

ZASTOSOWANIE METODY FTA DO IDENTYFIKACJI ZAGROŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH PODCZAS PRACY URZĄDZEŃ TRANSPORTU PODZIEMNEGO

WPROWADZENIE

W przedsiębiorstwie przemysłowym, dla utrzymania wymaganego poziomu bezpieczeństwa, celem działania prewencyjnego jest identyfikacja wszystkich zagrożeń w miejscu pracy. Postęp technologiczny, a także rozwój nauk o bezpieczeństwie i higienie pracy, zwiększył bezpieczeństwo i polepszył warunki pracy w przedsiębiorstwach, nawet tych najbardziej uciążliwych branż, takich jak górnictwo. Mimo to wypadki są nieuniknione, gdy stanowiska pracy znajdują się w ograniczonej przestrzeni pracy w sąsiedztwie maszyn. Zagrożenia związane bezpośrednio z procesem transportu podziemnego to głównie zagrożenia techniczne, powiązane z maszynami [3, 13], których skutki również mogą być katastrofalne.

Prowadzenie transportu podziemnego jest przykładem procesu pracy, gdzie zwiększona ilość wypadków z udziałem maszyn odbywa się w mocno ograniczonej przestrzeni przy jednoczesnym ruchu maszyn i ludzi. Pomimo zastosowania specjalnych zabezpieczeń technicznych oraz specyficznej organizacji ruchu w wyrobiskach korytarzowych, transport podziemny cechuje się wieloma specyficznymi zagrożeniami. Przyczyny wypadków z udziałem transportu podziemnego często wiążą się z błędami ludzi, ich nieuwagą lub rutyną [8].

CHARAKTERYSTYKA TRANSPORTU PODZIEMNEGO

Dla zapewnienia ciągłości procesu wydobywczego niezbędne są różne formy transportu podziemnego z miejsca urobku aż na powierzchnię zakładu górniczego. Do najważniejszych zadań realizowanych przez kopalniany transport podziemny zalicza się: transport wydobywczy kopalnin, transport ludzi oraz transport narzędzi, maszyn i urządzeń. Wyrobiska związane z urabianiem i transportem skał mają duży wpływ na sposób organizacji transportu podziemnego. Wyrobiska takie dzielą się na

pionowe, poziome i pochyłe, a co za tym idzie, wiążą się z podziałem transportu kopalnianego na: odstawę, przewóz i ciągnięcie [1, 2].

Odstawa urobku obejmuje swoim zakresem transport urobku w oddziałach produkcyjnych, czyli od przodka do przewozu głównego. W zależności od zastosowanych maszyn, odstawę dzieli się na bezprzenośnikową i przenośnikową. Odstawa bezprzenośnikowa wykorzystuje ciężar własny zsuwanego urobku i jest wykorzystywana zarówno w wyrobiskach pochyłonych oraz w pionowych. Zaletami tej formy odstawy są: łatwość konstrukcji, brak zużycia energii do napędzania oraz łatwość montażu. Jednak taka forma odstawy niesie negatywne skutki powodując nadmierne kruszenie urobku, zwiększenie zapylenia oraz ścieranie podłoża. Odstawę bezprzenośnikową można zastąpić odstawą przenośnikową, w której wykorzystywany jest przenośnik umożliwiający przemieszczanie materiału po trasie przenośnika ustawionego pod odpowiednim kątem nachylenia. Odstawa przenośnikowa jest bardzo wydajna i można ją stosować w trudnych warunkach górniczych. W tej odmianie odstawy wykorzystywane są przenośniki zgrzebłowe oraz, coraz częściej, taśmowe [1]. Przenośniki zgrzebłowe wykorzystuje się do transportu kopalin w wyrobiskach ścianowych oraz w chodnikach podścianowych, a także w wyrobiskach przygotowawczych i udostępniających. Coraz popularniejsze przenośniki taśmowe mają wiele zalet takich jak: niezawodność, wydajność, automatyzacja, długie trasy przewozu oraz możliwość dostosowania do miejscowych warunków [6].

Innym sposobem transportowania jest przewóz wykorzystujący specjalne naczynia do transportu urobku. Naczynia te mogą być wykorzystane na pochyłonej lub poziomej trasie zaopatrzonej w tory. Przewóz pełni rolę łącznika między odstawą a ciągnięciem. Infrastrukturę niezbędną do realizacja przewozu stanowią:

- urządzenia stałe (tory, stacje, dworce),
- naczynia (wozy służące do przewozu urobku, ludzi, maszyn i urządzeń), które w całości nazywane są taborem wozowym,
- lokomotywy, których zadaniem jest ciągnięcie wszelkiego rodzaju naczyń,
- specjalny tabor (dźwigi na wozach itp.),
- urządzenia niezbędne do funkcjonowania przewozu (kolejki łańcuchowe, hamulce, popychaki, urządzenia spinające i rozpinające naczynia),
- urządzenia techniczne oraz aparatura automatyzacji lokomotyw [5].

Obecnie wykorzystuje się całe zespoły transportowe takie jak: szynowe kolejki spągowe z napędem liniowym, jednoszynowe kolejki podwieszane, linowe kolejki krzeselkowe. Kryteria klasyfikacji klasycznych środków transportowych kolei podziemnej zależy od rodzaju trakcji (elektryczna, spalinowa, pneumatyczna, mieszana) oraz nachylenia toru do poziomu.

Zupełnie odmiennym sposobem transportowania jest ciągnięcie, czyli transport pionowy w szybach i szybkach kopalnianych. Ogół maszyn i urządzeń służących

do realizacji ciągnięcia określany jest nazwą wyciągu szybowego. Składa się on z urządzeń takich jak:

- stałe budowle i maszyny (wieże szybowe, rzapie, nadszybia i podszybie oraz komory specjalne),
- urządzenia mechaniczne realizujące właściwy proces ciągnięcia,
- maszyny zasilające, kontrolne, sterujące i zabezpieczające [2].

Elementy wyciągu szybowego służącego do transportu pionowego to: klatka służąca do transportu ludzi, wozów, materiałów i maszyn, skipy służące do transportu urobku oraz kubły wykorzystywane do transportu ludzi i maszyn oraz urobku podczas głębienia szybów [15].

IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ – METODYKA BADAŃ

W literaturze przedmiotu istnieje wiele metod wspomagających identyfikację zagrożeń. Najczęściej są to metody retrospektywne takie jak: analiza dokumentów, listy kontrolne lub analiza kart wypadkowych. Dla identyfikowania dynamicznych niebezpieczeństw (np. zagrożeń gazowych) najczęściej stosuje się prospektywne metody rozpoznawania zagrożeń. Polegają one na ustaleniu czynników zagrażających i przewidywaniu możliwych zagrożeń. Do metod tych należą: analiza awarii i ich skutków (FMEA), analiza dużych zagrożeń (GHA), analiza zagrożeń procesowych (HAZOP), analiza bezpieczeństwa pracy (JSA), analiza czynności (TOR), komputerowa analiza pracy (TJA). W procesach pracy maszyn i ludzi często stosuje się metody dedukcyjne takie jak: analizę drzewa błędów (FTA) oraz analizę drzewa zdarzeń (ETA) [9, 11].

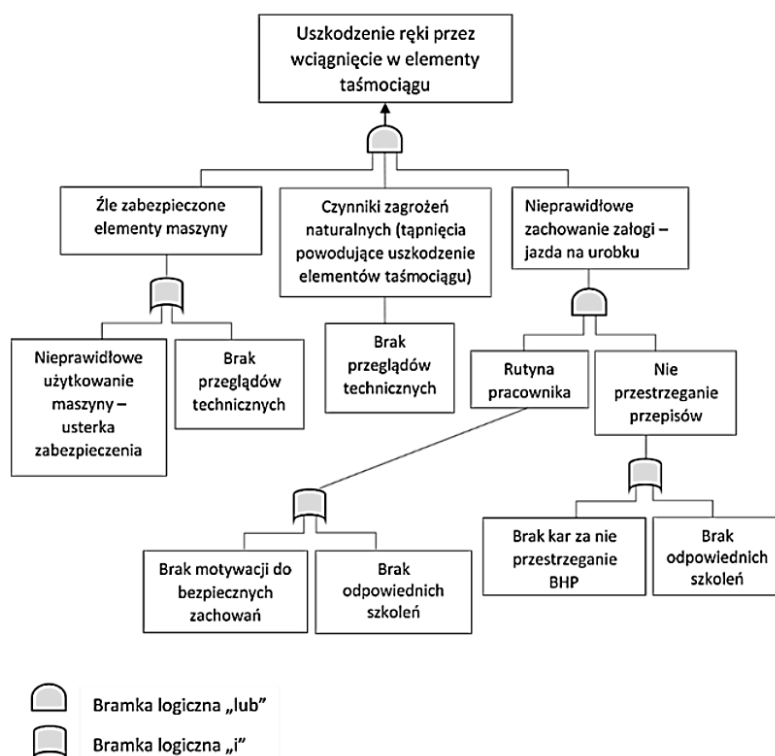
W analizie zagrożeń technicznych wynikających z eksploatacji maszyn górniczych i urządzeń pomocniczych, preferuje się korzystanie z takich metod identyfikacji jak: analiza dużych zagrożeń, analiza awarii i ich skutków oraz często stosowane metody drzewa błędów i drzewa zdarzeń [11].

Metoda drzewa błędów (FTA) ze względu na swoją specyfikę ma ograniczony zakres stosowania. Metoda ta w identyfikacji zagrożeń prowadzi do ustalenia przyczyn zagrożeń i pokazuje ich logiczne powiązania, które mogą doprowadzić do powstania zagrożenia. W metodzie tej ustala się zdarzenia, których kombinacje prowadzą do zdarzenia szczytowego. W ten sposób powstaje tzw. drzewo błędów tj. zdarzenia połączone bramkami logicznymi „lub” oraz „i”. Metodę FTA można stosować do opisu zdarzeń z udziałem środków technicznych (maszyn) oraz człowieka (pracującej załogi). W metodzie tej można uwzględnić jednocześnie zdarzenia awaryjne elementów technicznych oraz awarie będące skutkiem błędów postępowania ludzi (czynnik ludzki). Daje to możliwość szerszej analizy czynników przyczynowo-skutkowych, które prowadzą do zdarzenia końcowego w postaci wypadku lub awarii technicznej [9, 10].

ANALIZA PRZYCZYŃ ZAGROŻEŃ W TRANSPORCIE PODZIEMNYM METODĄ FTA

Prezentowane w artykule badania z zastosowaniem metody analizy drzewa błędów (FTA) przeprowadzono dla trzech typów transportu podziemnego: odstawy, przewozu oraz ciągnięcia w wybranym zakładzie górniczym. Proces identyfikacji zagrożeń i ich przyczyn w badanym obiekcie przedstawiono na przykładzie najczęściej zdarzających się wypadków podczas prowadzenia prac transportowych w odstawie urobku, przewozie kopalin i transporcie pionowym na powierzchnię (ciągnięcie). Metoda drzewa błędów jest tu stosowana do określania sekwencji lub kombinacji czynników będących przyczynami zagrożenia. W tym przypadku należało określić zdarzenie szczytowe, dla którego ustalono przyczyny powstania zagrożenia. Utworzone drzewo błędów jest graficznym przedstawieniem logicznych kombinacji zdarzeń, które mogą prowadzić do zdarzenia szczytowego.

Na rysunku 1 przedstawiono fragment utworzonego drzewa błędów dla zagrożenia uszkodzenia kończyny podczas prowadzenia procesu odstawy.



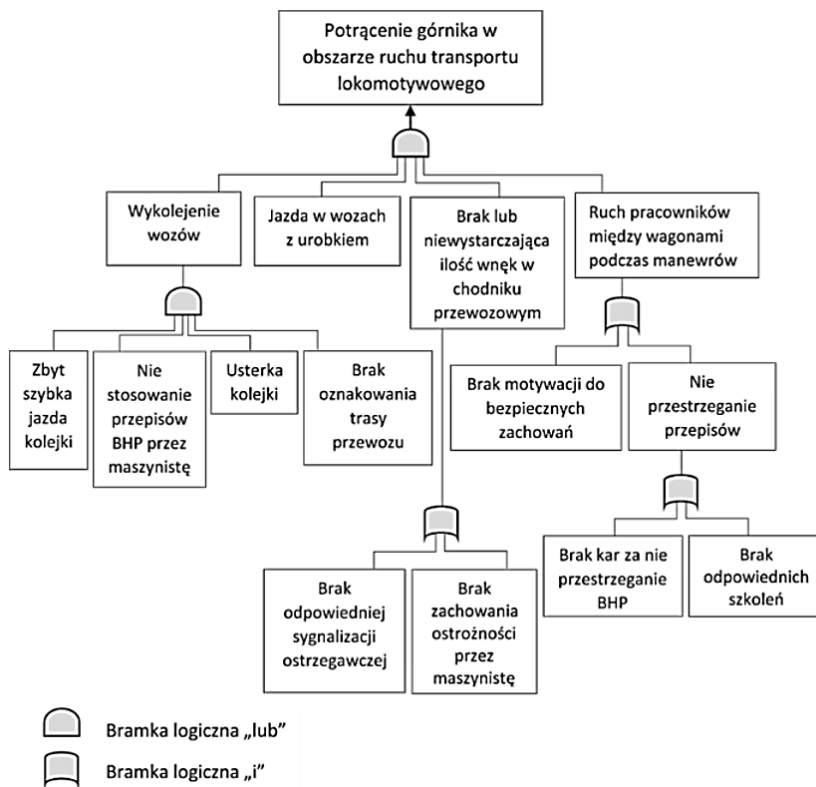
Rys. 1 Fragment drzewa błędów utworzonego dla prowadzenia procesu odstawy

Źródło: opracowanie własne

W badanym przypadku zdarzeniem szczytowym jest wypadek górnika: uszkodzenie ręki przez wciągnięcie w elementy taśmociągu podczas prac w obszarze pro-

wadzenia odstawy urobku z przodka. Przyczyną tego zdarzenia mogą być źle zabezpieczone elementy maszyny, które spowodowały uraz lub nieprawidłowe zachowanie się załogi (np. jazda na urobku) lub też czynniki zagrożeń naturalnych (np. tąpnięcia powodujące uszkodzenie taśmociągu). W kolejnych częściach analizy drzewa błędów rozpatruje się dalsze przyczyny zagrożenia wypadkiem dla każdego możliwego scenariusza zidentyfikowanych trzech zdarzeń, jak to pokazano na rys. 1.

W dalszej części analizy zidentyfikowano przyczyny zdarzeń, którymi są najczęściej błędy ludzkie w postaci nie przestrzegania przepisów, rutynowe zachowanie lub zaniedbanie obowiązków (brak przeprowadzenia rzetelnego przeglądu urządzeń transportowych. Przyczyną dodatkową zidentyfikowanych zdarzeń może być również brak odpowiednich szkoleń z zakresu BHP oraz motywacji do bezpiecznych zachowań. Kolejnym rozpatrywanym przypadkiem był wypadek podczas prowadzenia transportu lokomotywowego tj. przewozu. Na rysunku 2 przedstawiono konstrukcję drzewa zdarzeń dla wypadku: potrącenie górnika w obszarze ruchu lokomotywowego.



Rys. 2 Fragment drzewa błędów dla zdarzenia wypadkowego w obszarze transportu lokomotywowego

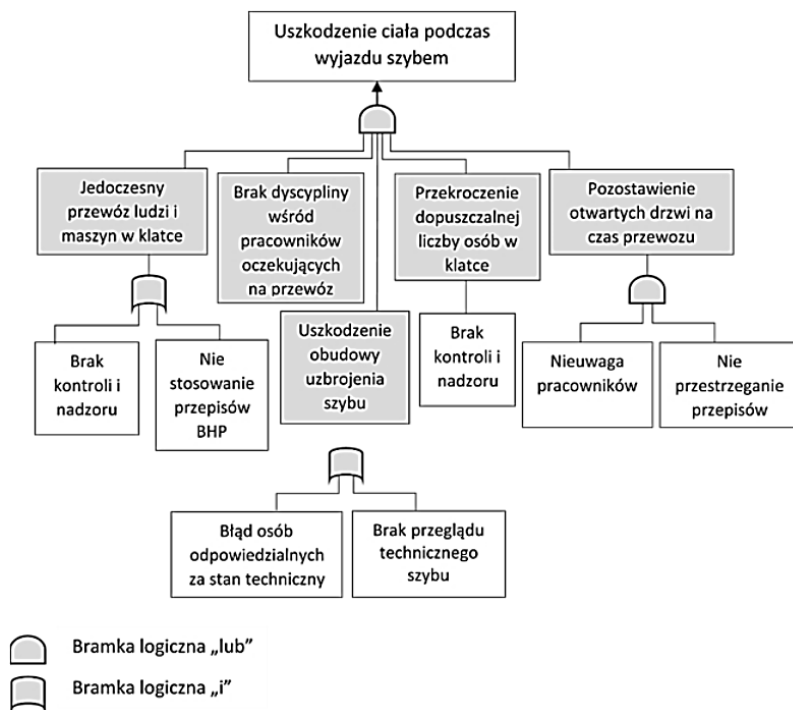
Źródło: opracowanie własne

Bezpośrednimi przyczynami tego wypadku może być: jazda pracowników na wozach z urobkiem, ruch pracowników między wagonami podczas manewrów kolejką, brak odpowiedniej ilości wnęk w chodnikach przewozowych oraz wykolejenie wozów. Te bezpośrednie zagrożenia mają wiele przyczyn pośrednich takich jak: zbyt szybka jazda kolejki, nie stosowanie przepisów BHP przez pracowników (w tym maszynistów), brak odpowiedniego oznakowania tras transportu i sygnalizacji ostrzegawczej, usterki techniczne oraz motywacji do bezpiecznego zachowania wśród pracowników (rys. 2).

Podobnie jak przewóz i odstawa, również źle prowadzony transport pionowy (ciągnięcie) generuje wiele sytuacji wypadkowych. Do najczęściej występujących przyczyn bezpośrednich należą:

- jednoczesny przewóz ludzi i maszyn, załadowanych wozów w klatce,
- pozostawienie otwartych drzwi na czas przewozu,
- uszkodzenia obudowy uzbrojenia szybu,
- przekroczenie dopuszczalnej liczby osób w klatce,
- brak dyscypliny wśród pracowników oczekujących na przewóz [11, 12].

Przyczyny pośrednie zostały pokazane w analizie drzewa błędów na rys. 3.



Rys. 3 Fragment drzewa błędów dla zdarzenia wypadkowego podczas wyjazdu szybem w transporcie pionowym

Źródło: opracowanie własne

Transport podziemny pionowy generuje wiele różnorodnych zagrożeń głównie ze względu na ograniczoną przestrzeń, w której poruszają się środki transportu materiałów, maszyn i ludzi ze znaczną prędkością. Wymaga to stosowania ściśle określonych konstrukcji urządzeń transportowych oraz sposobów zagospodarowania wyrobiska szybu dla ruchu środków transportu pionowego.

PODSUMOWANIE

Ze względu na ograniczoną przestrzeń w wyrobiskach górniczych oraz jednoczesną obecność ruchu urządzeń transportowych z ruchem pieszym ludzi, praca maszyn i urządzeń stanowi duże zagrożenie dla pracowników. Urządzenia transportowe nie posiadające właściwych systemów hamowania, sterowania lub, które nie zostały zaprojektowane we właściwy sposób lub/i są używane niezgodnie ze swym przeznaczeniem mogą również stanowić zagrożenia. Zagrożenie takie jest zwiększone przez fakt, iż prace wykonywane są w przestrzeniach zamkniętych. Sprzęt samojedźny taki jak taśmociągi, może uszkodzić lub zmiążdżyć części ciała pracowników, jeżeli zostaną uwięzieni pomiędzy sprzętem, a innymi przedmiotami. Przyczynami bezpośrednimi takich wypadków mogą być awarie techniczne oraz niewłaściwe zachowanie ludzi, co często wynika z braku motywacji pracowników do bezpiecznego zachowania [7] lub braku systemu egzekwowania kar za nie stosowanie się do przepisów bezpieczeństwa. Innymi przyczynami mogą być: brak właściwych środków sygnalizujących zagrożenie oraz brak ogrodzeń tras transportu. W takim przypadku mogą pojawić się wypadki powodowane wciągnięciem, wpadnięciem, zmiążdżeniem, uwięzieniem lub innym uszkodzeniem ciała [4].

Na podstawie przeprowadzonej analizy metodą drzewa błędów wskazano na przyczyny powstania głównych zagrożeń oraz przyczyny pośrednie. Analizę można było zastosować tylko do tych zdarzeń, które można przewidzieć, oraz gdy zależności między nimi są stosunkowo proste. Większość przyczyn odnosi się do tzw. błędów ludzkich tj. czynnika ludzkiego. W tych przypadkach ogromną rolę spełniają odpowiednie szkolenia [14] ukierunkowane na pobudzenie wyobraźni pracownika.

Artykuł ten został przygotowany w ramach badań statutowych pt.

"Kształtowanie inteligentnych metod produkcji, środowisk pracy oraz życia w kontekście wyzwań inżynierii produkcji", wykonanych w Instytucie Inżynierii Produkcji, symbol pracy 13/030/BK_18/0039.

LITERATURA

1. J. Antoniak. *Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym*, Wyd. Politechnika Śląska, Gliwice 2007.
2. W. Bradecki. *Ruch zakładu górniczego. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie*. Katowice: Wyższy Urząd Górniczy, 1994.

3. J. Brodny, K. Stecuła, D. Palka. „Zastosowanie narzędzi informatycznych do badania efektywności wykorzystania maszyn górniczych”. J. Brodny, J. Kaźmierczak (red.) *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Inżynieria systemów technicznych*, vol. 6, issue 6, 2017.
4. T. Budniok, W. Zasadni, J. Kania, H. Mrowiec, „Możliwości zwiększania prędkości transportu ludzi kolejkami podwieszonymi z napędem”. W. Biały, J. Brodny, S. Czerwiński (red.) *Górnictwo. Perspektywy, zagrożenia. Mechanizacja prac górniczych. Monografia*, Gliwice: Wyd. PA NOVA, 2014.
5. T. Budniok, W. Zasadni, J. Rusinek, K. Krawczyk. „Nowoczesne rozwiązania w systemach transportu kolejkami podwieszonymi z napędem”. W. Biały, J. Brodny, S. Czerwiński (red.) *Górnictwo. Perspektywy, zagrożenia. Mechanizacja prac górniczych. Monografia*, Gliwice: Wyd. PA NOVA, 2014.
6. Ł. Doleżych, J. Cichecki. „Sposoby konfiguracji zespołów transportowych kolejek szynowych podwieszanych spalinowych dla kilkakrotnej zmiany nachyleń po wznosie i upadzie na podstawie doświadczeń KWK „Chwałowice”. W. Biały, J. Brodny, S. Czerwiński (red.) *Górnictwo. Perspektywy, zagrożenia. Mechanizacja prac górniczych. Monografia*, Gliwice: Wyd. PA NOVA, 2014.
7. A. Gembalska-Kwiecień. „Proces przygotowania pracowników do podjęcia bezpiecznej pracy na przykładzie kopalni”. H. Badura, A. Michna, S. Czerwiński (red.) *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Górnictwo – perspektywy i zagrożenia*, z. 1(13), 2016.
8. A. Gembalska-Kwiecień. “Advancement of tools supporting improvement of work safety in selected industrial company”. *Management Systems in Production Engineering*, vol. 26, No. 1, pp. 31-34, 2018.
9. J. Ignac-Nowicka. „Analiza zagrożeń na wybranych stanowiskach pracy z zastosowaniem drzewa błędów”, A. Kuboszek, E. Milewska (red.) *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Jakość, Bezpieczeństwo, Środowisko*, vol. 6, issue 7, 2017.
10. J. Ignac-Nowicka. “Application of the FTA and ETA method for gas hazard identification for the performance of safety systems in the industrial department, *Management Systems in Production Engineering*”, vol. 26, No. 1, pp. 23-26, 2018.
11. J. Ignac-Nowicka. “Application of elements of the theory of events to identify hazards in mining workplaces”. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, No. 42 (114), 2015.
12. J. Ignac-Nowicka. „Zastosowanie elementów inżynierii bezpieczeństwa na przykładzie transportu podziemnego”. E. Milewska (red.) *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Inżynieria systemów technicznych*, z. 2 (14) 2016.
13. T. Korbiel, W. Biały, S. Czerwiński. „Ocena stanu technicznego maszyn górniczych w oparciu o kryterium rozkładu Weibulla”. H. Badura, A. Michna, S. Czerwiński (red.) *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Górnictwo – perspektywy i zagrożenia*, z. 1(13), 2016.
14. A. Wieczorek, A. Stawinoga. „Koncepcja szkolenia na temat eksploatacji wybranej klasy środków technicznych”. E. Milewska (red.) *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Inżynieria systemów technicznych*, z. 2 (14) 2016.
15. T. Zmysłowski. *Górnictwo maszyny wyciągowe – część mechaniczna*, Katowice: Wyd. Naukowe Śląsk, 2004.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2018

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2018

ZASTOSOWANIE METODY FTA DO IDENTYFIKACJI ZAGROŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH PODZAS PRACY URZĄDZEŃ TRANSPORTU PODZIEMNEGO

Streszczenie: *Urządzenia transportu podziemnego ze względu na pracę w ograniczonych przestrzeniach wyrobisk górniczych niosą specyficzne zagrożenia dla pracującej załogi. W artykule przeanalizowano pracę maszyn transportowych takich jak: taśmociągi, kolej szynowa oraz transport pionowy w szybach górniczych. Do analizy zagrożeń wykorzystano metodę drzewa błędów wyznaczając bezpośrednie i pośrednie przyczyny zagrożeń w transporcie podziemnym. Konstrukcję drzewa błędów przedstawiono dla trzech rodzajów zdarzeń: transport taśmociągami, kolejką szynową oraz transport pionowy szybem kopalnianym.*

Słowa kluczowe: *transport podziemny, zagrożenia górnicze, analiza drzewa błędów*

APPLICATION OF FTA METHOD FOR HAZARD IDENTIFICATION DURING WORK OF UNDERGROUND TRANSPORT DEVICES

Abstract: *Underground transport equipment due to work in limited spaces of mining excavations carry specific hazards to the working crew. The article analyzes the operation of transport machines such as conveyor belts, underground railway and vertical transport in mining shafts. The fault tree method was used to analyze the hazards by determining the direct and indirect causes of hazards in underground transport. The construction of the fault tree was presented for three types of events: transport by conveyor, underground railway and vertical transport by a mine shaft.*

Key words: *underground transport, mining hazards, fault tree analysis*

dr inż. Jolanta Ignac-Nowicka

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska

e-mail: jolanta.ignac-nowicka@polsl.pl