze, KWK Janina, KWK Andaluzja po 1 szt.). Były to kolejki firm: Ruhrthaler, Scharf, BVU Prievidza i ORTAS Pribram.

W polskich kopalniach (stan na 31.12.2016 r.), wg wiedzy autorów, eksploatowanych jest 566 kolejek (ciągników) podwieszonych z napędem spalinowym, a ich wiodącymi dostawcami są firmy: BECKER-WARKOP Sp. z o.o., FAMUR S.A., SCHARF, BEVEX i FERRIT. Na rysunku 13 przedstawiono przykłady aktualnie oferowanych kolejek (ciągników) z napędem spalinowym, a w tabeli 2 ich podstawowe parametry. Ich podstawowymi zaletami są [4]:

- możliwość transportu po nieograniczonej długości i rozgałęzionej trasie,
- możliwość ciągłej obserwacji trasy przez maszynistę,
- łatwe i szybkie wydłużanie lub skracanie trasy,
- łatwy załadunek i wyładunek,
- łatwość podwieszania różnych nośników,
- zwiększenie efektywności transportu (przewożenie maszyn i urządzeń górniczych w całości) dzięki dużej sile uciągu,
- bezstopniowa zmiana prędkości jazdy lokomotywy,
- możliwość dojazdu (w tym załogi) bezpośrednio do przodka,
- poprawa bezpieczeństwa pracy dzięki zastosowaniu elektronicznego systemu kontroli i blokad oraz przeciwwybuchowej instalacji elektrycznej.

Dłuższa eksploatacja kolejek ujawniła jednak zasadnicze ograniczenia stosowania napędów spalinowych w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego [14]:

- emisja spalin i ciepła do otaczającej atmosfery kopalnianej,
- generowanie hałasu.

Kolejki KP-95, KP-96, KP-148 firmy Becker-Warkop Sp. z o.o. [6]

Kolejki FMS i CSZ firmy FAMUR S.A. [8]

Kolejki DLZ110F i DLZ210F firmy Ferrit [9]

Kolejki DZ 80 firmy Scharf [11]

Kolejka LZH 120D5.1 firmy ORTAS [10]

Kolejki BEVEX 80 i BEVEX 90 firmy Bevex [7]

Rys. 13. Przykłady aktualnie oferowanych kolejek z napędem spalinowym

Podstawowe dane wybranych kolejek z napędem spalinowym [6, 7, 8, 9, 10, 11]

Tabela 2

Typ	Producent	Max. siła uciągu [kN]	Liczba wózków napędowych	Max. prędkość [m/s]	Max. nachylenie [°]	Moc silnika spalinowego [kW]	Producent silnika spalinow.
KP-95	Becker-Warkop	40÷240	2÷12	2,5	30	80÷95	Deutz
KP-96	Becker-Warkop	40÷240	2÷12	2,5	30	96	Perkins
KP-148	Becker-Warkop	40÷240	2÷12	2,5	30	148	Deutz
FMS	Famur	85/105/120/140	4/5/6/7	2,5	30	81 lub 95	Deutz
CSZ	Famur	85/105/120/140	4/5/6/7	2,6	30	123	Deutz
DZ 80	Scharf	160	3÷8	2	30	80	Liebherr
DZ 130	Scharf	160	3÷8	2,5	30	130	Liebherr
DLZ 110F	Ferrit	60÷140	4÷7	2,0	30	81	Zetor
DLZ 210F	Ferrit	110÷330	4÷12	3,1	30	127÷142	John Deere
LZH120D5.1	Ortas	80/100/120	4/5/6	2,0/1,7/1,4	30	81	Zetor
BEVEX 80	Bevex	60/80/100	3/4/5	2,0/1,8/1,5	25	81	-
BEVEX 90	Bevex	80/100/120	4/5/6	2,0/1,8/1,5	30	91	-

Przeanalizowano wymagania w zakresie emisji spalin. Niestety, nie opracowano normy zharmonizowanej dotyczącej kolejek podwieszonych z napędem spalinowym (w przeciwieństwie do lokomotyw kopalnianej kolei podziemnej czy też oponowych wozów spalinowych). W wykazie norm zharmonizowanych znajduje się jedynie norma PN-EN 1679-1+A1:2011[18] określająca dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych w spalinach napędów górniczych (tabela 3).

Dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych wg normy [2, 18]

Tabela 3

Moc P	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO_X	Cząstki stałe PM
[kW]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
37≤ P<75	6,5	1,3	9,2	0,85
75≤ P<130	5,0	1,3	9,2	0,7
130≤ P<560	5,0	1,3	9,2	0,54

Zgodnie z dyrektywą spalinową [3] górnicze napędy spalinowe kwalifikują się do „niedrogowych maszyn ruchomych“. W tabeli 4 podano dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych przytoczone za dyrektywą spalinową [3], znacznie różniące się (zwłaszcza co do tlenków azotu i cząstek stałych) od podanych w ww. normie.

Dopuszczalne wartości emisji substancji toksycznych wg dyrektywy spalinowej [2, 3]

Tabela 4

Moc	Data wprowadzenia	Tlenek węgla CO	Węglowodory HC	Tlenki azotu NO_x	Cząstki stałe PM
[kW]		[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Stage 3A					
19÷37	01.2007	5,5	NO_x+HC – 7,5		0,6
37÷75	01.2008	5,0	NO_x+HC – 4,7		0,4
75÷130	01.2007	5,0	NO_x+HC – 4,0		0,3
130÷560	01.2006	3,5	NO_x+HC – 4,0		0,2
Stage 3B					
37÷56	01.2013	5,0	NO_x+HC – 4,7		0,025
56÷75	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
75÷130	01.2012	5,0	0,19	3,3	0,025
130÷560	01.2011	3,5	0,19	2,0	0,025
Stage IV					
56÷130	10.2014	3,5	0,19	0,4	0,025
130÷560	01.2014	5,0	0,19	0,4	0,025

W obowiązującym od 1 lipca 2017 r. Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych [19] ujęto zapis, że „w pojazdach i w maszynach z napędem spalinowym stosuje się silniki z zapłonem samoczynnym a zawartość tlenku węgla w spalinach wyrzucanych przez układ wydechowy silnika, w każdym jego ustalonym stanie pracy, wynosi nie więcej niż:

- 500 ppm – w kopalniach niezagrożonych wybuchem metanu;
- 500 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 0,0%;
- 1200 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,0%;

– 1800 ppm – w kopalniach zagrożonych wybuchem metanu, w przypadku gdy stężenie metanu w powietrzu zasysanym wynosi 1,5%”.

Analizując powyższe zapisy można zauważyć rozbieżności w wymaganiach unijnych a także niekonsekwencje pomiędzy wymaganiami unijnymi a krajowym prawodawstwem.

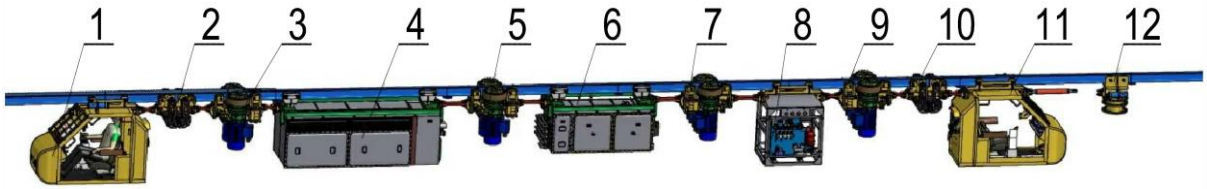
4. Kolejki z napędem akumulatorowym

Ograniczenia stosowania kolejek z napędem spalinowym, wyszczególnione w punkcie 3, stały się przyczyną podjęcia prac nad napędem akumulatorowym. Kryterialnym czynnikiem, stymulującym jego rozwój było opracowanie i uruchomienie nowoczesnej aparatury energo-elektronicznej spełniającej wymogi bezpiecznego stosowania w atmosferach potencjalnie wybuchowych oraz baterii akumulatorów. W 1997 r. firma Scharf opracowała pierwszą kolejkę podwieszoną (typu EMTS) z napędem akumulatorowym, przeznaczoną do przewozu osób i transportu materiałów w niezagrożonych wybuchem wyrobiskach kopalń rud. Korzystając z nabytych doświadczeń opracowano ciągnik akumulatorowy typu BZ 45-2-40 do kolejek podwieszonych eksploatowanych w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego. Podobną kolejkę, typu DLZA 90F, zaoferowała w ostatnich latach firma Ferrit. W obu przypadkach zastosowano baterie kwasowo-ołowiowe, których duża masa i wymiary (niska gęstość energii) ograniczają funkcjonalność obu wymienionych rozwiązań.

Rys. 14. Kolejka akumulatorowa typu BZ 45-2-40 firmy Scharf [11]

Rys. 15. Kolejka akumulatorowa typu DLZA 90F firmy Ferrit [9]

W latach 2010÷2013, w efekcie realizacji, dofinansowanego przez NOT projektu celowego, którego beneficjentem była firma NAFRA Polska Sp. z o.o. a wykonawcą prac badawczo-rozwojowych KOMAG, opracowano ciągnik akumulatorowy GAD-1 (rys. 16) przeznaczony do kolejek podwieszonych. Rozwiązanie powstało przy współpracy z Instytutem Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL oraz firmami IMPACT S.C., VACAT Sp. z o.o., SOMAR S.A. i ENEL-PC Sp. z o.o.



1. Kabina operatora nr 1
2. Zespół hamulcowy nr 1
3. Zespół napędowy nr 1
4. Wózek MB-1 z modułem baterii
5. Zespół napędowy nr 2
6. Wózek MZS-1 z falownikami i układem sterowania
7. Zespół napędowy nr 3
8. Agregat hydrauliczny
9. Zespół napędowy nr 4
10. Zespół hamulcowy nr 2
11. Kabina operatora nr 2
12. Wózek obserwacyjny z kamerą – wyposażenie opcjonalne

Rys. 16. Budowa ciągnika GAD-1 [15]

a)

b)

Rys. 17. Podwieszony ciągnik akumulatorowy GAD-1
a) na stanowisku producenta, b) w wyrobisku podziemnym [15]

Do zasilania napędu ciągnika podwieszonego GAD-1 zastosowano ogniwa litowo-polimerowe, o dużej gęstości energii, które do tej pory nie były stosowane w górnictwie. Źródłem zasilania są cztery zespoły baterii, składające się z szeregowo połączonych ze sobą 72 ogniw, tworzących baterie o napięciu 265VDC. Zespoły baterii o łącznej energii 160 kWh umieszczono w osłonie ognioszczelnej.

W wózkach napędowych zastosowano bezszczotkowe silniki synchroniczne z magnesami trwałymi. Moment obrotowy z silników jest przenoszony na trasę jezdną w sposób cierny, a przy nachyleniach powyżej 10°, poprzez przełożenie zębate (po trasie zębatej). Sekwencyjna zmiana trybu napędowego z ciernego na zębaty i odwrotnie, kolejno, przez poszczególne wózki napędowe, realizowana jest automatycznie. Wymienione silniki cechuje wysoka sprawność (w porównaniu z silnikami indukcyjnymi) i bardzo precyzyjne sterowanie wektorem momentu.

Nadrzędny system sterowania ciągnikiem GAD-1 zbudowano w oparciu o strukturę rozproszoną, łączącą ze sobą wszystkie elementy układu sterowania za pośrednictwem magistrali CAN, która cechuje się wysoką odpornością na zakłócenia. Uniwersalność zastosowanego protokołu CanOpen pozwala też na komunikowanie się podzespołów różnych producentów oraz umożliwia przełączanie pomiędzy aplikacjami w celu diagnozowania i konfiguracji magistrali CAN.

Atutem podwieszonego ciągnika GAD-1 jest możliwość rekuperacji energii podczas hamowania elektrycznego. Za poprawność działania tego procesu odpowiada inteligentny system nadzoru zespołem baterii – BMS, który służy do ciągłego monitoringu parametrów, tak całego zespołu baterii, jak i każdego ogniwa indywidualnie, decydując o równomiernym rozpływie energii pomiędzy poszczególnymi ogniwami. Dodatkowo, pełni rolę zabezpieczenia, zarówno programowego jak i sprzętowego, przed niepożądanymi zdarzeniami, takimi jak: przeładowanie, czy nadmierne rozładowanie baterii akumulatorów.

Odpowiedni dobór parametrów komponentów współpracujących z zespołem baterii oraz opracowane algorytmy bezpieczeństwa pozwoliły na wytworzenie maszyny przeznaczonej do pracy w warunkach zagrożeń skojarzonych (zagrożenie wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, pożarowe, wodne). Spełnienie wymagań unijnych potwierdzono wydaniem przez Jednostkę Notyfikowaną certyfikatów badania typu WE. Odrębne certyfikaty, obejmujące podstawowe moduły ciągnika tj.: baterii akumulatorów MB-1, moduł zasilająco-sterujący MZS-1 i ładujący MŁ-1, pozwalają na ich niezależną implementację w innych urządzeniach przeznaczonych do eksploatacji w atmosferach potencjalnie wybuchowych.

W tabeli 5 zestawiono parametry techniczne kolejek podwieszonych z napędem akumulatorowym.

Podstawowe parametry kolejek podwieszonych z napędem akumulatorowym [9, 11, 15]

Tabela 5

Typ	EMTS	BZ 45-2-40 (600 Ah)	DLZA 90F	GAD-1
Producent	Scharf	Scharf	Ferrit	NAFRA
Max. siła uciągu	80 kN	45 kN	180 kN	80 kN[x/] 120kN[xx/]
Max prędkość jazdy	3,5 m/s	2,0 m/s	2,0 m/s	2,0 m/s[x/] 1,4 m/s[xx/]
Max. nachylenie	30°	18°	30°	25°
Moc jednego silnika	29 kW	10 kW	7,5 kW	9 kW
Liczba silników napędu jazdy	2, 3 lub 4	4	4 ÷ 12	8
Liczba wózków napędowo - jezdnych	2, 3 lub 4	2	2 ÷ 6	4
Sposób przeniesienia napędu	cierny	cierny	cierny	cierno -zębaty

[x/] - napęd cierny, [xx/] - napęd zębaty

5. Podsumowanie

Początek stosowania transportu powieszonego w podziemnych wyrobiskach górniczych datuje się na połowę XX w. Eksploatowano wówczas kolejki z napędem linowym, w których lina była również trasą jezdną. W pierwszej połowie lat pięćdziesiątych XX wieku wprowadzono kolejki szynowe z napędem linowym. Początkowo trasą była szyna kopalnianej kolei podziemnej. Dopiero w 1956 r. wdrożono po raz pierwszy (popularnie dziś stosowaną) trasę dwuteownikową. Produkcję tego typu kolejek (KSP-32, KSP-63), w oparciu o opracowaną w KOMAG-u dokumentację, uruchomiła FMG PIOMA. Stwierdzone ograniczenia tych urządzeń stały się przyczyną opracowania lokomotyw (ciągników) spalinowych do dołowych kolejek podwieszonych. Początek ich szerszego stosowania w polskich kopalniach datuje się na pierwszą połowę lat dziewięćdziesiątych XX w. Na koniec 2016 r. eksploatowano 566 podwieszonych kolejek z napędem spalinowym. Pomimo wielu zalet, ich stosowanie wiąże się jednak z poważnymi ograniczeniami tj.: emisją spalin i ciepła do otaczającej atmosfery kopalnianej oraz generowanie hałasu. Mając powyższe na uwadze specjaliści Instytutu KOMAG, przy współpracy ze specjalistami z partnerskich jednostek badawczych i przemysłowych, opracowali innowacyjne rozwiązanie, zasilanego z baterii jonowych, ciągnika GAD-1, będącego kolejnym krokiem w rozwoju dołowych kolejek podwieszonych.

Kolejki podwieszone z napędem akumulatorowym stanowią alternatywę do stosowanych obecnie kolejek z napędem spalinowym, zwłaszcza w wyrobiskach o ograniczonej wentylacji.

Można prognozować, że w przyszłości, po obniżeniu kosztów wyposażenia elektrycznego (zwłaszcza akumulatorów), staną się one nowym powszechnie stosowanym środkiem transportu podwieszonego.

Literatura

[1] Antoniak J.: Podstawowe maszyny robocze kopalnianego transportu pomocniczego Wydawnictwo Śląsk Katowice 1973

[2] Brzeżański M., Pieczora E., Kaczmarczyk K.: Rozwiązania napędów spalinowych do zastosowań w wyrobiskach podziemnych węgla kamiennego. Solutions of disel drives for use in underground workings of hard coal mine. Silniki Spalinowe 2010 nr 3

[3] Dyrektywa 97/68/We Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1997 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do środków dotyczących ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych z silników spalinowych montowanych w maszynach samojezdnych nieporuszających się po drogach

[4] Fuksa D., Kęsek M., Ślósarz M., Bator A.: Koncepcja zintegrowanego systemu transportu poziomego w kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy 2015 nr 8

[5] Kovalik M.: Vykonnejsia viacdielna zavesna lokomotiva LZH-50. D.3. Spravodaj 1988 nr 1

[6] Materiały i prospekty firmy Becker Warkop Sp. z o.o.

[7] Materiały i prospekty firmy Bevex

[8] Materiały i prospekty firmy FAMUR S.A.

[9] Materiały i prospekty Ferrit

[10] Materiały i prospekty firmy Ortas

[11] Materiały i prospekty firmy Scharf

[12] Materiały własne autorów

[13] Mitręga J. [red]: Rozwój mechanizacji robót podziemnych w kopalniach węgla kamiennego w PRL. Wyd. Śląsk, Katowice 1967 r.

[14] Pieczora E.: Prognoza rozwoju szynowych systemów transportowych stosowanych w podziemiach kopalń węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2008 Tom 24 Zeszyt 1/2

[15] Pieczora E., Polnik B.: Nowe rozwiązania napędów elektrycznych do górniczych maszyn transportowych. Cuprum 2015 nr 3

[16] Pieczora E., Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K., Suffner H.: Rozwój dołowych maszyn transportowych z napędem spalinowym. Maszyny Górnicze 2016 nr 2

[17] Pieczora E.: Prace prowadzone przez CMG KOMAG w zakresie dołowych i powierzchniowych wąskotorowych lokomotyw spalinowych. Materiały na sympozjum. Dołowe i powierzchniowe wąskotorowe lokomotywy spalinowe w kopalniach PW. CMG KOMAG Gliwice, grudzień 1990 r.

[18] PN-EN 1679-1+A1:2011 – Silniki spalinowe tłokowe - Bezpieczeństwo - Część 1: Silniki o zapłonie samoczynnym

[19] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz. U. 2017 poz. 1118) - http://www.dziennikustaw.gov.pl/du/2017/1118/1

Autonomiczny system monitorowania parametrów pracy baterii ogniw ołowiowych

dr inż. Bartosz Polnik
mgr inż. Wojciech Kurpiel
Instytut Techniki Górniczej KOMAG
mgr Zdzisław Juszczyk
PHU Gabrypol Sp. J.

Streszczenie:

Górnicze maszyny zasilane są często z akumulatorów składających się z ogniw kwasowo-ołowiowych. Ogniwa te w czasie ładowania bądź doładowywania wydzielają wodór, który po przekroczeniu określonych stężeń staje się gazem wybuchowym. Zagrożenie to jest znane większości użytkownikom maszyn z zasilaniem akumulatorowym, stąd ich zainteresowanie jego wyeliminowania bądź możliwie największego zminimalizowania.
W artykule przedstawiono wyniki badań stężenia gazu elektrolitycznego – wodoru wewnątrz skrzyni akumulatorowej, w trakcie pracy górniczej lokomotywy akumulatorowej z rekuperacją energii w czasie hamowania elektrycznego, jak również podczas ładowania baterii ogniw w komorze ładowania w kopalni. Zaproponowano rozwiązanie poprawiające bezpieczeństwo eksploatacji maszyn zasilanych z baterii ogniw ołowiowych w postaci autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniw ołowiowych. Omówiono jego budowę oraz zasadę działania. Wskazano zalety jakie będzie mógł uzyskać użytkownik poprzez zastosowanie opracowanego systemu.

Abstract:

Mining machines are often powered by batteries consisting of lead-acid batteries. These cells release hydrogen when they are loaded or recharged, which, after exceeding certain concentrations, becomes explosive gas. This danger is most of the users of machines with battery power known, hence their interest in eliminating it or minimizing it as much as possible.
The paper presents the results of investigations of the concentration of electrolytic gas - hydrogen inside the battery box, during the mining operation of the battery locomotive with energy recuperation during electrical braking as well as during charging the cells in the charging chamber in the mine. A solution has been proposed to improve the operational safety of lead-powered batteries in the form of an autonomous system for monitoring lead battery batteries. It discusses its construction and principle of operation. The benefits of using the developed system can be identified by the user.

Słowa kluczowe: górnictwo, elektrotechnika, zasilanie akumulatorowe, bezpieczeństwo

Keywords: mining, electro technical, battery supply, safety

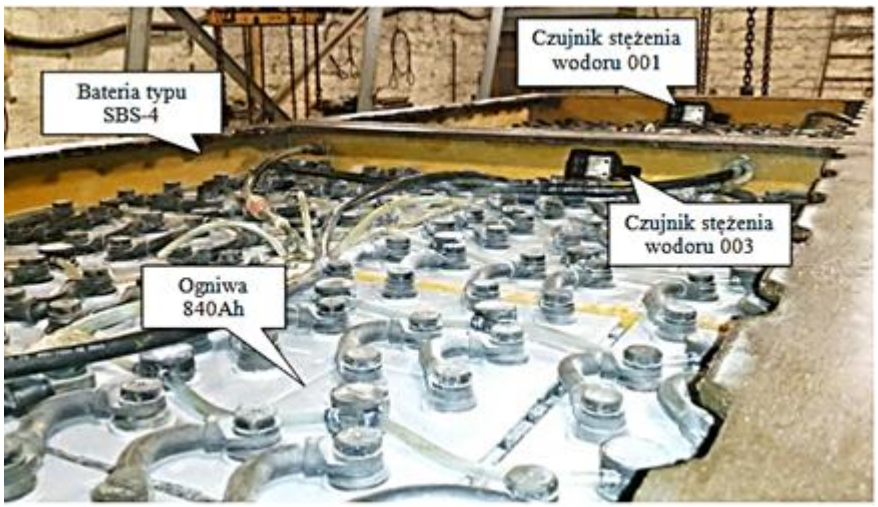
1. Wprowadzenie

Eksploatacja coraz głębszych pokładów, przy zachowaniu istniejących systemów wentylacyjnych, wymusza na użytkownikach maszyn górniczych ograniczanie, a w skrajnych przypadkach całkowite eliminowanie silników spalinowych z pracy w tych rejonach. Alternatywą dla maszyn z napędem spalinowym są maszyny zasilane elektrycznie. Są to maszyny zasilane z trakcji lub z akumulatorów. Maszyny górnicze z zasilaniem akumulatorowym są coraz częściej stosowane. W górniczych lokomotywach z zasilaniem akumulatorowym, ze względu na właściwości trakcyjne, takie jak: wysoka siła pociągowa, mniejsze wpadanie w poślizg, stosowane są ogniwa kwasowo-ołowiowe o pojemności do 1000 Ah [5]. Są to ogniwa dopuszczone do stosowania w maszynach górniczych pracujących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (pozostałe to ogniwa niklowo-kadmowe oraz niklowo–metalowo–wodorowe). Ogniwa kwasowo-ołowiowe w procesie ładowania bądź doładowywania wydzielają wodór, który w określonych stężeniach staje się gazem wybuchowym. Ustawodawca w normie nr PN-EN 1889-2+A1(2010) *Maszyny dla górnictwa podziemnego. Podziemne maszyny samobieżne.*

Bezpieczeństwo. Część 2: Lokomotywy szynowe, wprowadził następujące obostrzenie: „…w skrzyni, przedziale i/lub pokrywie akumulatora należy zastosować odpowiednie otwory wentylacyjne, aby nie występowało niebezpieczne stężenie oparów. Przy szacowaniu wymaganej wentylacji, stężenie gazów elektrolitycznych powinno być mniejsze niż 2%, w celu uniknięcia niebezpieczeństwa zapłonu". Z analizy stanu wiedzy wynika, że skuteczność wentylacji baterii akumulatorów w czasie pracy maszyny nie jest w żaden sposób weryfikowana. W związku z powyższym, w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG przeprowadzono badania identyfikujące stopień stężenia wodoru, w odniesieniu do poziomu bezpieczeństwa oraz efektywności pracy górniczych lokomotyw zasilanych z akumulatorów. Wyniki badań wykazały konieczność opracowania autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniw ołowiowych, który wykonano przy współpracy z firmą GABRYPOL.

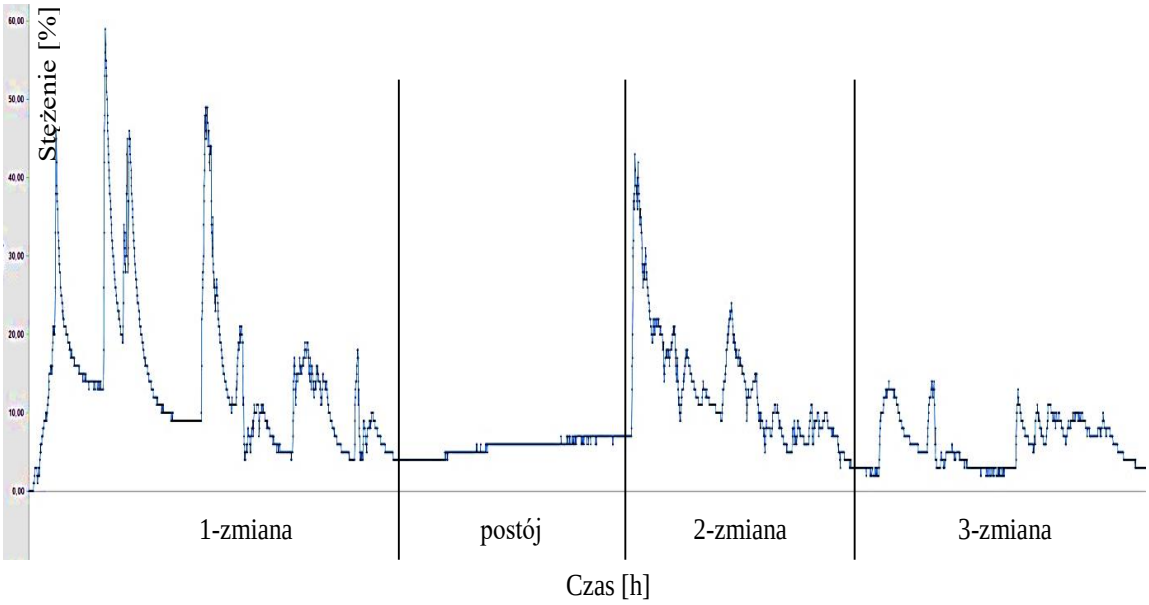
2. Badania stężenia wodoru w skrzyni baterii akumulatorów

Badania przeprowadzono w wyrobisku korytarzowym kopalni węgla kamiennego. Obiektem badań była bateria akumulatorów górniczej dwukabinowej lokomotywy akumulatorowej serii Lea. Rejestrowano stężenie wodoru we wnętrzu skrzyni baterii akumulatorów w czasie pracy lokomotywy górniczej. Trasa jazdy lokomotywy podczas badań była zróżnicowana, i wynikała bezpośrednio z warunków i zakresu pracy tej maszyny. Należy odnotować, że główne drogi przewozowe były pozbawione nachyleń. Lokomotywa transportowała ładunek o średniej masie ok. 10000 kg. Stężenie wodoru mierzono za pomocą dwóch czujników katalitycznych umieszczonych w komorach baterii akumulatorów (rys. 1). Pomiar wykonywano przez 4 zmiany robocze (ok. 24 h).



Rys. 1. Rozmieszczenie czujników stężenia wodoru we wnętrzu baterii akumulatorów [1]

Rejestrowano procentowe stężenie wodoru DGW (Dolna Granica Wybuchowości), a następnie obliczano stężenie objętościowe, co wynikało z potrzeby określenia wybuchowego stężenia wodoru (wodór w powietrzu jest gazem wybuchowym w stężeniu od 4 do 75% obj.). Jako 100% DGW przyjęto wartość 4% obj. Pomiar stężenia wodoru poniżej 40% DGW oznaczał spełnienie wymagań bezpieczeństwa. Na rysunku 2 pokazano przykładowy przebieg stężenia wodoru zarejestrowanego w czasie prowadzonych badań.



Rys. 2. Przebieg stężenia wodoru zarejestrowany podczas badań [2]

Jak wynika z przebiegu na rysunku 2, najwyższe stężenie wodoru zarejestrowano podczas pierwszej zmiany – 60% DGW (2,4% obj.). Również w trakcie trwania drugiej zmiany stężenie wodoru przekraczało 40% DGW (1,6% obj.). Dopiero na trzeciej zmianie, stężenie wodoru spadło poniżej 20% DGW (0,8% obj.). Wysokie stężenie wodoru, zarejestrowane podczas pierwszej zmiany roboczej, wynikało z faktu, że bateria była wtedy w pełni naładowana i hamowanie elektryczne z rekuperacją energii powodowało doładowanie ogniw i emisję wodoru. Ponadto w trakcie trwania pierwszej zmiany, ruch maszyn transportowych jest najbardziej intensywny.

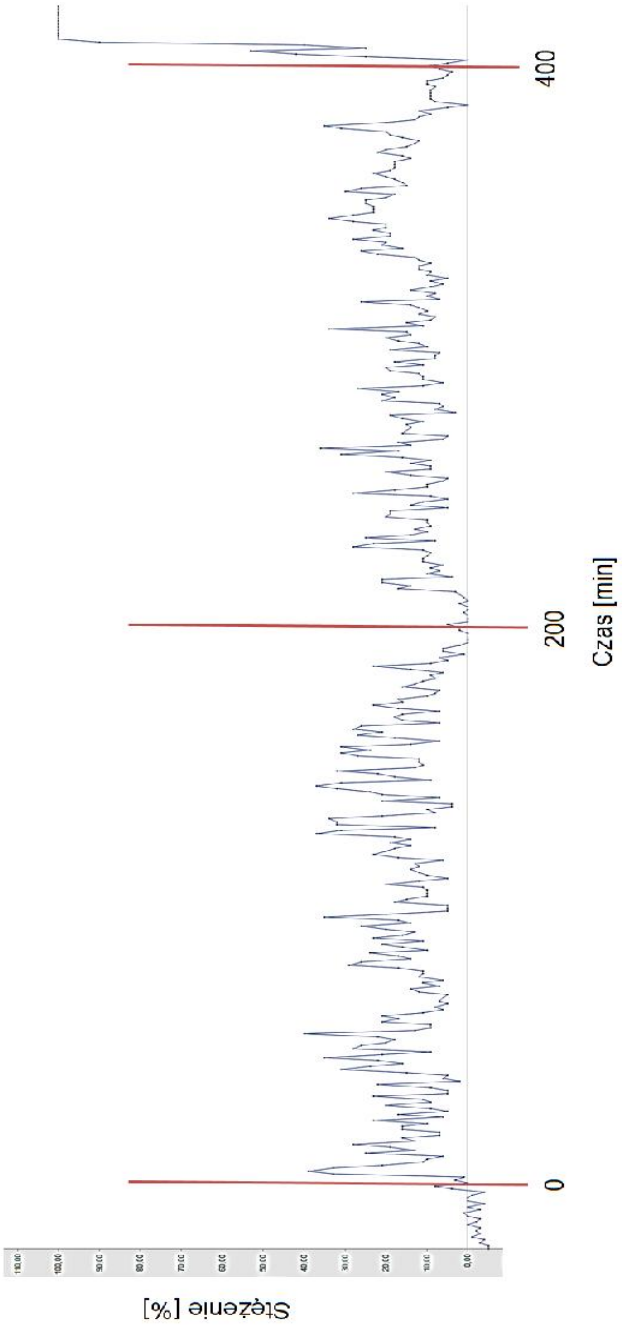
Podobna sytuacja ma również miejsce w trakcie ładowania baterii ogniw w ładowni akumulatorów. Procedura ładowania, składa się z dwóch następujących po sobie faz:

Faza I – ładowanie baterii prądem o możliwie jak najwyższym natężeniu, nieprzekraczającym wartości maksymalnej prądu wyjściowego przekształtnika BMA. Faza I zostaje uznana za zakończoną w momencie rozpoczęcia przez ogniwa gazowania i uzyskania na zaciskach ogniw napięcia o wartości 2,4 V/ogniwo. W zależności od stopnia rozładowania czas ładowania podczas fazy I wynosi ok. 7-9 godzin.

Faza II – ładowanie baterii akumulatorów prądem o natężeniu ok. 50 A. Czas trwania fazy II nastawiany jest ręcznie przez pracowników kopalni. Z reguły jest to czas pomiędzy 5-7 godzin. Wyłączenie przekształtnika następuje automatycznie po upływie nastawionego czasu, bądź zdalnie w przypadku zaobserwowania oznak pełnego naładowania. Baterię można uznać za w pełni naładowaną jeżeli w dwóch kolejnych pomiarach dokonanych w odstępach 1-godzinnych zostanie stwierdzone:

- stała wartość napięcia, na zaciskach ogniw, z dokładnością do +/– 0,05 V,
- stała gęstość elektrolitu,
- silne gazowanie ogniw.

Na rysunku 3 pokazano przykładowy przebieg stężenia wodoru zarejestrowany w trakcie badań procesu ładowania baterii ogniw ołowiowych w komorze ładowania w kopalni.



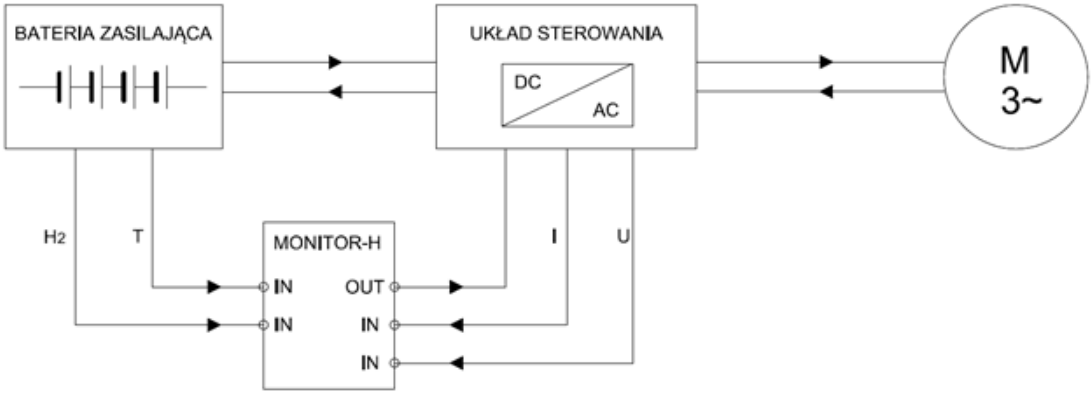
Rys. 3. Przebieg stężenia wodoru zarejestrowany podczas badań w ładowni akumulatorów [5]

Jak wynika z rysunku 3, końcowy proces ładowania baterii ogniw ołowiowych wiąże się z przekroczeniem stężenia wodoru powyżej 100% DGW. Jest to bardzo niebezpieczne dla obsługi komory ładowania w kopalni. Ponadto wpływa niekorzystnie na żywotność stosowanych ogniw ołowiowych.

Zmierzone wartości stężenia wodoru pozwoliły stwierdzić, że wymogi normy odnośnie maksymalnego stężenia wodoru (poniżej 2% obj.) w trakcie pracy lokomotywy górniczej zasilanej z akumulatorów, jak również podczas ich ładowania, nie były spełnione. W związku z powyższym zaistniała konieczność opracowania systemu monitorowania emisji stężenia gazu elektrolitycznego (wodoru) podczas pracy górniczych lokomotyw zasilanych akumulatorowo.

3. Budowa i zasada działania systemu MONITOR-H

System autonomicznego monitorowania baterii ogniw ołowiowych (MONITOR-H), jest prosty, bezpieczny oraz niezawodny w działaniu. Konstrukcja o niewielkich gabarytach, umożliwia łatwy montaż w istniejących skrzyniach baterii akumulatorów. System może być konfigurowany do indywidualnych potrzeb użytkownika. Na rysunku 4 pokazano schemat blokowy przedmiotowego systemu monitorowania.



Rys. 4. Schemat blokowy systemu MONITOR-H [3]

Działanie system monitorującego polega na ciągłym pomiarze temperatury ogniw we wnętrzu skrzyni baterii ogniw oraz na ciągłym pomiarze stężenia wodoru wydostającego się z baterii podczas jej ładowania i doładowywania. Pomiary te realizowane są za pomocą dwóch czujników temperatury oraz dwóch czujników katalitycznych, służących do pomiaru gazów palnych. Ważnym aspektem jest możliwość pomiaru stężenia wodoru w dwóch zakresach – niskim do 100% DGW oraz wysokim powyżej 100% DGW. Taki sposób pomiaru jest wymagany z uwagi na konieczność uzyskania dopuszczenia do pracy w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Czujniki podłączone są do przetwornika analogowo-cyfrowego, w który wyposażono mikrokontroler. Zmierzone napięcie poprzez odpowiednio zastosowany przetwornik a/c mikrokontrolera, przetworzone zostaje na odpowiednią wartość liczbową. W zależności od funkcji czujnika (pomiar temperatury lub stężenie wodoru), uzyskana wartość liczbowa jest porównywana z liczbą wzorcową zapisaną w programie mikrokontrolera. Wynikiem działania programu jest informacja wyświetlana na module wyświetlacza lub wysyłana poprzez magistralę CAN do jednostki sterującej maszyną (opcja). Dodatkowo, przewidziano możliwość podłączenia, poprzez magistralę CAN, przekaźnika wykonawczego, który w sytuacji przekroczenia dopuszczalnej wartości temperatury lub dopuszczalnego poziomu stężenia wodoru uniemożliwi dalszą pracę maszyny. System MONITOR-H składa się z dwóch modułów nadajnika oraz z modułu odbiornika [4]. Moduł nadajnika II systemu, przewidziany jest do umieszczenia we wnętrzu skrzyni baterii akumulatorów, zaś miejscem lokalizacji modułu nadajnika I powinna być skrzynia wyposażenia elektrycznego maszyny akumulatorowej. Moduł odbiornika znajdować się będzie w kabinie maszynisty. Z uwagi na konstrukcję skrzyń baterii akumulatorów stosowanych w górnictwie węgla kamiennego, powinny być zastosowane dwie sztuki modułu nadajnika II. Zapewni to pełniejszy monitoring skrzyni bateryjnej. Integracja opracowanego systemu monitorowania parametrów pracy baterii ogniw ołowiowych z istniejącymi układami sterowania maszyn zasilanych z akumulatorów,

polepszy ich funkcjonalność oraz zwiększy bezpieczeństwo stosowania tego typu ogniw. Dzięki wykorzystaniu technologii komunikacji bezprzewodowej opracowany system MONITOR-H może być usytuowany we wnętrzu skrzyni baterii ogniw ołowiowych. Uniwersalność tego systemu umożliwia jego zastosowanie zarówno w nowych rozwiązaniach (dzięki pośrednictwu protokołu komunikacyjnego CAN), jak również w dotychczas stosowanych maszynach zasilanych z akumulatorów.

Zintegrowanie opracowanego systemu MONITOR-H z układem sterowania maszyną akumulatorową poprzez odpowiedni przekaźnik wykonawczy umożliwi:

- ochronę ogniw przed uszkodzeniem wynikającym z emisji wodoru oraz obecności wysokiej temperatury pracy,
- wydłużenie ich żywotności poprzez ograniczenie niekorzystnego wpływu ich gazowania oraz obecności wysokiej temperatury pracy,
- utrzymanie pożądanego stanu naładowania baterii dzięki rejestrowaniu w trybie on-line rzeczywistej wartości pojemności baterii akumulatorów,
- poprawę bezpieczeństwa obsługi poprzez współdziałanie z aplikacją zarządzającą maszyną akumulatorową.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania w rzeczywistych warunkach w kopalni wykazały, że baterie ogniw ołowiowych wydzielają w czasie pracy oraz ładowania wodór o stężeniu przekraczającym dopuszczalne (określone w normach) wartości. Taka sytuacja stwarza zagrożenie dla pracowników obsługujących maszyny z bateriami kwasowo-ołowiowymi, jak również wpływa niekorzystnie na żywotność samych ogniw. Ponadto wysokie temperatury pracy ogniw ołowiowych mogą w pewnych sytuacjach (powyżej 45°C) doprowadzić do rozkładu elektrolitu we wnętrzu ogniwa i nieodwracalnie uszkodzić baterię. Opierając się na obowiązujących dokumentach prawnych zdecydowano się opracować i zbudować autonomiczny system monitorowania baterii ogniw ołowiowych. Opracowany system umożliwia pomiar takich parametrów, jak: rzeczywisty poziom rozładowania baterii, temperaturę we wnętrzu skrzyni baterii akumulatorów, umożliwia również rejestrację emisji stężenia wodoru wydzielanego z baterii ogniw w procesie jej doładowania bądź ładowania. Opracowane w ITG KOMAG rozwiązanie, ma za zadanie wspomagać pracę operatorów maszyn zasilanych z akumulatorów. Obsługujący górniczą maszynę zasilaną z akumulatorów będzie otrzymywał informacje na temat wartości stężenia wodoru we wnętrzu baterii wraz z temperaturą panującą w otoczeniu ogniw. W przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości, system poprzez zastosowany przekaźnik wykonawczy uniemożliwi dalszą pracę maszyny, aż do czasu ustabilizowania się bezpiecznych wartości mierzonych we wnętrzu skrzyni baterii ogniw ołowiowych. Zastosowane technologie pomiarowe zapewnią jego prawidłową i bezpieczną eksploatację. Obecnie prowadzone są badania opracowanego i wykonanego autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniw ołowiowych.

Literatura

[1] Kurpiel W., Miedziński B., Polnik B.: Control of hydrogen concentration in the power supply and control systems of a mining battery locomotive with energy recuperation applied. Mining Informatics Automation and Electrical Engineering. 2015 nr 2 s. 42-49 (87-94), ISSN 2449-6421.

[2] Polnik B.: Jakość energii elektrycznej napędów górniczych lokomotyw akumulatorowych w aspekcie emisji gazu elektrolitycznego. Maszyny Elektryczne Zeszyty Problemowe. 2015 nr 106 s. 73-78, ISSN 0239-3646

[3] Polnik B.: Autonomiczny system monitorowania parametrów bezpiecznej pracy ogniw ołowiowych. XXIII Sympozjum Naukowo-Technicznego „SEMAG 2017". Mysłakowice k. Jeleniej Góry, 29 - 31 maja 2017 r.

[4] System monitorowania ogniw ołowiowych - Projekt nr POIR.02.03.02-24-0070/15-00 realizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, Poddziałanie 2.3.2 Bony na innowacje dla MŚP

[5] Autonomiczny system monitoringu parametrów bezpiecznej pracy baterii akumulatorów lokomotywy górniczej - Praca statutowa rok 2015 (materiały niepublikowane)

Projekt jest realizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, Oś priorytetowa II: Wsparcie otoczenia i potencjału przedsiębiorstw do prowadzenia działalności B+R+I, Poddziałanie 2.3.2 **Bony na innowacje dla MŚP**. Instytucją pośredniczącą jest **Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości**

Koncepcja układu odzyskiwania energii z rurociągu szybowego

mgr inż. Dawid Lazar
dr hab. inż. Stanisław Szweda, prof. Pol. Śl.
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

Przedmiotem artykułu jest koncepcja układu odzyskiwania energii ze strugi wody technologicznej transportowanej do wyrobisk rurociągiem przeciwpożarowym w szybie. Przedstawiono problem projektowania mini turbiny oraz dobór pozostałych urządzeń układu. Oszacowano ilość rocznie produkowanej energii elektrycznej oraz okres zwrotu nakładów inwestycyjnych.

Abstract:

Idea of the system for energy recovery from a stream of technological water transported to mine workings through fire pipeline in a mine shaft is the work subject. Problem of designing the mini-turbine and other components of the system is discussed. Annual cost of electric energy produced in the system and time for return of investment were estimated.

Słowa kluczowe: rurociągi szybowe, odzyskiwanie energii, turbina Peltona

Keywords: shaft pipelines, energy recovery, Pelton turbine

1. Wprowadzenie

Konieczność dostarczania wody rurociągami z powierzchni do podziemnych wyrobisk górniczych wynika z wymagań bezpieczeństwa oraz realizowanych operacji technologicznych. Woda transportowana jest do poszczególnych poziomów eksploatacyjnych za pomocą sieci rurociągów przeciwpożarowych. W odcinku tego rurociągu zlokalizowanym w szybie, ze względu na dużą różnicę wysokości położenia, niezbędna jest redukcja ciśnienia statycznego wody transportowanej rurociągiem. Wykorzystuje się w tym celu pływakowe zawory upustowe oraz zbiorniki przelewowe.

W przypadku standardowych rurociągów, zgodnie z normą PN-G-05011:1997 [10] oraz Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [12], ciśnienie hydrostatyczne słupa wody w rurociągu może osiągnąć wartość nie większą niż 1,6 MPa [10]. Dla większych wartości ciśnienia, wymagane jest stosowanie elementów sieci przeciwpożarowej odpowiednio do tego przystosowanych.

W związku z tym rurociąg przeciwpożarowy dzielony jest w szybie na odcinki o różnicy poziomów, wynoszącej do 160 m. Słup wody wywiera wówczas w dolnej części rurociągu ciśnienie hydrostatyczne o wartości do 1,6 MPa. Z pionowej części rurociągu ciecz przepływa przez zawór regulacyjny do otwartego zbiornika przelewowego, w którym następuje wyrównanie ciśnienia statycznego strugi cieczy do poziomu ciśnienia hydrostatycznego wytworzonego przez słup cieczy w zbiorniku. Zbiornik przelewowy zasila kolejny odcinek rurociągu przeciwpożarowego, prowadzący wodę na niższy poziom kopalni.

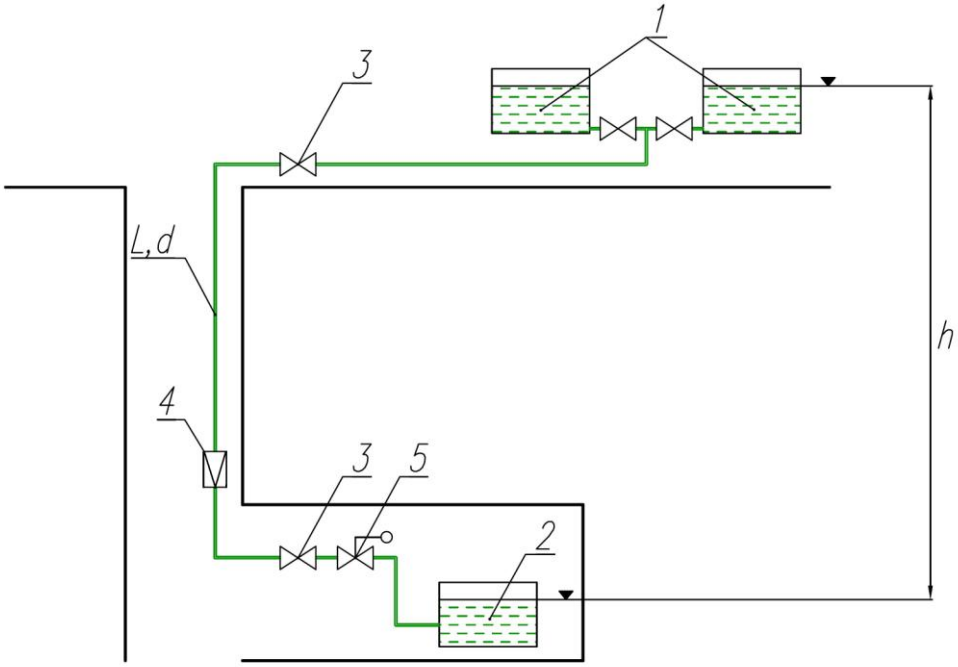
W przypadku zastosowania rur o podwyższonej wytrzymałości różnica poziomów między kolejnymi zbiornikami przelewowymi może być większa niż 160 m, co powoduje, że ciśnienie statyczne strugi wody przed zaworem regulacyjnym również może być większe.

Zastosowany sposób redukcji ciśnienia statycznego wody w rurociągu szybowym polega więc na bezproduktywnym rozpraszaniu energii ciśnienia. W ramach pracy dyplomowej magisterskiej [4] zrealizowanej na Wydziale Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej podjęto więc próbę opracowania układu umożliwiającego wykorzystanie tej, dotychczas rozpraszanej, energii strugi wody płynącej rurociągiem szybowym, do wytwarzania energii elektrycznej. Przedmiotem niniejszego artykułu jest przedstawienie koncepcji odzyskiwania energii z rurociągu szybowego oraz wstępna analiza cech użytkowych opracowanego układu.

2. Analiza parametrów technicznych przykładowego odcinka rurociągu szybowego

Rurociągi przeciwpożarowe usytuowane w szybie, oprócz transportu wody niezbędnej w wypadku wystąpienia zagrożenia pożarowego do celów gaśniczych, służą również do transportu tzw. wody technologicznej, stosowanej przede wszystkim w procesach wydobywczych, np.: do chłodzenia napędów maszyn, zraszania organów urabiających, czy zraszania przesypów. Zapotrzebowanie na wodę technologiczną może zmieniać się w stosunkowo szerokim zakresie.

Analizę możliwości odzyskiwania energii ze strugi wody płynącej rurociągiem przeprowadzono na przykładzie odcinka rurociągu łączącego zbiorniki zasilające usytuowane na powierzchni z pierwszym zbiornikiem przelewowym znajdującym się na poziomie 240 m, przedstawionym schematycznie na rysunku 1.



Rys.1. Schemat analizowanego odcinka rurociągu przeciwpożarowego [4]

1 – zbiorniki zasilające, 2 – zbiornik wyrównawczy, 3 – zawór odcinający, 4 – zawór zwrotny, 5 – zawór

Analizowany odcinek rurociągu o średnicy $d = 150$ mm ma łączną długość $L = 300$ m. Nominalna wartość natężenia przepływu wody, wynosi 35 $dm^3 \cdot s^{-1}$, natomiast wartość maksymalna – 45 $dm^3 \cdot s^{-1}$. Rurociąg spełnia wszystkie wymagania podane w [10] i [12].

Miarą energii strugi cieczy, wykorzystywaną przy projektowaniu układu odzyskiwania energii, jest spad rurociągu – *H*, wyznaczany z zależności [6]:

$$H = h - \sum h_{str} \tag{1}$$

gdzie:

H – spad rurociągu [m],

h – różnica poziomów wody górnej (ustabilizowane zwierciadło wody w zbiorniku zasilającym na nadszybiu) i wody dolnej (ustabilizowane zwierciadło wody w zbiorniku przelewowym) [m],

$\sum h_{str}$ – suma wysokości strat energetycznych [m].

W tabeli 1 zestawiono wartości podstawowych parametrów technicznych układu odzyskiwania energii z rozpatrywanego odcinka rurociągu.

Zestawienie parametrów technicznych przykładowego układu odzyskiwania energii [4]

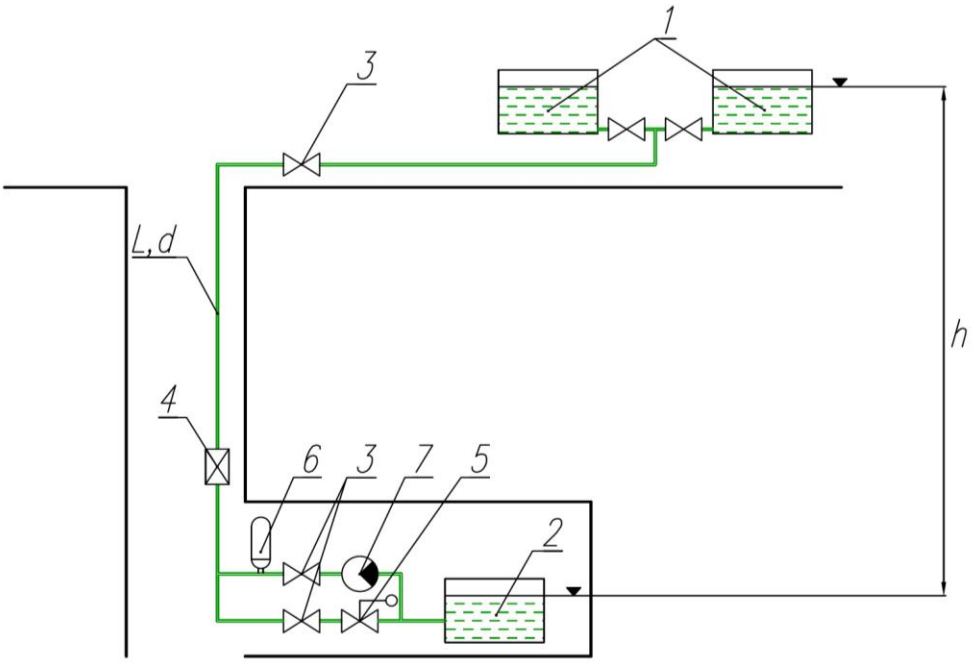
Tabela 1

Parametr	Dla natężenia przepływu o wartości:	
	nominalnej	maksymalnej
Natężenie przepływu [$m^3 \cdot s^{-1}$]	0,035	0,045
Prędkość przepływu [$m \cdot s^{-1}$]	1,98	2,55
Spad rurociągu [m]	223,27	212,34

Wartości parametrów zestawionych w tabeli 1 są niezbędne do doboru maszyn i urządzeń tworzących turbozespół przekształcający energię mechaniczną strugi wody płynącej rurociągiem szybowym w energię elektryczną.

3. Budowa układu odzyskiwania energii z rozpatrywanego odcinka rurociągu szybowego

Schemat hydrauliczny układu odzyskiwania energii z rurociągu szybowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat hydrauliczny układu odzyskiwania energii z rozpatrywanego odcinka rurociągu [4]

1 – zbiorniki zasilające, 2 – zbiornik przelewowy, 3 – zawór odcinający, 4 – zawór zwrotny, 5 – zawór pływakowy, 6 – akumulator hydropneumatyczny, 7 – turbozespół

Układ odzyskiwania energii tworzą: akumulator hydropneumatyczny, turbozespół i ręczny zawór odcinający [5]. Są one zabudowane na dodatkowej gałęzi łączącej rurociąg szybowy ze zbiornikiem przelewowym. Instalacja turbiny na odrębnej gałęzi, niezależnej od już istniejącego rurociągu przeciwpożarowego jest konieczna, gdyż minimalizuje ona ryzyko wystąpienia groźnych, w aspekcie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego, przerw w dostawie wody do wyrobisk, spowodowanych, zarówno zdarzeniami losowymi, jak również awariami elementów układu. Ułatwia również prowadzenie okresowej konserwacji oraz czynności naprawczych zmierzających do przywrócenia pierwotnych właściwości turbozespołu. W przypadku budowy systemu złożonego z układów pozyskiwania energii elektrycznej zainstalowanych bezpośrednio na kilku odcinkach rurociągu przeciwpożarowego w szybie, utworzono by system szeregowy, niepożądany z punktu widzenia teorii niezawodności.

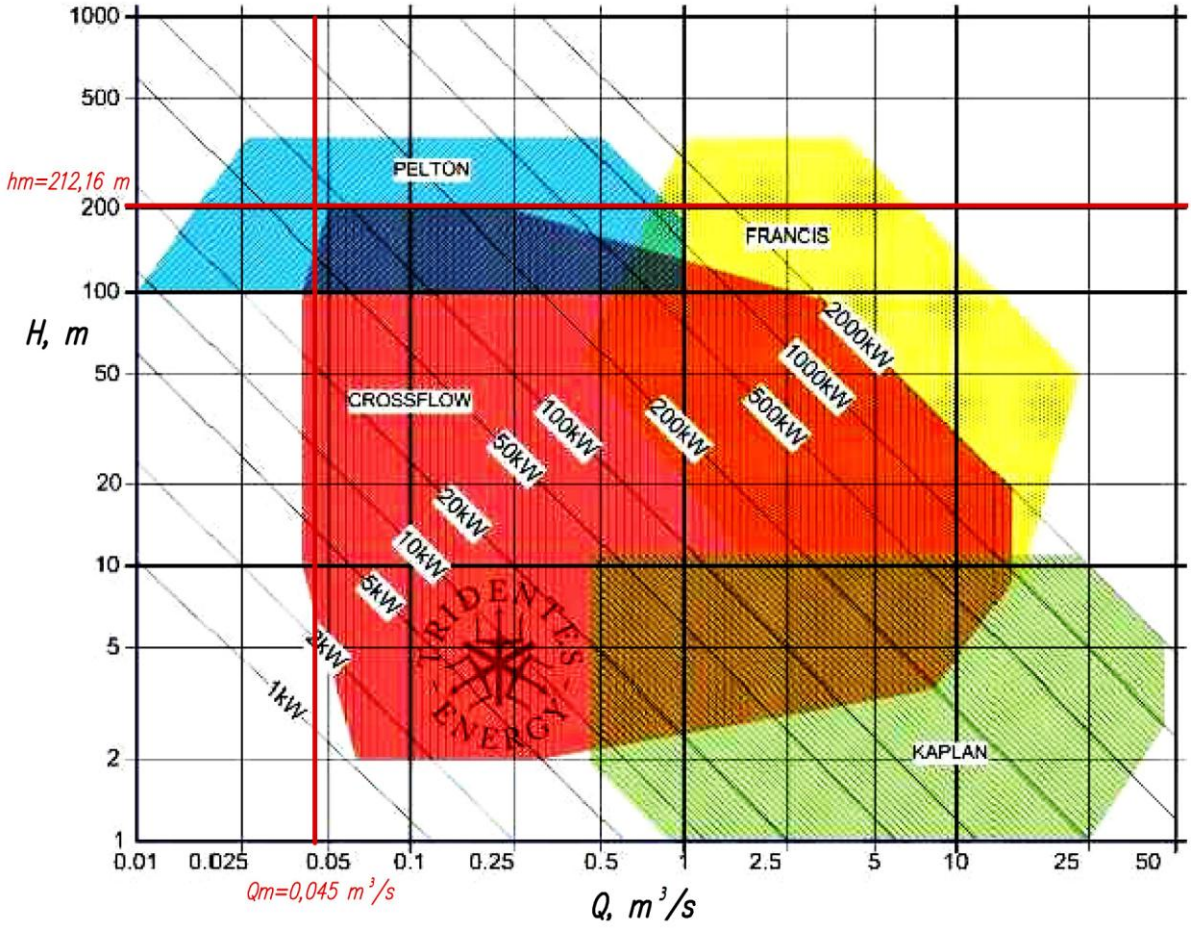
Układ odzyskiwania energii strugi wody płynącej rurociągiem szybowym opracowano przy założeniu, że parametry uzyskiwanej energii elektrycznej umożliwią jej bezpośrednie wykorzystanie w sieci kopalnianej. Stwierdzono, że urządzeniem umożliwiającym najefektywniejsze wykorzystanie energii wody jest miniaturowa turbina mechaniczna o zasadzie działania zbliżonej do działania tych turbin, które z powodzeniem stosowane są w elektrowniach wodnych. Przy projektowaniu takiej turbiny należy jednak uwzględnić szereg problemów natury technicznej związanych głównie ze znacznie mniejszymi parametrami strugi wody, w szczególności dużym zróżnicowaniem prędkości i natężenia przepływu wynikającym ze zmiennego zapotrzebowania na wodę.

Specyfika przepływu cieczy w rurociągach przeciwpożarowych wymaga zastosowania turbiny niewrażliwej na zmiany natężenia przepływu wody, o możliwie płaskiej charakterystyce mechanicznej i dużej sprawności. Istotny wpływ na wybór rodzaju turbiny

mają: natężenie przepływu, spad rurociągu i pożądana prędkość obrotowa turbiny. Schematyczny nomogram zakresu stosowania różnych rodzajów turbin przedstawiono na rysunku 3. Czerwonymi liniami zaznaczono maksymalną wartość natężenia przepływu w przykładowo rozpatrywanym rurociągu (rys. 2) oraz spad rurociągu. Z nomogramu wynika, że dla założonych wartości Q_m i H_m, szacunkowa moc turbiny, wynosi 70 ÷ 80 kW.

Podstawowym parametrem uwzględnianym przy doborze turbiny z uwagi na bezpieczeństwo procesowe, jest maksymalne natężenie przepływu Q_m wody w rurociągu. Przełyk turbiny, definiowany jako "*objętość wody przepływająca przez turbinę w czasie jednej sekundy, z włączeniem przecieków w dławicach i w przewodach odprowadzających układu zmniejszania naporu osiowego, lecz z wyłączeniem ilości wody koniecznej dla ruchu generatora i urządzeń pomocniczych oraz dla chłodzenia łożysk*" [2, 11] nie może bowiem ograniczać zapotrzebowania wyrobisk podziemnych w wodę.

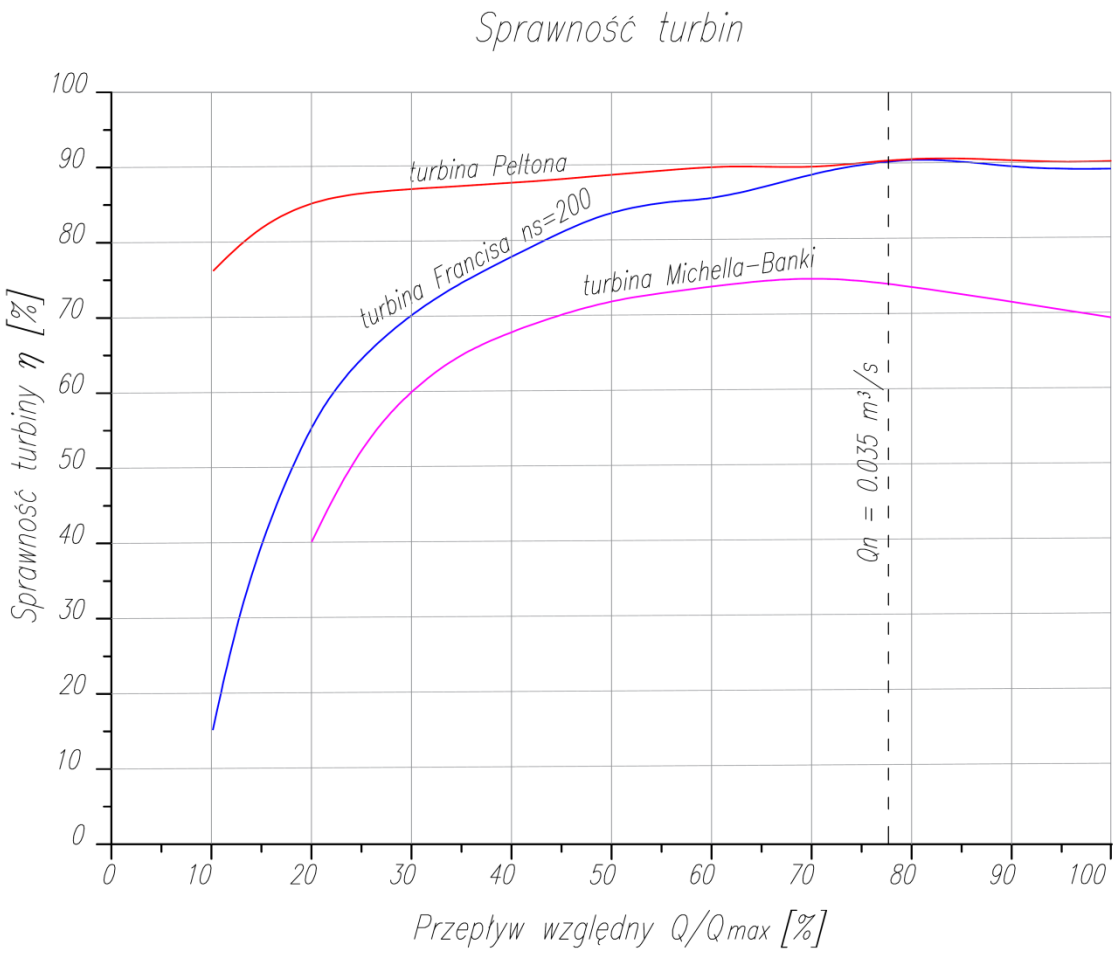
Kolejnym czynnikiem decydującym o wyborze rodzaju turbiny jest zależność jej sprawności od natężenia przepływu wody w rurociągu, zmieniającego się w stosunkowo szerokim zakresie. Z wykresu przedstawionego na rysunku 4 wynika, że w tym aspekcie najkorzystniejszy jest wybór turbiny Peltona. Osiąga ona bowiem największą sprawność, zmieniającą się w przedziale od 85%, (w przypadku gdy natężenie przepływu stanowi jedynie 20% wartości maksymalnej) do 90%, (przy maksymalnym natężeniu przepływu Q_m = 0,045 m^3/s).



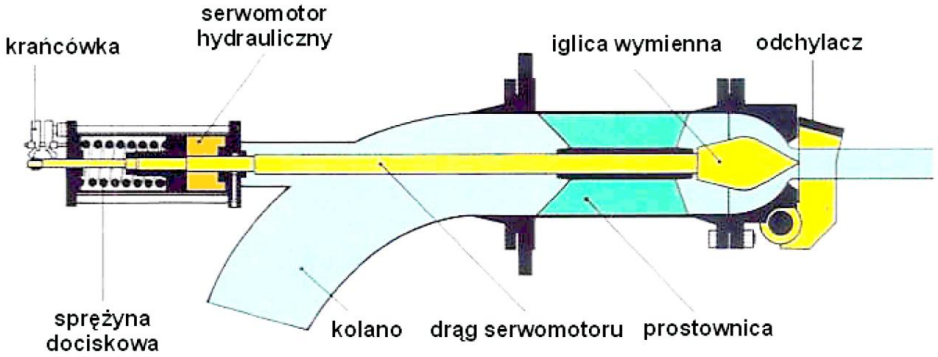
Rys. 3. Nomogram zakresu stosowania poszczególnych rodzajów turbin [14]

Turbiny wodne projektowane są każdorazowo pod wybraną inwestycję, co umożliwia osiągnięcie maksymalnej sprawności całego układu odzyskiwania energii z płynącej wody przy określonej wartości spadu rurociągu i natężenia przepływu. W przypadku turbiny Peltona o stopniu wykorzystania energii wody decyduje w głównej mierze liczba dysz natryskowych oraz liczba łopat i ich geometria [6, 8]. Zasada działania turbiny Peltona umożliwia więc wysoce efektywne wykorzystanie, zarówno silniejszego, jak i słabszego strumienia cieczy.

Budowa dyszy natryskowej turbiny Peltona umożliwia płynną regulację strumienia cieczy oraz zamykanie przewodu w sposób zautomatyzowany (rys. 5). Dzięki temu możliwa jest praca turbiny w przypadku ciągłego przepływu cieczy o zróżnicowanym natężeniu, bądź skokowego jej zasilania strugą o jednakowym natężeniu przepływu o wartości zbliżonej do wartości maksymalnej.

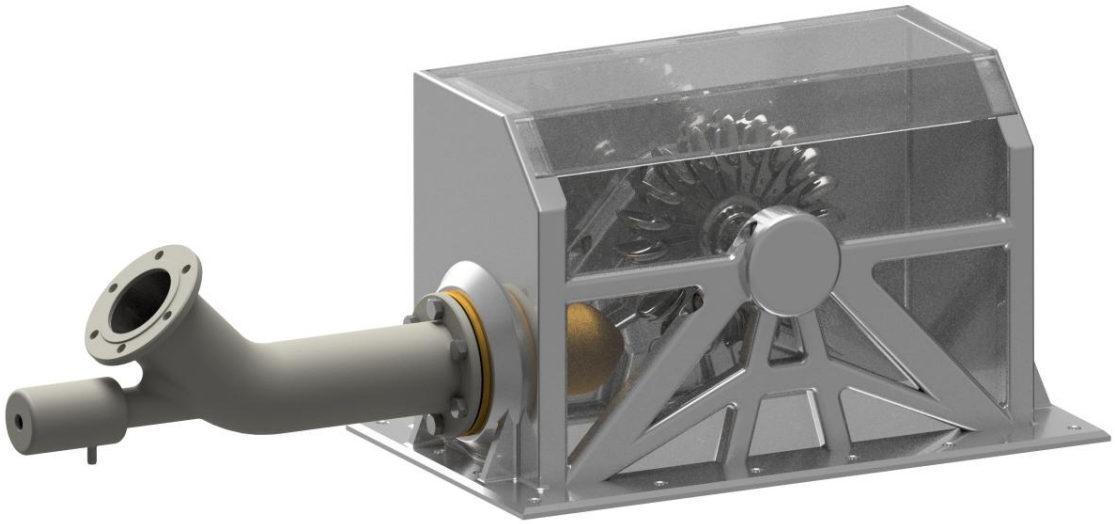


Rys. 4. Wykres sprawności wybranych turbin wodnych w funkcji przepływu względnego [opracowanie własne wg [2, 3, 8]]



Rys. 5. Schemat dyszy natryskowej turbiny Peltona [9]

W pracy [4] określono podstawowe parametry turbiny służącej do odzyskiwania energii cieczy z odcinka rurociągu (rys. 1) o parametrach zestawionych w tabeli 1. Korzystając z [1, 3] zaprojektowano geometrię łopaty oraz opracowano model fizyczny turbiny. Ponadto przeprowadzono wstępne analizy numeryczne modelu oraz techniką druku 3D wykonano model turbiny w skali 1:3 [4].



Rys. 6. Model fizyczny turbiny Peltona poddany analizie numerycznej [4]

Z obliczeń przedstawionych w pracy [4] wynika, że moc użyteczna opracowanej turbiny przy nominalnym natężeniu przepływu wynosi 57,4 kW. W przypadku maksymalnego natężenia przepływu wody w rurociągu szybowym moc użyteczna tej turbiny wynosi 70,2 kW. Projektując turbinę założono, że prędkość obrotowa wału osiągnie wartość zbliżoną do prędkości znamionowej generatorów dostępnych na rynku [6].

Ze względu na rosnące zainteresowanie pozyskiwaniem energii ze źródeł odnawialnych oraz postęp technologiczny koszty związane z produkcją prądnic synchronicznych maleją, a zakres ich stosowania poszerza się. Coraz częściej spotkać można generatory synchroniczne włączone w turbozespół o mocy mniejszej od 100 kW. Przykładowo firma *HS-Dynamic Energy* oferuje turbozespoły o mocy od 5 do 100 kW (rys. 7) [13].

Celem oszacowania ilości energii elektrycznej produkowanej przez zaproponowany układ odzyskiwania energii strugi wody płynącej odcinkiem rurociągu szybowego (rys. 2) założono, że całkowita sprawność systemu turbina – prądnica – regulator napięcia wynosi η = 0,75.

Rys. 7. Turbozespół o mocy 100 kW ofertowany przez *HS-Dynamic Energy* [13]

Moc turbiny uzależniona jest od systemu sterowania przepływem wody. Celem oszacowania ilości wytworzonej energii elektrycznej przyjęto, że średni czas zasilania punktów odbiorczych w wyrobiskach wodą o nominalnym natężeniu przepływu wynosi 8 godzin w ciągu jednej doby. Uwzględniono ponadto cykliczną pracę turbiny, wynikającą z objętości zbiornika przelewowego i różnych natężeń przepływu w poszczególnych odcinkach rurociągu szybowego. Moc rocznie produkowanej energii elektrycznej oszacowano na około 150 MW.

Maszyny i urządzenia tworzące układ odzyskiwania energii, oprócz turbiny, są dostępne na rynku. Turbina jest projektowana indywidualnie z uwzględnieniem parametrów odcinka rurociągu szybowego oraz kryterium maksymalnej mocy użytkowej. Koszt projektowania i wytwarzania turbozespołu można więc określić jedynie orientacyjnie. Z informacji podanych w [7] wynika, że w przypadku zastosowania turbiny Peltona koszt ten można oszacować korzystając z zależności:

$$CO_{t-a} = 17693 \cdot P^{0,635275} \cdot H^{-0,281735} \tag{2}$$

gdzie:

CO_{t-a} – łączne koszty inwestycyjne [€],

P – moc turbiny [kW],

H – spad rurociągu [m].

W związku z tym orientacyjny koszt turbozespołu produkującego energię elektryczną na przykładowo analizowanym odcinku rurociągu szybowego wynosi:

$$CO_{t-a} = 17693 \cdot 70{,}2^{0,635275} \cdot 212{,}34^{-0,281735}$$

$$CO_{t-a} \approx 58\,244\ €$$

Można więc oszacować, że zwrot poniesionych kosztów zakupu kompletnego turbozespołu (nie licząc kosztów pośrednich związanych z transportem, montażem oraz czynnościami diagnostycznymi) nastąpi w okresie $3 \div 3{,}5$ roku. W obliczeniach przyjęto koszt 1 kWh energii elektrycznej w wysokości 0,46 zł i kurs Euro, wynoszący 4,31 zł.

4. Podsumowanie

Transport wody technologicznej do podziemnych wyrobisk kopalń węgla kamiennego za pomocą rurociągu przeciwpożarowego usytuowanego w szybie wiąże się z koniecznością etapowego rozpraszania energii strugi wody w zbiornikach wyrównawczych.

Na podstawie analizy aspektów prawno – ekonomicznych związanych z wykorzystaniem tej rozpraszanej energii do napędu mini turbiny produkującej prąd elektryczny, stwierdzono [4], że istnieje możliwość budowy systemu odzyskiwania energii strugi wody z rurociągu szybowego i wykorzystanie wytworzonej energii elektrycznej do zasilania urządzeń elektrycznych w wyrobiskach.

Elementami zaproponowanego systemu są: mini turbina Peltona, generator synchroniczny trójfazowy, falownik, hydroakumulator, układ sterowania i diagnostyki systemu. Wszystkie maszyny i urządzenia tworzące system odzyskiwania energii, oprócz turbiny projektowanej indywidualnie z uwzględnieniem parametrów odcinka rurociągu szybowego oraz kryterium maksymalnej mocy użytkowej, są dostępne na rynku.

Analizując przykładowy odcinek rurociągu szybowego opisany w rozdziale 2. niniejszej pracy wykazano, że zaproponowany system może w ciągu roku wyprodukować do 150 MW energii elektrycznej, a szacunkowy okres zwrotu nakładów inwestycyjnych związanych z budową systemu wynosi $3 \div 3{,}5$ roku. Można więc domniemywać, że zastosowanie rozpatrywanej koncepcji w odpowiednich warunkach jest ekonomicznie uzasadnione.

Prace badawczo – projektowe nad wdrożeniem koncepcji systemu odzyskiwania energii strugi wody z rurociągu szybowego są aktualnie prowadzone w ITG KOMAG.

Literatura

[1] Eisenring M.: Micro Pelton turbines, Niederuzwil 1991

[2] Karolewski B., LIGOCKI P.: *Wyznaczanie parametrów małej elektrowni wodnej.* Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej Nr 56, Wrocław 2004, s 1-12. Wydanie elektroniczne , "Studia i Materiały" -http://www.kmnipe.pwr.edu.pl/wyd-stud.dhtml

[3] Krzyżanowski W.: Turbiny wodne – konstrukcja i zasady regulacji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971

[4] Lazar D.: Analiza możliwości odzyskiwania energii wody z rurociągu kopalnianego. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii. Gliwice 2016, Biblioteka Instytutu Mechanizacji Górnictwa Pol. Śl. (praca niepublikowana)

[5] Lazar D.: Sposób odzyskiwania energii z rurociągu kopalnianego. Zgłoszenie patentowe nr P.419480

[6] Michałowski S., Plutecki J.: Energetyka wodna, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971 Warszawa, 1975.

[7] Ogayar B., Gomez P.: Tools for Determination of the Cost of a Turbine_Alternator Set of Small Hydro-Power plant, Australia, Hiszpania. home.agh.edu.pl/

[8] Prosnak W.: Mechanika płynów, PWN Warszawa 1970

[9] Traboulsi A., Olleik M.: Présenté pour obtenir le titre de Ingenieur de l'Universite Libanaise Faculté de Génie –Branche III, Liban 2013

[10] PN-G-05011:1997 Górnictwo - Rurociągi szybowe - Zasady projektowania

[11] BN-64/0300-01 Turbiny wodne - pojęcia i określanie

[12] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz. U. 2002 nr 139 poz. 1169

[13] Oferta handlowa turbozespołu 100 kW HS-Dynamic Energy

[14] http://www.tridentes.com/energy/en/turbines.html

Czy wiesz, że ....

...w Laboratorium Badawczym Instytutu KOMEL zaprojektowano, zbudowano i uruchomiono stanowisko do badania maszyn elektrycznych, głównie silników i generatorów o mocach od 10 do 200 kW, prędkości obrotowej do 3000 obr./min i momencie obrotowym do 1200 Nm. Stanowisko umożliwia również przeprowadzanie badań sprzęgieł elektromagnetycznych. W skład stanowiska wchodzą: hamownia wraz z układem zasilania, ława montażowa, układ pomiarowy i pulpit sterowniczy oraz oprogramowanie pomiarowe i wspomagające edycję sprawozdań z badań. Nowe stanowisko badawcze cechuje modułowa i kompaktowa budowa, która pozwala na dość dowolne rozlokowanie poszczególnych elementów w istniejącej infrastrukturze. Ponadto, nie jest wymagane wykonywanie specjalnych przygotowawczych prac budowlanych. Wszystkie zastosowane podzespoły są dostępne w Polsce, przez co usuwanie ewentualnych awarii nie nastręczy większych problemów.

Napędy i Sterowanie 2017 nr 9 s.139-141

Podejście oparte na ryzyku w świetle wymagań normy PN-EN ISO 9001:2015-10

mgr inż. Romana Zając
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

W artykule poruszono zagadnienie zarządzania ryzykiem w odniesieniu do organizacji wdrażających system zarządzania jakością zgodny ISO 9001:2015. Opisano proces analizy ryzyka oraz przedstawiono przykładowy opis metodyki oceny ryzyka.

Abstract:

Risk management with reference to the organisations implementing the ISO 9001:2015 quality management system is discussed. The process of risk analysis is presented with the sample description of risk assessment methodology.

Słowa kluczowe: system zarządzania jakością, ISO 9001:2015, podejście oparte na ryzyku, analiza ryzyka

Keywords: quality management system, ISO 9001:2015, risk-based approach, risk analysis

1. Wprowadzenie

Coraz częściej analiza i ocena ryzyka wynika z wdrażanych w organizacjach standardów normalizacyjnych, które wymagają oszacowania ryzyka jej działalności. Ponieważ ryzyko występuje we wszystkich procesach systemu zarządzania jakością, zarządzanie ryzykiem jest narzędziem stosowanym nie tylko do identyfikacji zagrożeń i szans, ale przede wszystkim do świadomego podejmowania decyzji.

W roku 2015 wdrożono do stosowania nową normę ISO 9001 z obszaru systemu zarządzania jakością. Zmieniła się nie tylko struktura dokumentu, terminologia, ale i główne wymagania. Zakres najistotniejszych zmian w nowym wydaniu normy opisano w [8].

W znowelizowanej normie pojawiły się między innymi wymagania dotyczące podejścia procesowego opartego na ryzyku, które są wykorzystywane do:

- podejmowania decyzji,
- określenia zakresu planowania procesu i niezbędnego nadzoru,
- poprawy skuteczności systemu zarządzania jakością.

Takie podejście oparte na ryzyku ma zapewniać zidentyfikowanie, analizę i nadzór nad ryzykiem zarówno podczas projektowania, jak i funkcjonowania systemu zarządzania jakością.

2. Podejście oparte na ryzyku zawarte w normie PN-EN ISO 9001:2015-10

Jedną z głównych zmian wprowadzonych podczas nowelizacji normy ISO 9001 było ustanowienie jednolitego podejścia do oceny ryzyka i nie traktowanie już działań zapobiegawczych jako odrębnego wymagania systemu zarządzania.

We wszystkich wcześniejszych wydaniach normy ISO 9001 funkcjonowało pojęcie działań zapobiegawczych, które miało na celu „*wyeliminować przyczyny względnie zminimalizować możliwość wystąpienia potencjalnych niezgodności*” (pkt. 8.5.3 ISO 9001:2008).

W nowym wydaniu normy dzięki zastosowaniu podejścia opartego na ocenie ryzyka pojęcie zapobiegania traktowane jest już jako część procesu związanego z zarządzaniem organizacją.

Jest to podejście polegające na wcześniejszej identyfikacji problemów (zagrożeń) i podejmowaniu działań, czyli zapobieganiu lub ograniczaniu niepożądanych skutków.

Tak więc w systemie zarządzania działanie zapobiegawcze stanowi element zarządzania ryzykiem.

Warto podkreślić, iż ogólna koncepcja podejścia opartego na ryzyku sygnalizowana jest już we wprowadzeniu do ISO 9001:2015 a następnie przewija się przez całą normę [2]. I tak:

- w rozdziale 4 – wymaga się, aby organizacja określiła (zdefiniowała) procesy potrzebne w systemie zarządzania jakością i uwzględniła swoje ryzyka i szanse,
- w rozdziale 5 – wymaga się od najwyższego kierownictwa, aby promowało świadomość podejścia opartego na ryzyku; określiło i uwzględniło ryzyka i szanse, które mogą mieć wpływ na zgodność wyrobu/usługi,
- w rozdziale 6 – wymaga się od organizacji, aby zidentyfikowała ryzyka i szanse tak, aby system zarządzania jakością mógł osiągnąć zamierzony wynik,
- w rozdziale 7 – wymaga się od organizacji, aby określiła i zapewniła niezbędne zasoby,
- w rozdziale 8 – wymaga się od organizacji, aby zarządzała swoimi procesami operacyjnymi oraz wdrożyła działania odnoszące się do ryzyk i szans,
- w rozdziale 9 – wymaga się od organizacji, aby monitorowała, mierzyła, analizowała i oceniała skuteczność działań podjętych w celu uwzględnienia ryzyk i szans,
- w rozdziale 10 – wymaga się od organizacji, aby aktualizowała określone ryzyka i szanse.

Przytoczone wymagania wykazują, iż aktualne podejście do zarządzania opartym na ryzyku wpisane jest w funkcjonowanie systemu zarządzania jakością [2, 7].

3. Pojęcie ryzyka i zagrożeń

Norma PN-ISO 31000:2012 definiuje ryzyko jako [4]:

- niepewność związaną ze zdarzeniem lub działaniem, które wpłynie na zdolność realizacji celów,
- szansę, że coś wydarzy się, co będzie miało wpływ na cele, wyrażoną w wielkościach prawdopodobieństwa i skutków,
- kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia wydarzenia i jego skutków.

Z kolei wdrożona nowa norma PN-EN ISO 9000:2015-10 modyfikuje przytoczoną wcześniej definicję i określa ryzyko jako wpływ niepewności [3].

Ryzyko zatem można zdefiniować jako niepewność związaną z przyszłymi wydarzeniami lub wynikami decyzji. Wyniki decyzji prowadzą do wystąpienia straty lub zysku [11].

Każde ryzyko można rozpatrywać w dwóch płaszczyznach:

- w <u>kontekście wewnętrznym</u>, który uwzględnia [10]:
  - strukturę organizacyjną,

- polityki, cele i strategie,
- zasoby i wiedzę (np. kapitał, czas, ludzie, procesy, systemy i technologie),
- systemy informacyjne, procesy podejmowania decyzji (formalne i nieformalne),
- kulturę organizacyjną,
- normy, wytyczne i modele przyjęte przez organizację,
- formę i zakres relacji zawartych w umowach,

➢ w kontekście zewnętrznym, który uwzględnia: środowisko polityczne, prawne, regulacyjne, finansowe, technologiczne, ekonomiczne oraz konkurencyjne organizacje, a także kluczowe czynniki mające wpływ na cele działania organizacji.

Ocena ryzyka jest definiowana jako całościowy proces jego identyfikacji, analizy oraz ewaluacji [9].

Celem zarządzania ryzykiem jest zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia oraz skutków zdarzeń lub okoliczności negatywnie wpływających na zaplanowane przedsięwzięcie, względnie określony zakres działalności.

Zarządzanie ryzykiem powinno być przejrzyste i całościowe, stąd w procesie identyfikacji czynników ryzyka powinny być uwzględnione takie kategorie, jak:

- zarządzanie,
- bezpieczeństwo,
- działalność operacyjna,
- otoczenie.

W zależności od stopnia szczegółowości prowadzonej analizy, potrzeb i celów, identyfikacja czynników ryzyka może rozpatrywać także ryzyko [12]:

- finansowe (podstawowe przepisy dotyczące zarządzania ryzykiem – Ustawa o finansach publicznych - Dz. U. z 2009 Nr 157, poz. 1240),
- rynkowe, czyli ryzyko poniesienia straty w wyniku zmiany wartości aktywów będących przedmiotem obrotu,
- bezpieczeństwa informacji (Rozporządzenia Prezesa Rady Ministrów w sprawie podstawowych wymagań bezpieczeństwa teleinformatycznego - Dz. U. z 2011 Nr 159, poz. 948),
- zawodowe w kontekście bezpieczeństwa pracy (podstawowe przepisy – Kodeks pracy 1974 r. Dz.U. 1974 Nr 24 poz. 141 oraz rozporządzenie w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy - Dz.U. z 2003 r. Nr 169, poz.1650 z późn. zm),
- techniczno-technologiczne np. ryzyko projektu, czyli ryzyko niedotrzymania technicznych i/lub ekonomicznych (finansowych) warunków projektu przedsięwzięcia,
- korupcyjne,
- środowiskowe i inne.

Dotychczas w praktyce gospodarczej nie udało się opracować ujednoliconych zasad systematyzacji ryzyka. Rodzaje ryzyka są formułowane w zależności od charakteru organizacji. Każda z nich identyfikuje istniejące ryzyka, a zakres i skala takiej identyfikacji

jest uzależniona od przyjętych zasad systematyki. Możliwości usystematyzowania ryzyka według różnych kryteriów wydają się zatem nieograniczone.

Przytoczona wcześniej norma PN-ISO 31000:2012 przedstawia formy postępowania z ryzykiem realizowane poprzez [4]:

- unikanie ryzyka poprzez nierozpoczynanie lub przerywanie działań ze względu na jego wysoki poziom,
- podejmowanie lub zwiększanie ryzyka w celu wykorzystania szansy,
- eliminację czynnika ryzyka,
- zmianę prawdopodobieństwa wystąpienia czynnika ryzyka,
- zmianę wpływu lub konsekwencji czynnika ryzyka,
- współdzielenie ryzyka z inną stroną,
- utrzymanie ryzyka (zaakceptowanie ryzyka bez podejmowania jakichkolwiek działań).

Norma ustanawia zasady prowadzenia procesu zarządzania ryzykiem. Prawidłowo wdrożony i realizowany proces zarządzania ryzykiem powinien [1, 4]:

- wspierać osiąganie celów oraz zwiększać efektywność organizacji,
- stanowić integralną część wszystkich procesów organizacyjnych, a w szczególności zarządzania,
- stanowić element podejmowania decyzji tak, aby ryzyko było jednym z kryteriów hierarchizacji celów,
- uwzględniać kwestie niepewności w przyjętych celach oraz ryzyku ich realizacji,
- bazować na najlepszych, dostępnych informacjach, doświadczeniach, informacji zwrotnej od klientów, prognozach i ocenach eksperckich,
- dostosowywać się do specyfiki organizacji tak, aby poziom szczegółowości gromadzonych informacji o ryzyku był dostosowany do złożoności struktury organizacji, procesów oraz zakresu działania.

W praktyce stosowane są różne metody oceny ryzyka opierające się na doświadczeniach, statystyce, czy wiedzy eksperckiej. Do każdej organizacji należy zatem decyzja o zastosowaniu określonej metody, w zależności od wielkości, obszaru działania lub kompetencji personelu. Spośród wielu stosowanych metod organizacja może wykorzystać analizę:

- przyczynowo-skutkową,
- drzewa decyzji,
- drzewa błędów,
- drzewa zdarzeń,
- scenariuszową,

oraz

- metodę „co, jeśli?”,
- matrycę skutek/prawdopodobieństwo.

Każda z metod zawsze zawiera takie elementy, jak: ocena i identyfikacja zagrożeń, oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia danego zagrożenia, jak również ewentualnych strat, które ze sobą niesie.

4. Zarządzanie ryzykiem

Zarządzanie ryzykiem to skoordynowane działania dotyczące kierowania i nadzorowania organizacją w odniesieniu do ryzyka. Jest to zatem proces, w ramach którego organizacja w sposób metodyczny rozwiązuje problemy związane z ryzykiem, które towarzyszy jej działalności.

W ujęciu procesowym każda ocena ryzyka powinna uwzględniać co najmniej następujące etapy [11, 13]:

- zaplanowanie zarządzania ryzykiem – etap definiowania, w jaki sposób w organizacji przeprowadzone będzie zarządzanie ryzykiem, jakie metody, narzędzia i techniki zostaną użyte,
- identyfikowanie ryzyka – etap mający na celu określenie, które czynniki ryzyka mają wpływ na organizację,
- przeprowadzenie jakościowej analizy ryzyka – etap, w którym ryzyka są klasyfikowane ze względu na ich istotność oraz wyodrębnienie tych, którymi warto się dalej zajmować (ocena taka powinna opierać się na obiektywnych i niezależnych dowodach, uwzględniać punkty widzenia wszystkich interesariuszy),
- przeprowadzenie ilościowej analizy ryzyka – etap analizy ryzyk wyodrębnionych w jakościowej analizie ryzyka (w przypadku konieczności bardziej szczegółowego podejścia),
- zaplanowanie reakcji na ryzyko – etap przygotowania możliwych reakcji, wybór odpowiednich działań oraz przypisanie osób odpowiedzialnych za przeprowadzenie działań związanych z ryzykiem,
- monitorowanie i kontrola ryzyka - etap wdrażania przygotowanych uprzednio działań, nadzór oraz kontrola statusu ryzyka,

co przedstawiono na rysunku 1.

Rys. 1. Elementy zarządzania ryzykiem [opracowanie własne na podst. [13]]

Każda organizacja z uwagi na swoją specyfikę działania powinna oddzielnie identyfikować czynniki ryzyka, a następnie przypisywać do odpowiednich kategorii.

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe kategorie ryzyka wraz z przykładami dotyczącymi jego możliwych źródeł.

Przykładowe kategorie i czynniki ryzyka [opracowanie własne]

Tabela 1

Kategoria ryzyka	Czynniki ryzyka
Ryzyko zewnętrzne (przewidywalne)	– zmiany na rynkach finansowych – zmiany w konkurencji – spowolnienie gospodarcze
Ryzyko zewnętrzne (nieprzewidywalne)	– nieoczekiwane zmiany regulacji prawnych lub częste ich zmiany – niepewna sytuacja polityczna
Ryzyko wewnętrzne	– brak czytelnej struktury organizacyjnej – zmiany w kierownictwie organizacji – słabe wykorzystanie zasobów ludzkich
Ryzyko techniczne	– braki w parku maszynowym/zapleczu badawczym – brak gwarancji utrzymania ciągłości pracy systemów informatycznych – zmiany wymagań jakościowych
Ryzyko finansowe	– brak płynności finansowej – zaburzenia przepływów pieniężnych – brak ubezpieczenia od odpowiedzialności cywilnej
Ryzyko procesów wewnętrznych	– brak instrukcji regulujących zasady postępowania w różnych obszarach działania – brak jasno zdefiniowanych procesów i procedur dla wybranych obszarów

5. Zarządzanie ryzykiem w instytucie badawczym w ITG KOMAG

Pierwsze prace związane z zarządzaniem ryzykiem podjęto w ITG KOMAG w 2012 roku. Były one ściśle związane z działalnością jednostki notyfikowanej i wymaganiami dotyczącymi konieczności identyfikacji zagrożeń oraz określenia ryzyka, które musi być zredukowane i ciągle monitorowane. Ówczesna analiza ryzyka związana była z wymaganiem normy PN-EN ISO/IEC 17065:2013-03 i zapisem aby: „*Jednostka certyfikująca na bieżąco identyfikowała ryzyka w odniesieniu do swojej bezstronności*”.

Dotyczyło to szczególnie bezstronności i poufności, które powinny być zapewnione na wszystkich poziomach: strategii i polityk oraz samego procesu oceny zgodności. W przeprowadzonej przez Instytut analizie pojawiły się czynniki ryzyka wynikające z prawa własności, powiązań jednostki ze spółkami, lub powiązań jej personelu.

Niezależnie od wymagań ww. normy Instytut dodatkowo rozszerzył Rejestr ryzyka o obszary, które uwzględniały:

- zarządzanie (zarządzanie, potencjał i możliwości jednostki notyfikowanej na tle całej organizacji),
- sprawy kadrowe (zasoby, kompetencje, szkolenia),
- środki techniczne (lokalizacja, budynki, sprzęt, środowisko),
- środki informatyczne,
- czynniki zewnętrzne,

- procesy wewnętrzne,
- działalność operacyjną, w tym:
  - badania laboratoryjne,
  - działalność certyfikacyjną i ocenę zgodności.

Z chwilą wprowadzenia do stosowania nowej normy PN-EN ISO 9001:2015-10 proces zarządzania ryzykiem uzupełniono o pozostałe obszary działalności operacyjnej (przy zachowaniu ich odrębności). Uzupełniono analizę o obszar:

- prac rozwojowych,
- prac projektowych,
- wydawania ekspertyz i opinii.

Wyniki oceny ryzyka przeprowadzone dla tak szerokiego obszaru działalności instytutu umożliwiły [1, 6]:

- identyfikację przyczyn, źródeł i skutków ryzyka (pozytywnego bądź negatywnego),
- oszacowanie prawdopodobnych skutków błędów, w odniesieniu do klienta, zarówno zewnętrznego, jak i wewnętrznego,
- oszacowanie: czy ryzyko jest akceptowalne, tolerowalne lub nietolerowalne,
- ocenę rodzaju i kategorii ryzyka,
- powiązanie ryzyka z celami Instytutu,
- oszacowanie mechanizmów kontroli pod kątem wykrywalności i zapobiegania ryzyku.

5.1. Identyfikacja ryzyka

Identyfikacja ryzyka w ITG KOMAG polegała na ujawnieniu czynników ryzyka związanych z całą działalnością operacyjną Instytutu.

Do identyfikacji ryzyka zastosowano metody:

- „burza mózgów”,
- analiza wyników z wcześniejszych działań, w tym dostępnej dokumentacji związanej z kontrolami i auditami wewnętrznymi oraz skargami i reklamacjami,
- analiza wyników auditów zewnętrznych,
- analiza informacji dotyczących negatywnych zdarzeń, które wystąpiły w przeszłości.

Identyfikacja ryzyka pozwoliła na:

- stworzenie listy czynników ryzyka związanych z prowadzoną działalnością,
- opisanie ewentualnych skutków następstw będących wynikiem ich zaistnienia,
- wskazanie adresatów (właścicieli) poszczególnych ryzyk.

5.2. Analiza przyczyn i skutków ryzyka

Przeprowadzona analiza dostarczyła danych wejściowych do ewaluacji ryzyka i podjęcia decyzji odnośnie postępowania z ryzykiem.

Pozwoliła na określenie:

- prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka,

– prawdopodobnych skutków błędów w odniesieniu do klienta, zarówno zewnętrznego, jak i wewnętrznego,
– skutków powstałych strat (czy są to straty pomijalne, niskie, duże, bardzo duże),
– poziomu ryzyka, jaki Instytut jest w stanie zaakceptować,

jak również:

– oddzielenie niewielkiego ryzyka od istotnego ryzyka,
– powiązanie ryzyka z celami Instytutu,
– oszacowanie mechanizmów kontroli pod kątem wykrywalności i zapobiegania ryzyku.

5.3. Jakościowa analiza ryzyka

Na podstawie listy zidentyfikowanych zagrożeń związanych z prowadzoną działalnością dokonano oceny prawdopodobieństwa jego wystąpienia oraz wpływu na Instytut.

Efektem jakościowej analizy ryzyka była hierarchizacja czynników pod kątem ich potencjalnego wpływu na cele Instytutu. Możliwe było określenie wagi poszczególnych czynników ryzyka, a w rezultacie zaplanowanie i podjęcie działań w zakresie odpowiednim do ich znaczenia.

W jakościowej analizie przyjęto sposób określenia prawdopodobieństwa w formie uproszczonej, zakładając następujące kryteria:

– prawdopodobieństwo: *0 - brak możliwości wystąpienia*; *1 – absolutna pewność wystąpienia* ryzyka,
– częstość - przyjęto następujące częstości wystąpienia zdarzeń: *sporadycznie, rzadko, często, ustawicznie*,
– skutki strat: *pomijalne, niskie, duże, bardzo duże*.

5.4. Oszacowanie ryzyka

Dla działalności Instytutu ustalono następującą hierarchizację ryzyka:

– akceptowalne, nie stanowiące istotnego zagrożenia dla działalności,
– tolerowalne – mogące być przyczyną zagrożenia (można podjąć szybkie działania zapobiegawcze),
– nietolerowalne – mogące przynieść znaczące straty.

Szacowany poziom ryzyka określono jako:

$$R(a) = Z(a) \times S(a) \qquad (1)$$

gdzie:

$R(a)$ - prawdopodobieństwo wystąpienia danego czynnika ryzyka,

$Z(a)$ - częstość zdarzenia,

$S(a)$ – wartość skutku (straty).

Przeprowadzona analiza umożliwiła sporządzenie mapy ryzyka, która w graficzny sposób zobrazowała, jak są oceniane poszczególne ryzyka, co pozwala na podjęcie działań w kierunku zmniejszenia w pierwszej kolejności ryzyka w obszarach krytycznych.

5.5. Postępowanie z ryzykiem

Zgodnie z normą ISO 31000 postępowanie z ryzykiem jest procesem jego modyfikacji, a dokładniej jego statusu. Proces ten polega opcjonalnie na [5]:

- usunięciu źródła ryzyka,
- zmianie prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka,
- zmianie następstw ryzyka,
- dzieleniu ryzyka, wraz z inną stroną lub stronami (łącznie z umowami i finansowaniem ryzyka),
- retencji ryzyka (akceptacji potencjalnej korzyści lub ciężaru straty) na podstawie świadomej decyzji.

5.6. Monitorowanie i kontrola ryzyka

Końcowym elementem procesu jest monitorowanie i kontrola ryzyka, która w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG polega na nieustannej obserwacji i nadzorowaniu zidentyfikowanych ryzyk, identyfikacji nowo powstałych zagrożeń oraz systematycznej ocenie skuteczności podejmowanych działań zapobiegawczych. Stałe monitorowanie ryzyka dostarcza informacji niezbędnych do podejmowania decyzji wyprzedzających pojawienie się niekorzystnych zdarzeń.

5.7. Techniki i narzędzia zarządzania ryzykiem - macierz ryzyka

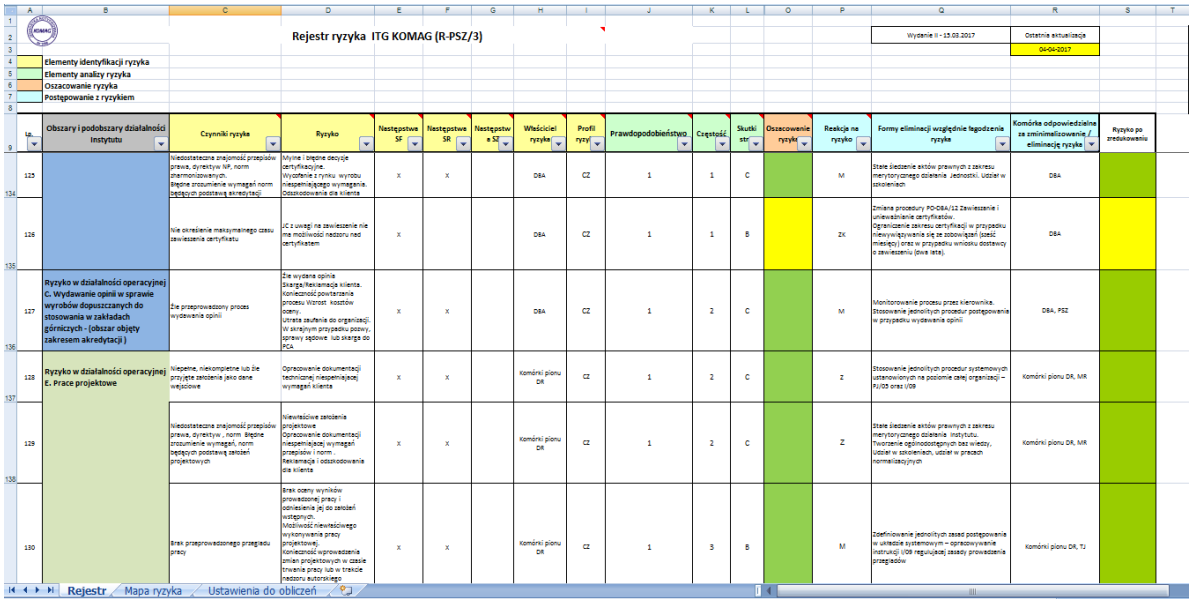
Dokumentowanie działań związanych z zarządzaniem ryzykiem jest jednym z ostatnich elementów całego procesu. Jednym ze sposobów dokumentujących proces identyfikacji, analizy oraz oceny zagrożeń jest prowadzenie „Rejestru ryzyka” i taki tryb przyjęto w ITG KOMAG.

W opracowanym i nadzorowanym Rejestrze zidentyfikowano i zapisano najistotniejsze czynniki ryzyka z punktu widzenia prowadzonej działalności (rys. 2).

Rejestr nie jest zamknięty i jest aktualizowany o nowe, czynniki ryzyka w miarę ich wystąpienia.

Na bazie Rejestru powstała macierz ryzyka. Na jej podstawie podejmowane są decyzje, które zagrożenia są najistotniejsze i dla których w pierwszej kolejności należy wdrożyć odpowiednie działania minimalizujące ryzyko.

W ramach systemu zarządzania ryzykiem, wyznaczona komórka organizacyjna realizuje zadania obejmujące m.in. prowadzenie zbiorczego Rejestru ryzyka oraz udzielanie kierownictwu informacji o zidentyfikowanych ryzykach i ich istotności. Komórka ta odpowiedzialna jest również za aktualizację Rejestru w przypadku konieczności umieszczenia na liście nowego rodzaju czynników ryzyka.



Rejestr ryzyka ITG KOMAG (R-PSZ/3)

Wydanie II - 15.03.2017 | Ostatnia aktualizacja 04-04-2017

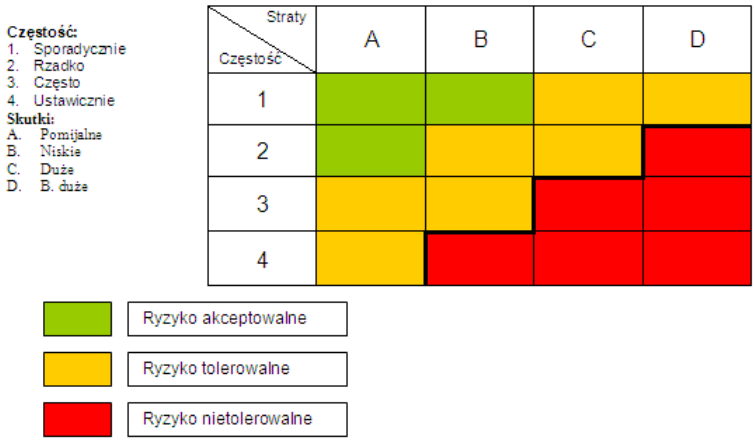
Elementy identyfikacji ryzyka
Elementy analizy ryzyka
Oszacowanie ryzyka
Postępowanie z ryzykiem

Lp.	Obszary i podobszary działalności Instytutu	Czynniki ryzyka	Ryzyko	Następstwo SF	Następstwo SR	Następstwo SZ	Właściciel ryzyka	Profil ryzyka	Prawdopodobieństwo	Częstość	Skutki str	Oszacowanie ryzyka	Reakcja na ryzyko	Formy eliminacji względnie łagodzenia ryzyka	Komórka odpowiedzialna za zminimalizowanie / eliminację ryzyka	Ryzyko po zredukowaniu
125		Niedostateczna znajomość przepisów prawa, dyrektyw NP, norm zharmonizowanych. Błędne zrozumienie wymagań norm będących podstawą akredytacji	Mylne i błędne decyzje certyfikacyjne. Wycofanie z rynku wyrobu niespełniającego wymagania. Odszkodowania dla klienta	X	X		D8A	CZ	1	1	C		M	Stałe śledzenie aktów prawnych z zakresu merytorycznego działania Jednostki. Udział w szkoleniach	D8A	
126		Nie określenie maksymalnego czasu zawieszenia certyfikatu	JC z uwagi na zawieszenie nie ma możliwości nadzoru nad certyfikatem	X			D8A	CZ	1	1	B		ZK	Zmiana procedury PO-D8A/12 Zawieszenie i unieważnienie certyfikatów . Ograniczenie zakresu certyfikacji w przypadku niewywiązywania się ze zobowiązań (sześć miesięcy) oraz w przypadku wniosku dostawcy o zawieszeniu (dwa lata).	D8A	
127	Ryzyko w działalności operacyjnej C. Wydawanie opinii w sprawie wyrobów dopuszczanych do stosowania w zakładach górniczych - (obszar objęty zakresem akredytacji)	Złe przeprowadzony proces wydawania opinii	Złe wydane opinie Skarga/Reklamacja klienta. Konieczność powtarzania procesu Wzrost kosztów oceny. Utrata zaufania do organizacji. W skrajnych przypadku pozwy, sprawy sądowe lub skarga do PCA	X	X		D8A	CZ	1	2	C		M	Monitorowanie procesu przez kierownika. Stosowanie jednolitych procedur postępowania w przypadku wydawania opinii	D8A, PSZ	
128	Ryzyko w działalności operacyjnej E. Prace projektowe	Niepełne, niekompletne lub źle przyjęte założenia jako dane wejściowe	Opracowanie dokumentacji technicznej niespełniającej wymagań klienta	X	X		Komórki pionu DR	CZ	1	2	C		Z	Stosowanie jednolitych procedur systemowych ustanowionych na poziomie całej organizacji – PJ/D0 oraz I/D9	Komórki pionu DR, MR	
129		Niedostateczna znajomość przepisów prawa, dyrektyw , norm Błędne zrozumienie wymagań, norm będących podstawą założeń projektowych	Niewłaściwe założenia projektowe Opracowanie dokumentacji niespełniającej wymagań przepisów i norm . Reklamacja i odszkodowanie dla klienta	X	X		Komórki pionu DR	CZ	1	2	C		Z	Stałe śledzenie aktów prawnych z zakresu merytorycznego działania instytutu. Tworzenie ogólnodostępnych baz wiedzy, Udział w szkoleniach, udział w pracach normalizacyjnych	Komórki pionu DR, MR	
130		Brak przeprowadzonego przeglądu pracy	Brak oceny wyników prowadzonej pracy i opniesienia jej do założeń wstępnych. Możliwość niewłaściwego wykonywania pracy projektowej. Konieczność wprowadzenia zmian projektowych w czasie trwania pracy lub w trakcie nadzoru autorskiego	X	X		Komórki pionu DR	CZ	1	3	B		M	Zdefiniowanie jednolitych zasad postępowania w układzie systemowym – opracowywanie instrukcji I/D9 regulującej zasady prowadzenia przeglądów	Komórki pionu DR, TJ	

Rejestr | Mapa ryzyka | Ustawienia do obliczeń

Rys. 2. Przykład Rejestru ryzyka dla ITG KOMAG [opracowanie własne]

W odniesieniu do każdego z wyspecyfikowanych czynników ryzyka, umieszczonych w Rejestrze ryzyka, oszacowano ryzyko przy wykorzystaniu macierzy. Przyjęto klasyfikację częstości (liczbę zdarzeń występujących w określonym przedziale czasowym) oraz potencjalnych skutków, zgodnie z diagramem przedstawionym na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowa struktura macierzy oceny poziomu ryzyka

Kombinacje oceny ryzyka i jakości zarządzania dostarczają kierownictwu Instytutu informacji, które czynniki ryzyka mogą być pominięte, a które wymagają szczególnej uwagi, ze względu na negatywny wpływ na realizowane procesy.

Efektem prac związanych z analizą i oceną ryzyka jest ich uszeregowanie według określonego kryterium. W przypadku każdego z nich dokonywana jest analiza i stosowany

jest odpowiedni mechanizm nadzoru, który pozwala sprawdzić, czy w wystarczający sposób zapewniona jest kontrola nad zagrożeniami i związanym z nimi ryzykiem.

Dla najbardziej istotnych czynników ryzyka lub tych, które mogą stwarzać szczególne zagrożenie dla realizacji celów jakościowych, podejmowane są odpowiednie działania.

6. Podsumowanie

Jednym z podstawowych elementów efektywnego zarządzania każdej organizacji jest skuteczne zarządzanie ryzykiem. Rosnący poziom konkurencji, jak również zwiększające się wymagania normatywne i prawne zmuszają jednostki do podejmowania działań, zmierzających do wyeliminowania zagrożeń lub ograniczenia ryzyka.

Zarządzanie ryzykiem staje się zatem integralnym elementem kultury organizacyjnej [13].

Norma PN-EN ISO 9001:2015-10 nie ustala określonych wymagań w zakresie metodyki oceny ryzyka, metod identyfikacji i analizy ryzyka oraz dokumentowania procesu zarządzania ryzykiem. Nie istnieją również formalne wymagania dotyczące procesu monitorowania i kontroli ryzyk i szans w ramach systemu zarządzania jakością oraz jego dokumentowania.

Każda organizacja powinna zatem przyjąć dowolne rozwiązanie, pod warunkiem, że będzie ono skuteczne i zrozumiałe dla użytkowników.

Wdrożenie zarządzania ryzykiem w ramach systemu zarządzania jakością wg ISO 9001:2015 stanowi poważne wyzwanie dla organizacji, które nie miały dotychczas do czynienia z tym zagadnieniem. Może być dla nich czynnikiem, które zachęci do kompleksowego nadzoru nad zagrożeniami oraz możliwymi szansami.

ITG KOMAG wdrożył system zarządzania ryzykiem w obszarze działalności jednostki notyfikowanej, a zdobyte doświadczenia umożliwiły uzupełnienie działań w pozostałym obszarze działalności.

W celu utrzymania ryzyka na poziomie akceptowalnym podejmuje się liczne działania, mające na celu: usunięcie źródła ryzyka, zmianę prawdopodobieństwa wystąpienia względnie zmianę następstw.

Instytut ustanowił mechanizmy, które umożliwiają monitorowanie wdrożonych rozwiązań i dokonywanie oceny ich efektywności.

Dotychczasowe doświadczenia pozwalają stwierdzić, że zastosowane środki, takie jak:

- powołanie niezależnych zespołów/grup opiniodawczo-doradczych,
- decyzje administracyjne, szeroki zbiór zarządzeń wewnętrznych, procedur i instrukcji systemowych,
- jasny i udokumentowany podział uprawnień i odpowiedzialności określony w: regulaminach, kodeksach etyki, zakresach obowiązków poszczególnych pracowników i pełnomocnictwach,
- samokontrola określona postanowieniami regulaminów,

oraz kontrole: jakości prac, jakości usług,

- coroczne przeglądy systemu zarządzania w obszarach organizacyjnych i procesach,
- audity wewnętrzne i zewnętrzne,

gwarantują utrzymanie ryzyka na akceptowanych poziomach.

Literatura

[1] Gajosiński T., Pijanowski S.: Zarządzanie ryzykiem w procesie zrównoważonego rozwoju biznesu. Podręcznik dla dużych i średnich przedsiębiorstw, Ministerstwo Gospodarki, 2011

[2] Najważniejsze zmiany wprowadzone w ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements. https://wiedza.pkn.pl/web/wiedza-normalizacyjna/najwazniejsze-zmiany-wprowadzone-w-iso-9001-2015 (09.01.2017)

[3] PN-EN ISO 9000:2015-10 Systemy zarządzania jakością – Podstawy i terminologia

[4] PN-ISO 31000:2012 Zarządzanie ryzykiem - Zasady i wytyczne

[5] PN-EN 31010:2010 Zarządzanie ryzykiem - Techniki oceny ryzyka

[6] Podręcznik wdrożenia systemu zarządzania ryzykiem w administracji publicznej w Polsce. Ministerstwo Finansów, Warszawa 2004

[7] Wiśniewski M., Grudzień Ł.: Metodyka oceny ryzyka w świetle wymagań normy ISO 9001:2015 W: Konferencja - Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji » Artykuły IZIP 2017

[8] Zając R.: Najważniejsze zmiany wprowadzone w normie ISO 9001:2015. Maszyny Górnicze 2016 nr 4

[9] Zając R., Wierzbicka D.: Zarządzanie ryzykiem w jednostce notyfikowanej. Maszyny Górnicze 2012 nr 4

[10] Zapłata S.: Miejsce systemowego zarządzania Jakością w zarządzaniu ryzykiem w organizacji Studia Oeconomica Posnaniensia; 2016 Tom 4 Numer nr 12 Strony 74-94

[11] Zapłata S.: Metody oceny ryzyka na potrzeby implementacji znormalizowanych systemów zarządzania. Współczesne Zarządzanie 2012 nr 1

[12] http://www.pwsz.nysa.pl/zwilimowska/ryzyko2.pdf (09.01.2017)

[13] http://www.ferma.eu/app/uploads/2011/11/a-risk-management-standard-polish-version.pdf (09.01.2017)