

dr inż. LESZEK PIETRZAK  
Centralny Instytut Ochrony Pracy

## Modelowanie wypadków przy pracy (1)

raz częściej zastępuje dialog w stosunkach w miejscu pracy.

W ramach działalności Międzynarodowej Organizacji Pracy związki zawodowe, pracodawcy i rządy wynegocjowały w 2001 r. nowy tekst dokumentu pn. *Wskazówki dotyczące systemów zarządzania bezpieczeństwem i zdrowiem zawodowym*, które mają wzmocnić kulturę bezpieczeństwa w miejscach pracy.

Dotychczas związki zawodowe na świecie organizowały w dniu 28 kwietnia manifestacje lub strajki branżowe, różne formy edukacji i wywierania nacisku, rozpowszechniały informacje, organizowały ceremonie zapalenia świec. Obchody 28 kwietnia, zazwyczaj rozpoczynają się upamiętnieniem ofiar, a kończą przesłaniem nadziei dla żyjących.

W bieżącym roku obchody 28 kwietnia powiązane będą ze Światowym Szczytem na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju (*World Summit on Sustainable Development*), który odbędzie się w Johannesburgu (RPA) między 26 sierpnia a 6 września 2002. Zdrowie publiczne będzie ważnym tematem podczas tego Szczytu. Rozważane jest zorganizowanie przez związki zawodowe *Ceremonii nadziei*, której celem będzie zwrócenie uwagi na tematy tegorocznego 28 kwietnia, jak również na samą datę jako okazję do corocznego skupienia się wszystkich rządów nad tą problematyką. Kulminacją obchodów 28 kwietnia na całym świecie będą działania Międzynarodowej Konfederacji Wolnych Związków Zawodowych podczas Światowego Szczytu na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju.

Główne wydarzenie związane z obchodami 28 kwietnia w br. będzie miało miejsce w Międzynarodowym Biurze Pracy w Genewie, gdzie **Dyrektor Generalny ogłosi, w ramach kalendarza ONZ, dzień 28 kwietnia oficjalnie uznany przez Międzynarodową Organizację Pracy**. Być może decyzja ta zachęci rządy wielu krajów do włączenia daty 28 kwietnia do kalendarza obchodów w swoich krajach. (bs)

Oprac. na podst.  
*Circular No II (2002)*  
*International Confederation of Free Trade Unions*  
(Tum. A. Gołębiowska)

Modele wydarzeń wypadkowych przedstawiają zwykle sekwencje wydarzeń wypadkowych lub wzajemne powiązania pośrednich przyczyn wypadków prowadzących do urazu lub utraty zdrowia. Wiele modeli, które opracowano na przestrzeni lat, dotyczy różnych faz powstawania i przebiegu wypadku, zachowań człowieka w obliczu zagrożenia, inne modele charakteryzują przyczyny wypadków, a jeszcze inne stanowią usystematyzowaną podstawę do badania wydarzeń lub tworzenia statystyk wypadkowych.

W tym artykule przedstawiamy kilka wybranych modeli wypadków, które mogą stanowić pomoc w zrozumieniu mechanizmu ich powstawania. Zagadnienie modelowania zachowań człowieka w sytuacjach zagrożenia oraz modele stosowane w badaniu wypadków zostaną omówione w następnym numerze *Bezpieczeństwa Pracy*.

### Klasyczny model wypadku

W klasycznym modelu wypadku przyjmuje się, że uraz jest skutkiem kolejno po sobie występujących zdarzeń, z których każde jest skutkiem zdarzenia poprzedniego i przyczyną zdarzenia przyszłego (model domina). Pierwsze klasyczne modele wypadków przy pracy (modele domina) zostały przedstawione przez H. Heinricha (rys. 1) [4].

W modelu tym przyjęto, że zdarzenia występujące w łańcuchu tworzą ciąg przyczynowo-skutkowy prowadzący do wypadku. Przyjęto takie założenie, że zagrożenie powstaje w wyniku nieprawidłowości w środowisku pracy i niewłaściwych działań człowieka.

Modele z wykorzystaniem kamieni domina przedstawiają zwykle sekwencje postępujących po sobie zdarzeń [6]. Można tu wyróżnić modele przedstawiające pojedyncze i rozgałęzione łańcuchy zdarzeń.

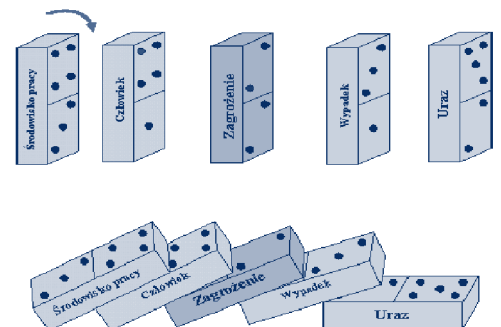
### Modele przyczynowości wypadkowej

Powyższe modele wypadków obrazują w jaki sposób wypadek przebiega, brak

*Publikacja opracowana na podstawie wyników zadań badawczych wykonanych w ramach Projektu Celowego Zamawianego „System analizy wydarzeń wypadkowych w środowisku pracy dla potrzeb profilaktyki”*

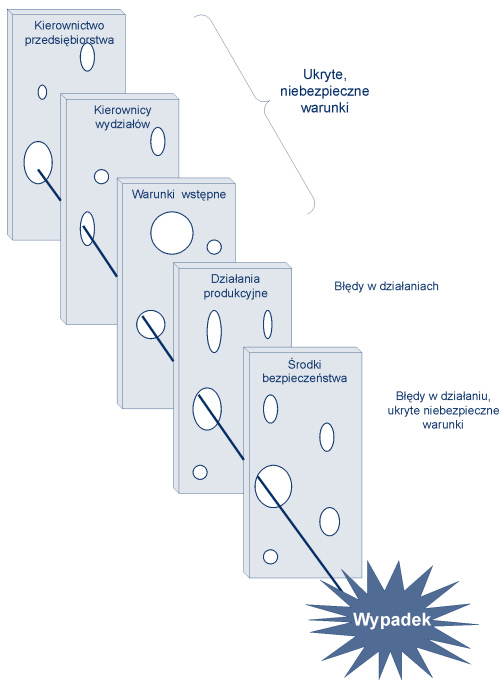
jest natomiast informacji w jaki sposób wypadki się wydarzają. W roku 1975 L. Benner stworzył model wypadku [1] przyjmując, że momentem początkującym jest zaburzenie w układzie współdziałania człowieka z maszyną, powodujące zachwianie równowagi między postawionymi wymaganiami w celu wykonania zadań a możliwościami pracowników. Zwykle zakłócenie to zmienia normalną sytuację na sytuację trudną, związaną z podwyższeniem wymagań stawianych pracownikom przez zadanie lub warunki zewnętrzne. Możliwości techniczne i osobnicze pracownika mogą te zakłócenia zmniejszyć i dostosować do nowej sytuacji. Gdy zakłócenie to nie zostanie odpowiednio zniwelowane, powstaje możliwość wystąpienia wypadku.

W modelach przyczynowości wypadkowej, np. wg A. i M. Hale [2], uwzględnia się wiele czynników wpływających na powstanie wypadku. Każdy z modeli ukierunkowany jest na inne obszary oddziaływania różnych czynników na człowieka, które w końcu doprowadzają do niezamierzonego niebezpiecznego działania. Zwykle wynikiem takiego działania jest wypadek, który niesie z sobą poważne uszkodzenia ciała lub śmierć pracownika.



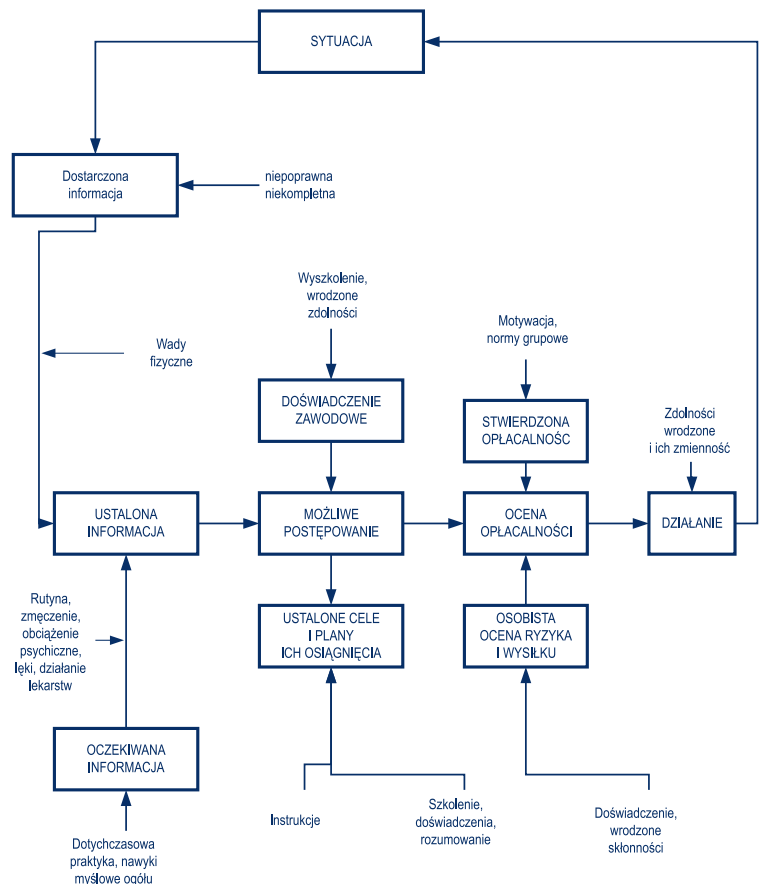
Rys. 1. Model wypadku wg H. Heinricha, tzw. model domina

W innym modelu wypadku – modelu Reasona, tzw. modelu sera szwajcarskiego (rys. 2) przyjęto, że do wypadku dochodzi w wyniku nałożenia się na siebie ukrytych niebezpiecznych warunków na różnych poziomach podejmowania decyzji i prowadzenia działań.

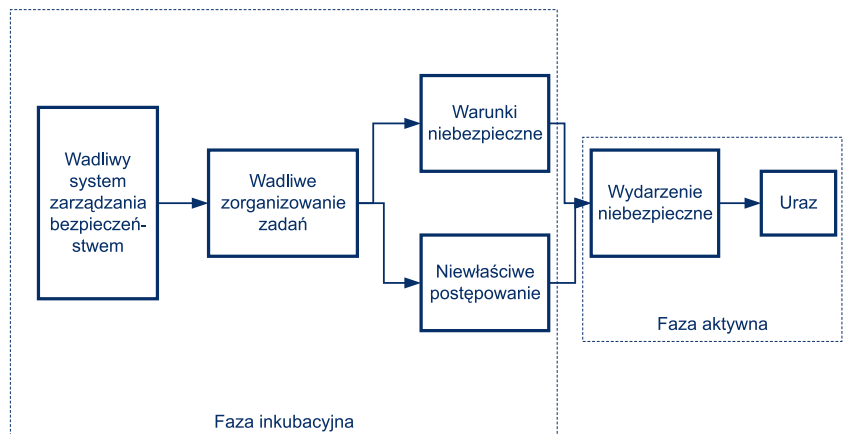


Rys. 2. Model wypadku wg Reasona, tzw. model szwajcarskiego sera

Zwykle w modelach przyjmuje się, że powstanie wypadków jest wynikiem kombinacji zdarzeń związanych z technicznymi aspektami stanowiska pracy, warunkami środowiska pracy, błędami ludzkimi oraz działaniami organizacyjnymi. Takie modele przedstawiają uporządkowaną kolejność występowania zdarzeń prowadzących do wypadku. Modele takie są wykorzystywane podczas badania wypadku z zastosowaniem systematyki TOL, analizującej przyczyny techniczne, ludzkie i organizacyjne (rys. 3).



Rys. 3. Model przyczynowości wypadkowej wg A. i M. Hale'a [2]



Rys. 4. Fazy sytuacji wypadkowej

Poszukiwanie przyczyn powstawania wypadków skierowane jest przede wszystkim na fazę inkubacyjną wypadku (rys. 4), podczas której powstają okoliczności do wystąpienia niebezpiecznego wydarzenia prowadzącego do urazu. W fazie inkubacyjnej przyczyny pośrednie tkwią w niewłaściwym systemie zarządzania bezpieczeństwem pracy. Szczegółowe rozwinięcie fazy inkubacyjnej pozwala na ustalenie przyczyn pośrednich i zaprojektowanie odpowiednich do nich działań profilaktycznych.

**Model STEP**

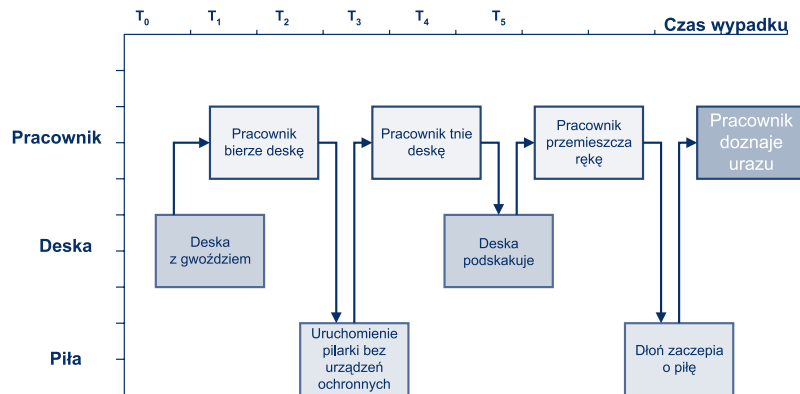
Często w analizie wypadków stosowane są tzw. diagramy STEP [2], które przedstawiają sekwencje wypadku w ujęciu czasowym z uwzględnieniem „aktorów” biorących udział w zdarzeniu wypadkowym. Model wypadku przyjęty w takim diagramie zakłada, że każde zdarzenie wypadkowe jest wynikiem działania i aktora. Aktorem może być zarówno człowiek jak i przedmiot materialny (rys. 5).

*Zdarzenie wypadkowe = aktor + działanie*

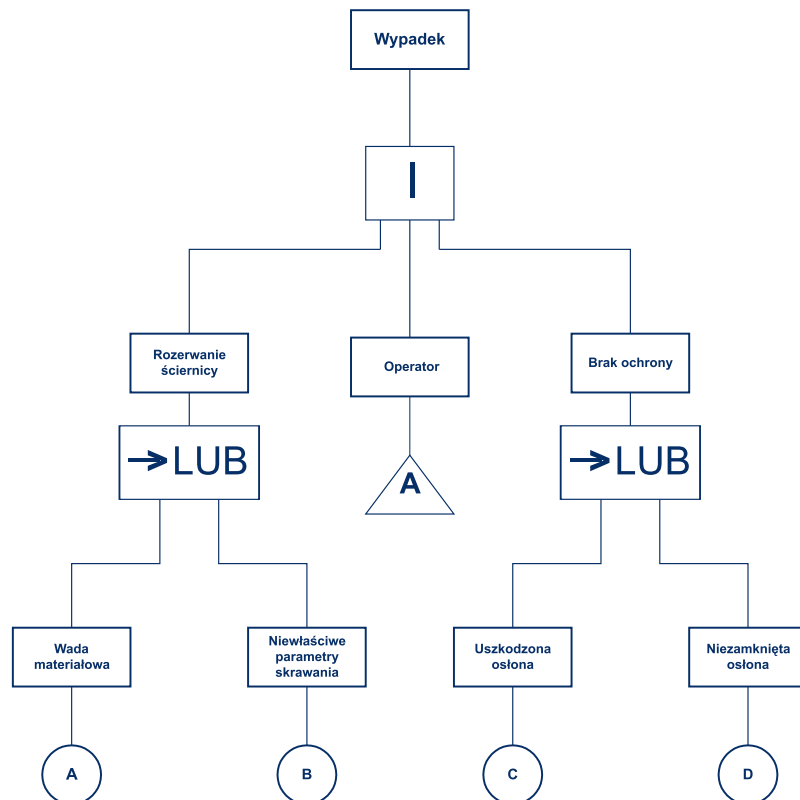
Takie modelowanie i koncepcja następstwa wydarzeń stały się podstawą do rozpoznawania i opisywania zdarzeń wypadkowych za pomocą metody drzewa błędów i zdarzeń.

**Modelowanie za pomocą drzewa niezdatności**

Drzewo niezdatności (drzewo błędów) FTA (*fault tree analysis*) jest graficzną reprezentacją kombinacji logicznych przypadków, które mogą prowadzić do ustalenia przyczyn nieoczekiwanych stanów lub zdarzeń. Modelowanie za pomocą drzewa niezdatności wymaga przedstawienia przebiegu wypadku za pomocą odpowiedniego schematu logicznego, poczynając od wydarzenia szczytowego, a kończąc na zdarzeniach elementarnych. W schemacie wykorzystywane są elementy logiczne (bramki logiczne). Naj-



Rys. 5. Modelowanie przebiegu wypadku za pomocą diagramu STEP



Rys. 6. Modelowanie wypadku za pomocą drzewa niezdatności (drzewa błędów)

częściej stosowanymi elementami logicznymi są elementy typu „I” i elementy logiczne typu „LUB”. Zastosowanie elementu logicznego typu „I” w schemacie drzewa niezdatności mówi, że zdarzenie powyżej może wystąpić wtedy, jeżeli wystąpią wszystkie zdarzenia poniżej tego elementu. Element typu „LUB” mówi, że zdarzenie powyżej elementu może wystąpić pod warunkiem wystąpienia co najmniej jednego ze zdarzeń umieszczonych poniżej w schemacie drzewa niezdatności. Przykład schematu drzewa błędów, ilustrującego wypadek przy szlifierce przedstawiono na rys. 6.

Zdarzenia oznaczone na schemacie kółkiem są to zdarzenia elementarne, które nie są już dalej rozwijane i rozpatrywane. Rozerwanie ściernicy poprzedzone jest bramką typu „LUB” i oznacza, że może ono być wynikiem wady materiałowej lub niewłaściwych parametrów skrawania. Do wypadku dojdzie w przypadku jednoczesnego rozerwania ściernicy i braku osłony oraz błędu człowieka. Błąd człowieka jest tu rozpatrywany w innej gałęzi.

Drzewo niezdatności umożliwia śledzenie różnych wariantów przebiegu wypadku. Niektóre korzyści wynikające z zastosowania tego typu modelowania to [3]:

- pomoc w uzyskaniu informacji o ryzyku w złożonych systemach maszyn
- możliwość koncentrowania się na jednym błędzie bez utraty perspektywicznego spojrzenia na całość
- uzyskanie ogólnego przeglądu w jaki sposób popełnione błędy prowadzą do powstania wypadku
- łatwość programowania
- możliwość wyznaczenia ilościowego poziomu ryzyka
- możliwość szybkiego zrozumienia wyników analizy wypadku przez osoby znające metodę.

Niekorzystnymi aspektami przy modelowaniu wypadków za pomocą drzewa niezdatności są:

- czasochłonność i szczegółowość
- wymaganie doświadczenia i wiedzy od prowadzących analizę
- złudzenie dużej dokładności
- brak gwarancji, że wszystkie błędy zostaną wykryte
- wymaganie dostępności szczegółowego materiału dokumentacyjnego.

### Modelowanie przebiegu wypadku za pomocą drzewa zdarzeń

Modelowanie za pomocą drzewa zdarzeń ETA (*event tree analysis*) należy do analiz prospektywnych, w których oczekujemy odpowiedzi jak dane zdarzenie uznane za początkowe (np. pęknięcie ściernicy w szlifierce) wpłynie na powstanie wypadków. Model drzewa zdarzeń pozwala prześledzić różne sekwencje wypadku, określić jakie jest prawdopodobieństwo określonej sekwencji oraz całkowite prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku w wyniku określonego zdarzenia początkowego. Pytania, jakie są zadawane podczas modelowania mogą być różnej treści, jednak muszą być zadawane logicznie i konsekwentnie, a uzyskane odpowiedzi tak/nie powinny prowadzić do zdarzenia końcowego, którym może być wypadek.

Modelowanie za pomocą struktur logicznych (drzewa błędów i drzewa zdarzeń) prowadzi do uzyskania lepszego oglądu możliwych sekwencji wypadkowych.

Modelowaniu mogą podlegać zdarzenia związane bezpośrednio z maszyną, np. modelowanie przebiegu zdarzeń w wyniku uszkodzenia jednego z elementów maszyny lub modelowanie zachowań człowieka w powiązaniu ze stanem elementów technicznych. Wprowadzanie modyfikacji do opracowanych schematów logicznych umożliwia śledzenie wariantów odpowiedzi układu na wprowadzone zmiany. Modelowanie pozwala także ustalić konieczne środki ochronne lub działania profilaktyczne podczas analiz retrospektywnych.

### Modelowanie sytuacji wypadkowych

W modelowaniu sytuacji wypadkowych, wśród możliwych oddziaływań na powstanie wypadku, analizowany jest często przebieg informacji i określone reakcje na informacje w wyniku oddziaływania różnego rodzaju czynników. Model A. i M. Hale’a [2], w którym decydującą o podjęciu niebezpiecznego działania była ocena jego opłacalności przy uwzględnieniu motywacji i norm grupo-

wych oraz osobistej oceny ryzyka i wysiłku w zależności od doświadczenia i wrodzonych skłonności operatora maszyny – uwzględnia przepływ informacji jako podstawę do dalszych działań.

Podobny sposób modelowania, uwzględniający jednak inne czynniki przedstawił E. Corlett i G. Gilbank. W ich modelu sytuacji wypadkowej możliwe działania są modyfikowane w zależności od umiejętności, planów, oczekiwanych korzyści i zagrożeń. Model E. Corlett’a i G. Gilbank’a [2] uwzględnia również cechy wyposażenia maszyny lub stanowiska pracy, odnosi się do reakcji środowiska. Na wynik podjętego działania mają w tym modelu także wpływ czynniki antropometryczne i stan fizyczny człowieka.

\* \* \*

Do modelowania wypadków przy pracy mogą być wykorzystane różne modele. Ważnym kryterium jest zdefiniowanie celu stosowania lub budowy modelu wypadku. Modele mogą być ukierunkowane na wszechstronne wyjaśnienie zjawiska wypadku, na ustalenie sekwencji zdarzeń prowadzących do urazu, a także na wszechstronną analizę wypadku i wyjaśnienie przyczyn. Ogólne modele wypadków podają zwykle obszary, na które należy zwrócić uwagę przy poszukiwaniu przyczyn i projektowaniu środków profilaktycznych. Najczęściej przyczyny te umiejscawiane są na różnych szczeblach zarządzania w przedsiębiorstwie.

#### PIŚMIENICTWO

- [1] Benner L. *Accident investigations – Multilinear events sequencing methods*. Journal of Safety Research 7, 1975
- [2] Hale A. R, Hale M. *A review of industrial accident research*. Her majesty’s safety office. London 1971
- [3] Harms-Ringdahl L. *Safety analysis. Principles and practice in occupational safety*. ELSEVIER. London 1993
- [4] Heinrich H. W. *Industrial accidents prevention*. New York, Toronto, London, Mc Graw Hill Book Company, Inc., 1959
- [5] Metody analizy bezpieczeństwa na stanowiskach pracy. Praca zb. Warszawa, CIOP 1996
- [6] Studenski R. *Teorie przyczynowości wypadkowej i ich empiryczna weryfikacja*. Seria: Prace Głównego Instytutu Górniczego, Katowice, Główny Instytut Górniczego, 1986