

# 8

## ANALIZA ZAGROŻEN NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY Z ZASTOSOWANIEM DRZEWA BŁĘDÓW

### 8.1 WPROWADZENIE

Złożoność procesów produkcyjnych, która prowadzi do coraz większego wzbogacania parku maszynowego powoduje, że na stanowiskach pracy pojawia się długa lista zagrożeń różnego pochodzenia. Zagrożenie można zdefiniować, jako specyficzny czynnik, który w określonych okolicznościach mógłby być przyczyną uszkodzenia elementu systemu człowiek – obiekt techniczny - środowisko. Inaczej mówiąc zagrożenie to potencjalna lub rzeczywista zdolność do wywołania jakiegokolwiek uszkodzenia zdrowia lub/i śmierci człowieka lub też starty materialnej, a także w środowisku [4]. Na każdą niebezpieczną sytuację może składać się jedno lub więcej zagrożeń. Zagrożenia są często kombinacją niebezpiecznych sytuacji i niebezpiecznych sposobów realizacji określonych czynności w układzie człowiek – maszyna. Zarówno dla maszyny jak i dla człowieka można określić czynniki ich niezawodności wpływające na ilość zdarzeń prowadzących do straty [2, 3]. Zagrożenia można klasyfikować co może być cennym narzędziem dla ich identyfikacji i ustalania priorytetu ich usuwania. Rozróżnia się cztery klasy zagrożeń [7]:

- bezpieczne – uszkodzenie nie spowoduje poważniejszego upośledzenia systemu i nie wywoła funkcjonalnego uszkodzenia systemu lub zranienia obsługi,
- marginalne – uszkodzenie może upośledzić system w pewnym zakresie, ale bez poważnych zniszczeń systemu lub większych zranień personelu, a uszkodzenie to może być kontrolowane,
- krytyczne – uszkodzenie upośledza system powodując zranienia personelu lub/i zniszczenia materialne, to efekt nieakceptowalnego zagrożenia wymagający natychmiastowych działań naprawczych,
- katastrofalne - uszkodzenie powoduje poważne upośledzenie systemu, zgony oraz zranienia obsługi

Ze względu na źródło zagrożenia można wyróżnić trzy podstawowe grupy zagrożeń: techniczne, od czynnika ludzkiego (błędy ludzkie) oraz zagrożenia środowiska. Obok zagrożeń typowo technicznych, pochodzących od maszyn, urządzeń i narzędzi, często pojawiają się zagrożenia od czynnika ludzkiego. Są one wynikiem obciążeń pracownika czynnikami fizycznymi (w tym materialnego środowiska pracy) oraz psychicznymi na skutek

wysokich wymagań stawianych pracownikowi w procesie pracy. Zagrożenia techniczne oraz błędy ludzkie stanowią specyficzne zestawienie źródeł zagrożeń, często wspólnie prowadzących do awarii lub wypadku. Podstawowymi przyczynami wypadków spowodowanych niebezpiecznymi błędami ludzkimi są: utrata kontroli nad zagrożeniami lub nad własnym zachowaniem. W szczególności mogą to być: czynniki ludzkiej niesprawności, trudne i niebezpieczne zadania, społeczne wzorce postępowania, zaniedbania i łamanie przepisów. Czynniki, które mogą powodować trwałą niesprawność do bezpiecznej pracy to: brak przeszkolenia, niedostateczna wiedza, brak wprawy i doświadczenia, niedostateczna motywacja do bezpiecznego postępowania, niedostateczna sprawność fizyczna. Natomiast czynniki powodujące czasową niesprawność do bezpiecznej pracy to: rutyna, choroba lub zły stan organizmu, stres, gniew, strach i zmęczenie. Elementy te mogą prowadzić do takich sytuacji jak: wypadek, niemal wypadek, awaria lub sytuacja bez następstw [1, 9].

Trzecią grupę zagrożeń opisuje się jako zagrożenia wobec środowiska np. na skutek toksycznego działania procesu przemysłowego (zanieczyszczenie powietrza, wody i gleby) lub nagłego niekontrolowanego wycieku substancji toksycznej lub promieniowania do otoczenia. W szczególności zagrożenia katastrofami przemysłowymi mają charakter skażenia środowiska pracy oraz środowiska naturalnego.

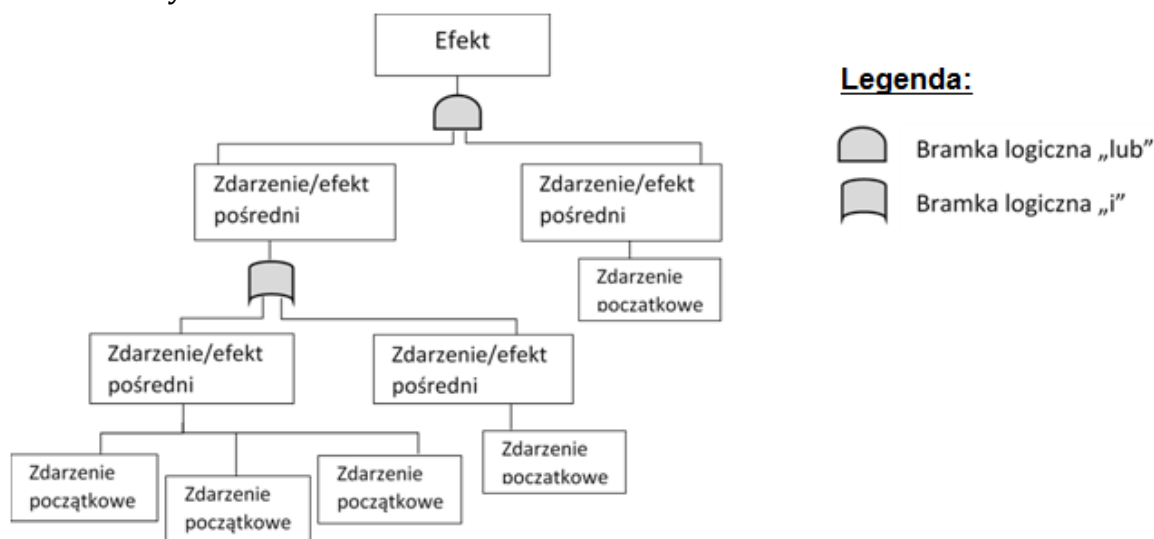
## 8.2 METODA FTA JAKO NARZĘDZIE POSZUKIWANIA PRZYCZYN

Metoda drzewa błędów (FTA) jest jakościową metodą analizy ryzyka wykorzystującą strukturę drzew logicznych, pozwalającą na modelowanie przebiegu wypadku lub awarii i następnie jej analizę. FTA po raz pierwszy wykorzystano w 1962 roku i od tego czasu zaczęła być stosowana do poprawy bezpieczeństwa samolotów, potem statków kosmicznych i urządzeń wykorzystujących energię jądrową. W latach 90. zaczęto wykorzystywać FTA w projektowaniu systemów gwarantujących wysoki poziom bezpieczeństwa, wiarygodności i niezawodności w przemyśle chemicznym, kolejowym, informatyce, medycynie. Stała się również często wykorzystywaną metodą w analizie zagrożeń i szacowaniu ryzyka obok PHA i FMEA [10].

Metoda drzewa błędów jest stosowana do określania sekwencji lub kombinacji czynników będących przyczynami zagrożenia. Metoda bazuje na ustaleniu zdarzenia szczytowego, dla którego należy ustalić przyczyny. Drzewo błędów jest graficznym przedstawieniem logicznych kombinacji zdarzeń, które mogą prowadzić do zdarzenia szczytowego. Analiza drzewa błędów pozwala wskazać na przyczyny powstania zagrożenia oraz pokazuje logiczne powiązanie czynników zagrażających. Metodę stosuje się, gdy można przewidzieć zdarzenia, a zależności między nimi są proste [6, 9].

Tworząc drzewo błędów należy rozpocząć od pierwszego zidentyfikowanego zdarzenia, które stanowi zdarzenie w górze diagramu. Następnie należy uporządkować w sposób logiczny zdarzenia mające wpływ na zaistnienie wydarzenia, przy czym zdarzenia powiązane są za pomocą dwóch rodzajów tzw. bramek „I” oraz „LUB” w zależności od ich zależności logicznych. Bramka „LUB” przedstawia sytuację, w której następne wydarzenie nastąpi, gdy przynajmniej jedno ze zdarzeń „wychodzących” zaistnieje. Bramka „I”

przedstawia sytuację, w której następne wydarzenie nastąpi tylko i wyłącznie, gdy zaistnieją wszystkie zdarzenia „wchodzące” [8]. Przykładową konstrukcję drzewa błędów przedstawia rys. 8.1.



Rys. 8.1 Przykładowa konstrukcja drzewa błędów

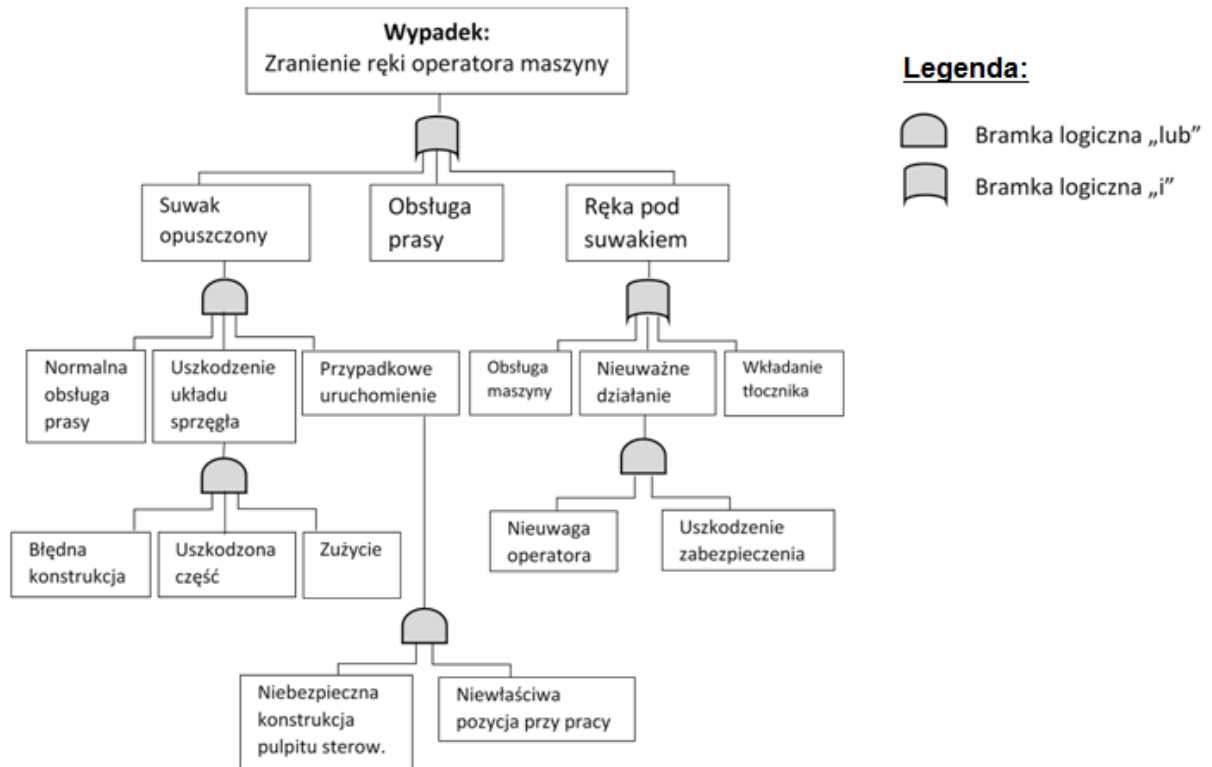
Źródło: [8]

### 8.3 ANALIZA ZAGROŻEŃ NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY

Prezentowane w artykule wyniki analiz zagrożeń przeprowadzono na przykładzie skutku zaistniałego zagrożenia w postaci wypadku polegającego na zranieniu ręki operatora maszyny oraz na przykładzie awarii maszyny w skutek jej przegrzania. Utworzone drzewo zdarzeń dla wypadku w postaci zranienia ręki operatora zawiera trzy zdarzenia połączone bramką logiczną „I” (rys. 8.2), co oznacza, że aby doszło do wypadku muszą jednocześnie zaistnieć efekty pośrednie: obsługa prasy, suwak opuszczony oraz ręka operatora pod suwakiem. Z pośród tych efektów, dwa mają swoje zdarzenia pośrednie. Dla efektu pośredniego „suwak opuszczony” poszukiwanie przyczyn prowadzi do trzech różnych zdarzeń, które mogły spowodować opuszczenie suwaka. Są to: normalna obsługa prasy, uszkodzenie układu sprzęgła oraz przypadkowe uruchomienie. Zdarzenia te są niezależne i w drzewie błędów są połączone bramką logiczną „LUB”.

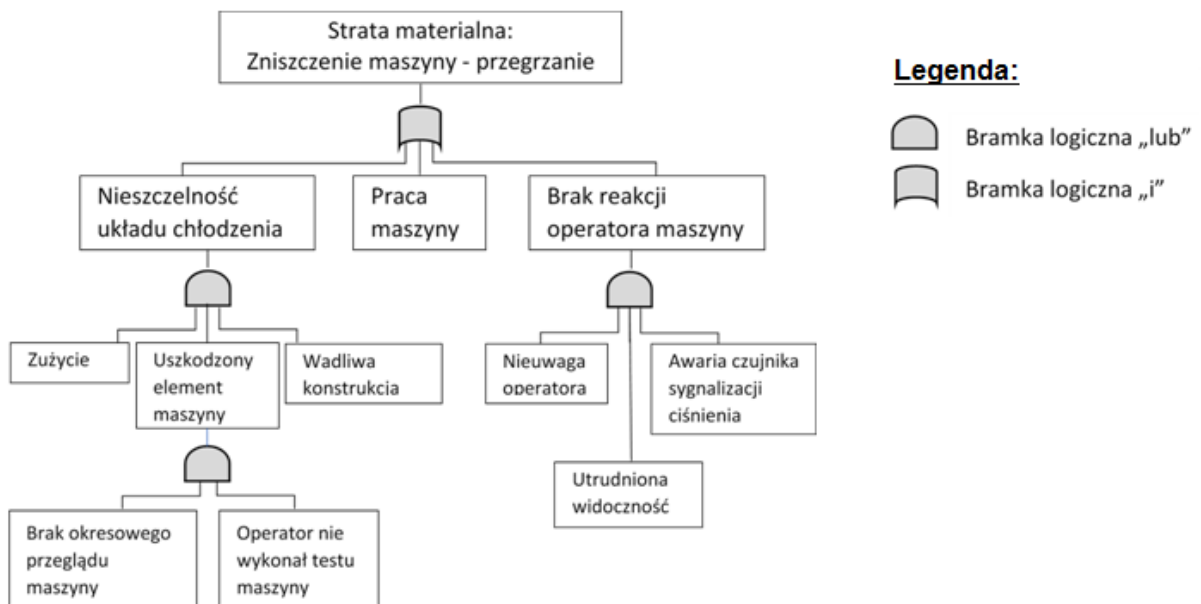
W dalszej części drzewa błędów identyfikuje się przyczyny uszkodzenia sprzęgła jako błędną konstrukcję maszyny lub uszkodzenie elementu (części) maszyny lub skutek zużycia maszyny. Podobnie dla zdarzenia: przypadkowe uruchomienie można wskazać dwie przyczyny tkwiące w niebezpiecznej konstrukcji lub niewłaściwej postawie przy pracy. Taka sama analiza efektów i zdarzeń została przeprowadzona dla efektu pośredniego: „ręka operatora pod suwakiem”, gdzie znaleziono trzy zdarzenia prowadzące do tego stanu: „obsługa maszyny” lub „nieuważne działanie” lub „wkładanie tłoczniaka”. Wśród przyczyn można wskazać zarówno zdarzenia będące awarią maszyny jak i błędy popełnione przez operatora.

W drugim analizowanym przypadku zagrożenia w postaci straty materialnej przedstawionym na rys. 8.3. Na schemacie drzewa błędów przedstawiono efekty pośrednie i zdarzenia prowadzące do zniszczenia maszyny.



**Rys. 8.2 Analiza zagrożenia wypadkiem podczas pracy z prasą hydrauliczną, metodą drzewa błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 8.3 Analiza zagrożenia metodą drzewa błędów dla straty w postaci zniszczenia maszyny**

Źródło: opracowanie własne

W tym przykładzie awaria maszyny nastąpiła w skutek przegrzania, do którego mogło dojść przy jednoczesnym zaistnieniu trzech zdarzeń: nieszczelności układu chłodzenia, podczas normalnej pracy maszyny z jednoczesnym brakiem reakcji operatora maszyny na stan sygnalizacji awarii. Dwa z wymienionych zdarzeń mają swoje przyczyny i przaprzyczyny, które połączone bramką logiczną „LUB” w drzewie błędów wskazują na ich niezależność, czyli wielość alternatywnych scenariuszy przebiegu wydarzenia od zdarzenia początkowego do szczytowego.

Drzewo zdarzeń jest narzędziem do wskazania w sposób graficzny, możliwych sekwencji zdarzeń, które w efekcie końcowym doprowadziły lub mogą doprowadzić do awarii maszyny. Taka analiza daje możliwość wykluczenia niektórych zdarzeń poprzez zapobieżenie ich pojawieniu się. W ten sposób zmniejsza się poziom ryzyka podejmowanego w danej sytuacji poprzez zmniejszenie lub eliminację zagrożenia, które jest podstawowym elementem wielkości ryzyka na stanowisku pracy.

#### 8.4 DZIAŁANIA KORYGUJĄCE ELIMINACJĘ ZAGROŻEŃ NA STANOWISKU PRACY

Eliminacja i ograniczanie zagrożeń powinno być prowadzone zarówno na etapie projektowania stanowisk pracy, jak i ich korekty w procesie ograniczania ryzyka zawodowego. Największe znaczenie dla ograniczania zagrożeń ma właściwe projektowanie tych elementów maszyn i stanowisk pracy, które mają zasadniczy wpływ na funkcjonowanie systemu człowiek – maszyna – środowisko. Wzajemne relacje w tym układzie między człowiekiem a maszyną są realizowane za pomocą elementów informacyjnych i sterowniczych, a właściwa struktura przestrzenna warunkuje bezpieczne i wygodne wykonywanie zadań.

Elementami informacyjnymi są te części maszyny lub stanowiska pracy, które służą do prezentowania informacji. Ich celem jest przekazywanie operatorowi maszyny lub stanowiska pracy informacji wizualnych (do odbioru wzrokowego), dźwiękowych (do odbioru słuchowego) lub dotykowych (do odbioru przez dotyk). Natomiast elementem sterowniczym jest ta część urządzenia, na którą bezpośrednio oddziałuje operator [6]. Projektowane elementy sterownicze i informacyjne powinny spełniać następujące zasady [6]:

- łatwość i wygoda obsługi – dostosowanie elementów do możliwości psychofizycznych operatora,
- łatwość identyfikacji – łatwość rozpoznania elementów informacyjnych i sterowniczych oraz treści przez nie przekazywanych,
- zgodność z oczekiwaniami użytkownika,
- minimalizowanie błędów operatora – odpowiednia lokalizacja i wzajemne powiązanie między elementami sterującymi lub informacyjnymi,
- możliwość indywidualizacji i łatwość nauki – zapewnienie łatwej modyfikacji urządzeń sterujących lub informujących wg wymagań użytkownika i jego możliwości psychofizycznych.

W zaprezentowanych na rys. 8.2 oraz rys. 8.3 analizach zagrożeń metodą drzewa błędów zidentyfikowane przyczyny zagrożeń wynikają z faktu awaryjności elementów maszyny lub stanowiska pracy oraz możliwych do popełnienia błędów operatora. W analizowanym przykładzie zagrożenia wypadkiem w postaci zranienia ręki operatora prasy (rys. 8.2), człowiek narażony jest na działanie czynników mechanicznych przy kontakcie z przedmiotami pracy [5]. W celu uniknięcia lub zmniejszenia ryzyka wypadku można wskazać działania korygujące, które mogą zmniejszyć ryzyko pojawienia się zagrożenia w tej postaci. Dla tego przypadku określono następujące usprawnienia:

- zainstalowanie dodatkowej sygnalizacji ostrzegawczej dla stanu maszyny: „suwak opuszczony”,
- zainstalowanie zabezpieczenia przed przypadkowym uruchomieniem,
- lepsze dopasowanie postawy przy pracy (siedziska) do wykonywania wymaganych czynności.

W drugim przypadku analizowanego stanowiska pracy z zagrożeniem straty materialnej w postaci zniszczonej maszyny (rys. 8.3) określono dwa możliwe usprawnienia:

- zainstalowanie dodatkowej dźwiękowej sygnalizacji utraty chłodziwa w maszynie,
- wprowadzenie blokady uruchomienia maszyny bez wykonania testu technicznej sprawności.

Zaproponowane usprawnienia w głównej mierze w obu przypadkach pozwalają zminimalizować błędy operatora, które mogą mieć duży wpływ na wielkość i częstość pojawiających się zagrożeń.

## PODSUMOWANIE

Analiza zagrożeń metodą drzewa błędów na stanowiskach pracy z operatorem maszyny jest skutecznym narzędziem we wprowadzaniu działań korygujących zwłaszcza tam, gdzie występuje wzajemne powiązanie awarii maszyny z błędami ludzkimi (czynnik ludzki). W analizowanych przypadkach metoda FTA umożliwiła analizę związków przyczynowo - skutkowych między zagrożeniem a zdarzeniami do niego prowadzącymi. Takie postępowanie daje możliwość podjęcia działań korygujących w celu zminimalizowania zagrożenia lub zmniejszenia jego częstotliwości występowania.

Analiza prowadząca do ujawnienia kompletu zdarzeń mających wpływ na obecność danego zagrożenia jest również ważnym elementem procedury analizy ryzyka na stanowisku pracy. Natomiast możliwość podjęcia działań korygujących w wyniku analizy FTA prowadzi do skutecznego zmniejszenia ryzyka zawodowego, co jest obowiązkiem każdego pracodawcy.

## PODZIĘKOWANIA

Artykuł jest wynikiem badań realizowanych w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zrządzania Politechniki Śląskiej, i powstał w ramach pracy statutowej BK-214/ROZ3/2017 (13/030/BK\_17/0027) nt. Sposoby i środki doskonalenia produktów i usług na wybranych przykładach.

## LITERATURA

1. A. Idzikowski, W.M. Bajdur. „Analiza i ocena ryzyka zawodowego na stanowisku ślusarza metodą wstępnej analizy zagrożeń – PHA,” Tabor J., Salamon Sz. (red.), *Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy. Tom II Przegląd metod oceny ryzyka zawodowego*, Częstochowa: Wyd. WZ PCz, 2011.
2. J. Ignac-Nowicka, A. Gembalska-Kwiecień. „Application of reliability theory to the system man-machine in process of work,” in: *Moderni matematicke metody v inzenyrstvi. Cesko-polsky seminar (3mi). Sbornik z 23. seminare, Horni Lomna, 2.6.–4.6. 2014*, Vysoka Skola Banska – Technicka Univerzita Ostrava. VSB – Technicka Univerzita.
3. J. Ignac-Nowicka, A. Gembalska-Kwiecień. „Niezawodność człowieka i niezawodność techniczna w procesie pracy układu człowiek-maszyna,” E. Milewska, I. Żabińska (red.) *Systemy wspomaganie w inżynierii produkcji. Inżynieria systemów technicznych*. Gliwice: Wyd. PA NOVA, 2016.
4. J.A. Indulski. *Higiena pracy. Tom II*, Łódź: Instytut Medycyny Pracy, 1999, s. 514.
5. D. Koradecka. *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Tom 1*, Warszawa: CIOP, 1997, s. 617-622.
6. D. Koradecka. *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Tom 2*, Warszawa: CIOP, 1997, s. 965-979, 1165-1167.
7. J. Lewandowski. *Ergonomia. Materiały do ćwiczeń i projektowania*. Łódź: MARCUS s.c., 1995, s. 242-243.
8. P.T. Mitkowski. „Ocena ilościowa ryzyka: analiza drzewa błędu (konsekwencji).” Pobrano z: <http://etacar.put.poznan.pl/piotr.mitkowski/DrzewoBledow.pdf> [Dostęp: 22.05.2017].
9. R. Studenski. *Organizacja bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie*. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej, 1996, s. 64-65.
10. Urząd Dozoru Technicznego. Pobrano z: [www.udt.gov.pl](http://www.udt.gov.pl) [Dostęp: 22.05.2017].

## ANALIZA ZAGROŻEN NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY Z ZASTOSOWANIEM DRZEWA BŁĘDÓW

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono analizę zagrożeń metodą drzewa błędów (FTA) dla wybranych stanowisk pracy. Zawarte w artykule schematy drzewa błędów ilustrują dwa typy zagrożeń: wypadkiem podczas pracy z prasą hydrauliczną oraz zniszczeniem maszyny na skutek przegrzania. W obu przypadkach przeprowadzona analiza wskazuje przyczyny zagrożenia wynikające z faktu awaryjności elementów maszyny lub stanowiska pracy oraz możliwe do popełnienia błędy operatora. Za pomocą drzewa błędów wskazano wzajemne związki między zdarzeniami prowadzącymi do zagrożenia w analizowanych przykładach. Zidentyfikowano również działania korygujące dla analizowanych zagrożeń w celu zminimalizowania ryzyka zawodowego.

**Słowa kluczowe:** metoda drzewa błędów, analiza zagrożeń, działania korygujące

## HAZARD ANALYSIS ON SELECTED WORK POSITIONS WITH FAULT TREES USED

**Abstract:** The paper presents an analysis of the Fault Tree Analysis (FTA) approach for selected workplaces. The fault tree diagrams included in this article illustrate two types of hazards: an accident when working with a hydraulic press and damage to a machine due to overheating. In both cases, the analysis indicates the cause of the hazard resulting from the failure of the machine or workpiece, and the operator's possible errors. The fault tree identifies the relationship between events leading to a threat in the analyzed examples. The corrective actions were also identified for the hazard analyzed to minimize occupational risk.

**Key words:** Fault Tree Analysis, hazard analysis, corrective action

Dr inż. Jolanta IGNAC-NOWICKA  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Inżynierii Produkcji  
ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze  
e-mail: Jolanta.Ignac-Nowicka@polsl.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 15.05.2017  
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 31.05.2017