

Na prawach rękopisu

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej

**MODELOWANIE ROZWOJU  
SYTUACJI WYPADKOWEJ  
W BUDOWNICTWIE**

**Raport serii PRE nr 8/2017**

**Praca doktorska**

mgr inż. Mariusz Szóstak

Słowa kluczowe:  
wypadkowość,  
wypadek przy pracy,  
bezpieczeństwo pracy,  
model przyczynowo-skutkowy

Promotor: dr hab. inż. Bożena Hoła, prof. nadzw. PWr

Wrocław, grudzień 2017

*Składam najserdeczniejsze podziękowania  
Pani dr hab. inż. Bożenie Hole, prof. nadzw. PWr  
za cenne uwagi i wskazówki udzielone  
w trakcie pisania niniejszej pracy*

## SPIS TREŚCI

<b>Wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy:</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Wstęp</b> .....	<b>14</b>
1.1 Przedmiot pracy .....	14
1.2 Cel pracy .....	15
1.3 Przegląd treści pracy .....	15
<b>2 Analiza literatury przedmiotu</b> .....	<b>18</b>
2.1 Wypadek przy pracy .....	18
2.2 Wypadkowość i jej ocena .....	19
2.2.1 Wypadkowość w budownictwie .....	21
2.2.2 Przyczyny wypadków przy pracy .....	22
2.2.3 Wydarzenia powodujące wypadki w budownictwie.....	25
2.2.4 Wypadkowość w krajach rozwijających się .....	27
2.2.5 Ocena ryzyka zawodowego .....	28
2.3 Modele stosowane w analizie wypadków przy pracy i wypadkowości .....	29
2.3.1 Klasyfikacja modeli wypadków .....	30
2.3.2 Ogólne modele procesu wypadkowego .....	31
2.3.3 Modele błędów ludzkich i niebezpiecznych zachowań .....	40
2.3.4 Modele porządkujące .....	43
2.3.5 Modele procesowe .....	44
2.4. Podsumowanie przeglądu literatury .....	47
<b>3 Źródła wiedzy o wypadkach przy pracy.</b> .....	<b>50</b>
3.1 Przegląd informacji publikowanych przez wybrane instytucje państwowe .....	50
3.1.1 Publikacje Głównego Urzędu Statystycznego .....	50
3.1.2 Publikacje Państwowej Inspekcji Pracy .....	51
3.1.3 Publikacje Zakładu Ubezpieczeń Społecznych .....	51
3.1.4 Porównanie źródeł informacji o wypadkach przy pracy w budownictwie .....	52
3.2 Obowiązujące procedury w zakresie badania wypadków przy pracy .....	53
3.2.1 Obowiązki pracodawcy .....	54
3.2.2 Postępowanie organów Państwowej Inspekcji Pracy .....	58
3.2.3 Wykorzystane w pracy źródła informacji o wypadkach przy pracy .....	60
<b>4 Zakres badań własnych i zastosowana metodyka badań</b> .....	<b>62</b>
4.1 Pozyskanie Protokołów Kontroli .....	63
4.2 Opracowanie modelu procesu wypadku oraz budowa bazy danych .....	65
4.3 Opracowanie matematycznych modeli analizowanych zjawisk związanych z wypadkowością .....	66
4.4 Badania na modelu i analiza wyników .....	67
4.5 Wnioski .....	67
<b>5 Model przyczynowo-skutkowy wypadku przy pracy</b> .....	<b>68</b>
5.1 Struktura modelu .....	68
5.2 Opis węzłów w modelu .....	69
5.3 Przykładowa analiza wypadku .....	73
<b>6 Informatyczna Baza Danych o wypadkach przy pracy w budownictwie</b> .....	<b>76</b>
6.1 Budowa Informatycznej Bazy Danych .....	77
6.2 Wprowadzanie danych od Informatycznej Bazy Danych .....	79
6.3 Przykłady wypadków wprowadzonych do IBD .....	85
6.3.1 Wypadek 1: zasypanie uszkodzonego gruntem z wykopu .....	86
6.3.2 Wypadek 2: uwięzienie uszkodzonego pod zawaloną ścianą .....	87

6.3.3	Wypadek 3: upadek uszkodzonego z rusztowania.....	89
6.3.4	Wypadek 4: poparzenie uszkodzonego w wyniku pożaru.....	90
6.3.5	Wypadek 5: kontakt uszkodzonego z ostrzem piły tarczowej.....	92
6.3.6	Wypadek 6: uderzenie uszkodzonego przez spadający obiekt.....	93
<b>7</b>	<b>Matematyczny opis wypadkowości w budownictwie.....</b>	<b>96</b>
7.1	Charakterystyka przedsiębiorstw budowlanych w aspekcie wypadkowości....	96
7.2	Model rozwoju procesu wypadkowego.....	97
7.2.1	Analiza ilościowa aktywacji węzłów w grafie.....	100
7.2.2	Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami.....	103
7.2.3	Prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych scenariuszy wypadkowych.....	105
7.2.4	Weryfikacja modelu.....	106
7.3	Analiza przyczyn wypadków przy pracy.....	107
7.4	Profil zawodowy osoby uszkodzonej.....	111
<b>8</b>	<b>Obliczenia i analiza wyników.....</b>	<b>116</b>
8.1	Charakterystyka przedsiębiorstw budowlanych.....	118
8.1.1	Ogólna charakterystyka przedsiębiorstw budowlanych w Polsce.....	118
8.1.2	Struktura wypadków w analizowanej grupie przedsiębiorstw.....	119
8.2	Analiza ilościowa aktywacji węzłów w grafie.....	121
8.2.1	Miejsce powstania wypadku „A”.....	121
8.2.2	Proces pracy „B”.....	122
8.2.3	Czynność wykonywana przez uszkodzonego w chwili wypadku „C”.....	123
8.2.4	Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez uszkodzonego w chwili wypadku „D”.....	124
8.2.5	Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego „E”.....	126
8.2.6	Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego „F”.....	127
8.2.7	Wydarzenie powodujące uraz „G”.....	129
8.2.8	Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz „H”.....	130
8.2.9	Rodzaj urazu „U”.....	132
8.2.10	Skutek wypadku „R”.....	134
8.2.11	Macierz aktywacji węzłów w grafie.....	134
8.2.12	Wnioski.....	140
8.3	Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami.....	141
8.3.1	Relacje między źródłem wypadku a miejscem wypadku.....	141
8.3.2	Relacje między miejscem wypadku a wykonywanym procesem pracy.....	142
8.3.3	Relacje między procesem pracy a czynnością wykonywaną przez uszkodzonego w chwili wypadku.....	143
8.3.4	Relacje między czynnością wykonywaną przez uszkodzonego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym... ..	144
8.3.5	Relacje między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez uszkodzonego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego.....	147
8.3.6	Relacje między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym.....	148



8.3.7	Relacje między czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a wydarzeniem powodującym uraz .....	150
8.3.8	Relacje między wydarzeniem powodującym uraz a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu .....	152
8.3.9	Relacje między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu a rodzajem urazu .....	154
8.3.10	Relacje między rodzajem urazu a skutkiem wypadku .....	157
8.3.11	Wnioski .....	158
8.4	Modelowanie scenariuszy wypadkowych .....	162
8.4.1	Analiza ścieżki krytycznej dla zbioru wszystkich wypadków .....	162
8.4.2	Analiza ścieżki krytycznej dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów .....	166
8.4.3	Analiza ścieżki krytycznej dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych .....	170
8.4.4	Najbardziej prawdopodobny scenariusz przebiegu wypadku w zbiorze analizowanych wypadków .....	174
8.4.5	Wnioski .....	184
8.5	Analiza przyczyn wypadków .....	186
8.5.1	Przyczyny techniczne ( <i>T</i> ) .....	186
8.5.2	Przyczyny organizacyjne ( <i>O</i> ) .....	188
8.5.3	Przyczyny ludzkie ( <i>L</i> ) .....	193
8.5.4	Wnioski .....	196
8.6	Profil zawodowy osoby poszkodowanej .....	197
8.6.1	Status zatrudnienia .....	197
8.6.2	Zawód wykonywany przez poszkodowanego .....	198
8.6.3	Staż pracy .....	199
8.6.4	Wiek poszkodowanego .....	200
8.6.5	Przygotowanie pracownika do wykonywania pracy .....	201
8.7	Zdefiniowanie profilu zawodowego pracownika ulegającego wypadkom przy wykorzystaniu analizy skupień .....	203
8.7.1	Profil zawodowy osoby poszkodowanej .....	210
8.7.2	Wnioski .....	212
<b>9</b>	<b>Wnioski i uwagi końcowe .....</b>	<b>214</b>
9.1	Wnioski wynikające z badań .....	214
9.2	Wnioski o charakterze ogólnym .....	216
9.3	Wkład własny w omawiane zagadnienie .....	216
9.4	Proponowane kierunki dalszych badań .....	217
	<b>Streszczenie .....</b>	<b>218</b>
	<b>Abstract .....</b>	<b>219</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>220</b>
	<b>Załączniki .....</b>	<b>226</b>

### Wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy:

- $A$  - miejsce powstania wypadku w znaczeniu ogólnym
- $a_i$  - miejsce powstania wypadku w znaczeniu szczegółowym
- $B$  - proces pracy w znaczeniu ogólnym
- $b_j$  - proces pracy w znaczeniu szczegółowym
- $C$  - czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku w znaczeniu ogólnym
- $c_k$  - czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku w znaczeniu szczegółowym
- $D$  - czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku w znaczeniu ogólnym
- $d_n$  - czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku w znaczeniu szczegółowym
- $d(x_l, x_{l+1})$  - miara podobieństwa Gowera
- $E$  - wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego w znaczeniu ogólnym
- $e_o$  - wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego w znaczeniu szczegółowym
- $F$  - czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego w znaczeniu ogólnym
- $f_p$  - czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego w znaczeniu szczegółowym
- $G$  - wydarzenie powodujące uraz w znaczeniu ogólnym
- $g_q$  - wydarzenie powodujące uraz w znaczeniu szczegółowym
- $H$  - czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz w znaczeniu ogólnym
- $h_s$  - czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz w znaczeniu szczegółowym
- $K$  - zbiór możliwych, uporządkowanych par sąsiadujących węzłów  $N$  zwanych krawędziami skierowanymi lub łukami
- $L$  - przyczyna ludzka wypadku w znaczeniu ogólnym
- $l_\gamma$  - przyczyna ludzka wypadku w znaczeniu szczegółowym
- $L_N$  - liczba wierszy macierzy  $W$
- $L_K$  - liczba kolumn macierzy  $W$

$M$	- zdarzenie inicjujące proces wypadkowy w znaczeniu ogólnym
$m$	- zdarzenie inicjujące proces wypadkowy w znaczeniu szczegółowym
$N$	- dowolny, niepusty zbiór węzłów
$N_{(\varphi-\psi)}$	- liczba aktywacji relacji $\varphi - \psi$
$O$	- przyczyna organizacyjna wypadku w znaczeniu ogólnym
$o_{\beta}$	- przyczyna organizacyjna wypadku w znaczeniu szczegółowym
$o_l$	- $l$ -ta osoba poszkodowana w wypadku przy pracy
$P$	- zbiór przyczyn wypadków
$P_1$	- niewłaściwy stan czynnika materialnego
$P_2$	- niewłaściwa ogólna organizacja pracy
$P_3$	- niewłaściwa organizacja stanowiska pracy
$P_4$	- brak odpowiednich czynników materialnych lub niewłaściwe posługiwanie się tymi czynnikami
$P_5$	- nieużywanie sprzętu ochronnego przez pracownika
$P_6$	- niewłaściwe samowolne zachowanie się pracownika
$P_7$	- stan psychofizyczny pracownika niezapewniający bezpiecznego wykonania pracy
$P_8$	- nieprawidłowe zachowanie się pracownika
$P(K)$	- prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza wypadkowego
$P_{(\varphi-\psi)}$	- prawdopodobieństwo wystąpienia relacji $\varphi - \psi$
$p_{1,l}$	- przygotowanie do pracy $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie instruktażu ogólnego
$p_{2,l}$	- przygotowanie do pracy $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie instruktażu stanowiskowego
$p_{3,l}$	- przygotowanie do pracy $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie szkolenia okresowego
$p_{4,l}$	- przygotowanie do pracy $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie badań lekarskich
$R$	- skutek wypadku w znaczeniu ogólnym
$r_x$	- skutek wypadku w znaczeniu szczegółowym
$s_l$	- staż pracy $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy
$T$	- przyczyna techniczna wypadku w znaczeniu ogólnym
$t_{\alpha}$	- przyczyna techniczna wypadku w znaczeniu szczegółowym

$t_l$	- czas zaistnienia $l$ -tego wypadku przy pracy
$U$	- rodzaj urazu w znaczeniu ogólnym
$u_v$	- rodzaj urazu w znaczeniu szczegółowym
$u_w$	- udział procentowy osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w analizowanej grupie przedsiębiorstw w stosunku do wszystkich poszkodowanych w budownictwie
$u_o$	- udział procentowy zatrudnionych osób w analizowanej grupie przedsiębiorstw w stosunku do wszystkich zatrudnionych w budownictwie
$v_l$	- forma zatrudnienia $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy
$x_l$	- współrzędne analizowanego obiektu
$Y$	- graf skierowany
$y_l$	- wiek $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy
$w_p$	- wskaźnik uwzględniający udział wypadków przy pracy w stosunku do zatrudnionych osób
$w_l$	- pojedyncze zdarzenie wypadkowe
$W$	- proces wypadkowy
$z_l$	- zawód wykonywany przez $l$ -tą osobę poszkodowaną w wypadku przy pracy
$\delta$	- współczynnik odmienności
$\mu$	- wartość średnia
$\sigma$	- odchylenie standardowe
$\varphi$	- symbol i kod węzła poprzedzającego w relacji
$\psi$	- symbol i kod węzła następującego w relacji

## Indeksy

$i$	- rodzaj miejsca powstania wypadku
$j$	- rodzaj procesu pracy
$k$	- rodzaj czynności wykonywanej przez poszkodowanego w chwili wypadku
$l$	- kolejna osoba poszkodowana w wypadku przy pracy
$n$	rodzaj czynnika materialnego związanego z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku
$o$	- rodzaj wydarzenia będącego odchyleniem od stanu normalnego
$p$	- rodzaj czynnika materialnego związanego z odchyleniem od stanu normalnego
$q$	- rodzaj wydarzenia powodującego uraz

- $s$  - rodzaj czynnika materialnego będącego źródłem urazu
- $v$  - rodzaj urazu
- $x$  - rodzaj skutku wypadku
- $\alpha$  - szczegółowa przyczyna techniczna
- $\beta$  - szczegółowa przyczyna organizacyjna
- $\gamma$  - szczegółowa przyczyna ludzka

### Wykaz ważniejszych definicji stosowanych w pracy

czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku	- czynność wykonywana przez poszkodowanego w sposób zamierzony, bezpośrednio przed wypadkiem
czynnik materialny	- maszyna, urządzenie, narzędzie lub inny obiekt używany przez poszkodowanego: w chwili gdy uległ on wypadkowi, mający bezpośredni związek z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego lub będący źródłem urazu
liczba pracujących	- liczba zatrudnionych osób w przedsiębiorstwie bez przeliczenia na pełen etat
miejsce powstania wypadku	- miejsce, w którym przebywał poszkodowany w chwili wypadku
pojedynczy proces wypadkowy	- pojedynczy wypadek rozumiany jako sekwencja zdarzeń kończąca się urazem
proces pracy	- podstawowy rodzaj pracy wykonywanej przez poszkodowanego w chwili, kiedy miał miejsce wypadek przy pracy
Protokół Kontroli	- sprawozdanie z przeprowadzonej kontroli, sporządzone przez inspektora pracy przedstawiające okoliczności i przebieg wypadku
przyczyna wypadku	- wszelkie braki i nieprawidłowości, które bezpośrednio lub pośrednio przyczyniają się do powstania wypadku, związane z czynnikami materialnymi, z ogólną organizacją pracy, z organizacją stanowiska pracy oraz z poszkodowanym
rodzaj urazu	- fizyczne skutki jakich doznał poszkodowany w wyniku wypadku przy pracy
scenariusz wypadkowy	- droga w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej prowadząca od węzła początkowego do węzła końcowego przez dowolne węzły pośrednie

skutek wypadku	- następstwo wypadku: śmierć osoby poszkodowanej, ciężkie uszkodzenie ciała lub lekkie uszkodzenie ciała
Statystyczna Karta Wypadku	- sporządzana przez pracodawcę karta wypadku przekazywana do Głównego Urzędu Statystycznego dla celów statystycznych
staż pracy na zajmowanym stanowisku	- czas zatrudnienia poszkodowanego w wypadku przy pracy na stanowisku pracy w przedsiębiorstwie, na którym miał miejsce wypadek przy pracy
umiejscowienie urazu	- część ciała poszkodowanego, która została uszkodzona w wyniku wypadku przy pracy
uraz	- uszkodzenie tkanek ciała lub narządów człowieka wskutek działania czynnika zewnętrznego
wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego	- wydarzenie niezgodne z właściwym przebiegiem procesu pracy, które wywołało wypadek
wydarzenie powodujące uraz	- wydarzenie, w wyniku którego doszło do urazu u osoby poszkodowanej
wypadek ciężki	- wypadek w wyniku którego nastąpiło ciężkie uszkodzenie ciała, a mianowicie: utrata wzroku, słuchu, mowy, zdolności rozrodczej lub inne uszkodzenie ciała albo roztrój zdrowia, naruszające podstawowe funkcje organizmu, a także choroba nieuleczalna lub zagrażająca życiu, trwała choroba psychiczna, całkowita lub częściowa niezdolność do pracy w zawodzie albo trwale, istotne zszpecenie lub zniekształcenie ciała
wypadek indywidualny	- wypadek, w trakcie którego poszkodowana została jedna osoba
wypadek lekki	- wypadek nie wyczerpujący znamion wypadku śmiertelnego i ciężkiego
wypadek przy pracy	- nagle zdarzenie wywołane przyczyną zewnętrzną powodujące uraz lub śmierć, które nastąpiło w związku z pracą, tj.: podczas lub w związku z wykonywaniem przez pracownika zwykłych czynności lub poleceń przełożonych; podczas lub w związku z wykonywaniem przez pracownika czynności na rzecz pracodawcy nawet bez polecenia; w czasie pozostawania pracownika w dyspozycji pracodawcy w drodze między siedzibą pracodawcy, a miejscem wykonywania obowiązku wynikającego ze stosunku pracy
wypadek śmiertelny	- wypadek w wyniku którego nastąpiła śmierć osoby poszkodowanej na miejscu wypadku lub w okresie 6 miesięcy od chwili wypadku

- wypadek zbiorowy - wypadek w wyniku którego, zostały uszkodzone co najmniej 2 osoby
- zawód wykonywany - zawód, specjalność, wykonywany przez osobę uszkodzoną w wypadku przy pracy zgodny z klasyfikacją zawodów i specjalności
- złożony proces wypadkowy - ciąg wypadków, z których każdy może zachodzić w innym momencie czasu i na innej budowie. Wypadki te tworzą dyskretny proces wypadkowy





# 1 Wstęp

## 1.1 Przedmiot pracy

Z każdym rodzajem działalności ludzkiej związane jest ryzyko pojawienia się niebezpiecznych zdarzeń zagrażających życiu i zdrowiu człowieka. Niebezpieczne zdarzenia prowadzą do wypadków przy pracy, których skutkiem mogą być straty materialne, urazy o różnym stopniu ciężkości, a nawet śmierć pracownika.

Na podstawie dostępnych danych statystycznych można stwierdzić, że branża budowlana charakteryzuje się wysoką wypadkowością we wszystkich krajach Unii Europejskiej. Dane statystyczne dotyczące 2014 roku, opublikowane przez Główny Urząd Statystyczny Unii Europejskiej wskazują, że branża budowlana klasyfikuje się na 2. miejscu pod względem wskaźnika częstości wypadków przy pracy powodujących więcej niż 3 dni nieobecności w pracy oraz na 2. miejscu pod względem wskaźnika częstości śmiertelnych wypadków przy pracy. W krajach należących do 27 krajów członkowskich Unii Europejskiej każdego dnia zdarza się ponad 1 100 wypadków przy pracy.

Z kolei, wg danych statystycznych opublikowanych przez Główny Urząd Statystyczny Polski, w 2016 roku we wszystkich sekcjach gospodarki zginęło 243 pracowników, a liczba wszystkich wypadków wyniosła ponad 87 tysięcy. Wskaźnik częstości wypadków dla budownictwa wyniósł 6,2 osoby poszkodowane na 1 000 pracujących. Jest to wartość niższa niż wartość wskaźnika wypadkowości dla wszystkich sekcji gospodarki narodowej, który w 2016 roku wyniósł 7,0 osób poszkodowanych na 1 000 pracujących. W rankingu poszczególnych sekcji pod względem wskaźnika częstości wypadków budownictwo w Polsce w 2016 roku zajęło wysokie 8. miejsce (Główny Urząd Statystyczny, 2017a).

W porównaniu do innych działalności człowieka, budownictwo charakteryzuje bardzo dużą zmienność warunków pracy. Powoduje to, że pracownicy zatrudnieni w tej sekcji gospodarki narażeni są na działanie wielu czynników niebezpiecznych powodujących wypadki.

Zjawisko ulegania pracowników wypadkom podczas pracy określane jest jako wypadkowość. Wypadkowość można rozpatrywać i analizować w sensie szczegółowym oraz ogólnym. Badanie wypadkowości w sensie szczegółowym oznacza, że przedmiotem zainteresowania są poszczególne wypadki. W takim aspekcie powstało wiele różnych modeli służących do analiz pojedynczych zdarzeń wypadkowych. Jednak wykrycie określonych prawidłowości, którym podlega zjawisko wypadkowości możliwe jest na podstawie badań prowadzonych w odpowiednio dużej masie zjawiska.

Na podstawie analizy literatury przedmiotu nie stwierdzono modeli skonstruowanych w celu zbadania zjawiska wypadkowości jako procesu, który tworzy ciąg wypadków zachodzących w dyskretnych momentach czasu na różnych, pod względem lokalizacji, konstrukcji i wyposażenia technicznego, budowach. Na podstawie analizy przebiegu wybranych wypadków przy pracy w budownictwie stwierdzono natomiast, że każdy z nich przebiega wg innego scenariusza. Opracowanie modelu odzwierciedlającego złożone zjawisko wypadkowości oraz przeprowadzenie na nim badań pozwoli na zdefiniowanie prawdopodobieństwa wystąpienia określonych scenariuszy oraz wskazanie istotnych dla praktyki budowlanej kierunków działań prewencyjnych.

W działaniach prewencyjnych ważna jest wiedza nt. przyczyn powodujących wypadki przy pracy w budownictwie. Dlatego też, istotne jest opracowanie metodyki analizy i oceny ważności poszczególnych przyczyn wypadków oraz wskazanie tych, które mają największy wpływ na zjawisko wypadkowości.

W rozważaniach na temat bezpieczeństwa pracy najważniejszy jest człowiek, który w procesach wypadkowych występuje w potrójnej roli, a mianowicie jako: decydent, sprawca oraz przede wszystkim jako poszkodowany. W literaturze przedmiotu nie stwierdzono badań, które pozwoliłyby zdefiniować profil zawodowy pracownika ulegającego najczęściej wypadkom przy pracy w budownictwie.

Wskazane wyżej „nie zagospodarowane” obszary wiedzy dotyczące zagadnień bezpieczeństwa pracy w budownictwie stanowiły impuls do podjęcia badań oraz sformułowania celów niniejszej dysertacji.

## **1.2 Cel pracy**

Celem naukowym rozprawy jest:

1. Opracowanie modelu rozwoju złożonego zjawiska wypadkowości w polskim budownictwie uwzględniającego fakt, że wypadki zachodzą w dyskretnych momentach czasu, na różnych pod względem lokalizacji, konstrukcji i wyposażenia technicznego, budowach.
2. Zdefiniowanie prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy przebiegu wypadków oraz określenie na tej podstawie scenariuszy o największym prawdopodobieństwie.
3. Opracowanie metodyki analizy i oceny ważności poszczególnych przyczyn wypadków przy pracy w budownictwie oraz zdefiniowanie przyczyn najbardziej istotnych dla bezpieczeństwa pracy w budownictwie.
4. Opracowanie metodyki analizy zbioru danych o pracownikach ulegających wypadkom w budownictwie i zdefiniowanie na tej podstawie modelu profilu zawodowego pracownika ulegającego najczęściej wypadkom.

W ramach rozprawy sformułowano następujące cele cząstkowe:

1. Dokonanie krytycznego przeglądu literatury przedmiotu, na podstawie którego możliwe jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat omawianych zjawisk.
2. Pozyskanie materiału badawczego w postaci dokumentacji powypadkowej, pozwalającego na odtworzenie przebiegu wypadków przy pracy.
3. Opracowanie Informatycznej Bazy Danych (IBD) o wypadkach przy pracy w polskim budownictwie stanowiącej repozytorium dla zgromadzonego materiału badawczego.

## **1.3 Przegląd treści pracy**

Na wstępie dysertacji zamieszczono spis treści, wykaz stosowanych oznaczeń oraz wykaz definicji i pojęć sformułowanych na potrzeby rozprawy. Rozprawa została podzielona na dziewięć rozdziałów.

W rozdziale pierwszym przedstawiono motywację podjęcia tematu rozprawy, sformułowane cele główne i cząstkowe oraz zamieszczono syntetyczny przegląd treści rozprawy.

Rozdział drugi obejmuje przegląd literatury przedmiotu w zakresie omawianego zagadnienia. Przedstawiono podstawowe pojęcia i definicje stosowane w zagadnieniach bezpieczeństwa pracy, w szczególności definicje wypadku przy pracy i wypadkowości. Omówiono mierniki stosowane do oceny zjawiska wypadkowości, przeprowadzono analizę stanu wypadkowości w poszczególnych krajach świata, w Unii Europejskiej oraz w krajach rozwijających się. Omówiono także inne aspekty związane z wypadkami przy pracy jak: przyczyny wypadków przy pracy, wydarzenia powodujące wypadki w budownictwie, ryzyko zawodowe i jego ocenę na stanowiskach pracy w budownictwie.

Źródła wiedzy o wypadkach przy pracy przedstawiono w rozdziale trzecim. W rozdziale tym dokonano przeglądu dostępnych informacji o wypadkach przy pracy publikowanych przez wybrane instytucje państwowe, takie jak: Główny Urząd Statystyczny, Państwowa Inspekcja Pracy, Zakład Ubezpieczeń Społecznych, Państwowy Nadzór Budowlany. Drugą część rozdziału poświęcono obowiązującym w Polsce procedurom w zakresie badania wypadków przy pracy, omówiono czynności podejmowane przez pracodawcę w ramach postępowania powypadkowego oraz szereg czynności podejmowanych przez organy Okręgowych Inspektoratów Pracy po zaistnieniu wypadku. Przeprowadzona analiza dostępnych źródeł informacji o wypadkach przy pracy pozwoliła na wytypowanie dokumentów stanowiących podstawę dla prowadzonych badań i analiz.

W rozdziale czwartym przedstawiono zakres prowadzonych badań własnych oraz omówiono zaproponowaną metodykę badań.

Rozdział piąty rozprawy to opis modelu procesu pojedynczego wypadku będącego podstawą struktury informatycznej bazy danych. Zaproponowano strukturę modelu wypadku jako ciągu przyczynowo-skutkowego. W celu zobrazowania zaproponowanego modelu procesu pojedynczego wypadkowego przedstawiono przykładową analizę wypadku przy pracy.

Rozdział szósty poświęcono Informatycznej Bazie Danych stanowiącej repozytorium dla zgromadzonych danych o wypadkach przy pracy w budownictwie. Omówiono strukturę Informatycznej Bazy Danych, a także sposób wprowadzania danych do bazy. W dalszej części rozdziału przedstawiono przykłady wypadków przy pracy wprowadzonych do Informatycznej Bazy Danych.

W rozdziale siódmym przedstawiono modele matematyczne analizowanych w dysertacji zjawisk związanych z wypadkowością w budownictwie. W pierwszej części rozdziału zaproponowano ocenę poszczególnych sektorów przedsiębiorstw budowlanych pod względem wypadkowości. Następnie zamieszczono:

- Opis modelu rozwoju złożonego procesu wypadkowego w postaci grafu skierowanego, metodykę aktywacji węzłów w grafie oraz relacji między sąsiadującymi węzłami, pozwalającą na obliczanie prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy wypadkowych. Do opracowania modelu wykorzystano teorię grafów, rachunek macierzowy oraz rachunek prawdopodobieństwa.
- Metodykę analizy przyczyn wypadków przy pracy opartą na analizie Pareto-Lorenza i znanej w ekonomii analizie ABC.

- Metodykę umożliwiającą zdefiniowanie profilu zawodowego pracownika ulegającego najczęściej wypadkom przy pracy w budownictwie. Do opracowania metodyki wykorzystano statystyczną metodę, tzw. analizę skupień.

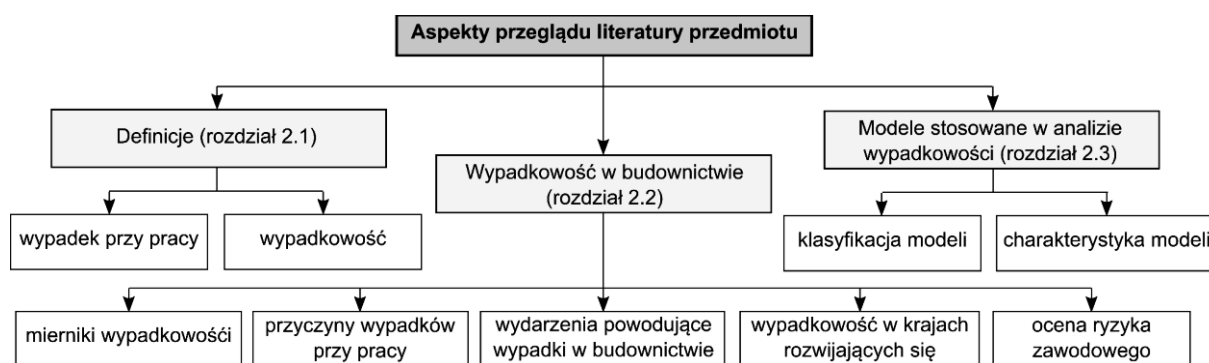
Następnie przeprowadzono obliczenia w wymienionych wyżej zagadnieniach wypadkowości i w rozdziale ósmym zamieszczono otrzymane wyniki badań oraz ich analizę.

W rozdziale dziewiątym dokonano podsumowania pracy, przedstawiono wkład własny w omawiane zagadnienie, wnioski oraz zaproponowano kierunki dalszych badań.

Pracę kończy streszczenie w języku polskim i angielskim.

## 2 Analiza literatury przedmiotu

Międzynarodowa Organizacja Pracy (*International Labour Organization*) na XX Światowym Kongresie Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy, odbywającym się w 2014 roku we Frankfurcie podała, że około 350 tysięcy pracowników umiera rocznie w wyniku wypadków przy pracy. Każdego roku na budowach całego świata dochodzi do co najmniej 60 tysięcy wypadków przy pracy o skutkach śmiertelnych. Oznacza to, że średnio co 10 minut jeden pracownik budowlany ponosi śmierć w trakcie wykonywania swojej pracy (International Labour Organization, 2014). Aby zmniejszyć niekorzystne trendy w bezpieczeństwie pracy, naukowcy z całego świata analizują zjawisko wypadkowości, poszukują przyczyn i mechanizmów powstawania wypadków przy pracy oraz budują modele służące do badania tego zjawiska uwzględniające różne jego aspekty. W celu poznania obecnego stanu wiedzy związanego z tematem dysertacji, dokonano wnikliwego i ukierunkowanego przeglądu literatury przedmiotu obejmującego zagadnienia zamieszczone na poniższym schemacie.



Rys. 2.1 Aspekty przeglądu literatury przedmiotu (opracowanie własne)

### 2.1 Wypadek przy pracy

Według Wielkiego Słownika Języka Polskiego (2016) wypadek definiowany jest jako „nieszczęśliwe zdarzenie, w wyniku którego ktoś poniósł śmierć, odniósł obrażenia lub powstały straty materialne”. W słowniku, do znaczenia słowa „nieszczęśliwe zdarzenie” przyporządkowane są następujące określenia: ciężkie, groźne, nagłe, niebezpieczne, nieszczęśliwe, tragiczne, masowe.

Z kolei, w Słowniku Języka Polskiego pod red. W. Doroszewskiego (1969) wypadek zdefiniowany jest jako „nieszczęśliwe wydarzenie, które spowodowało straty materialne, w którym ktoś ucierpiał, został okaleczony lub poniósł śmierć”.

Według *Ustawy z dnia 30 października 2002 r. o ubezpieczeniu społecznym z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych* (Dz.U. 2002 nr 199 poz. 1673) (U1) za wypadek przy pracy uważa się „nagłe zdarzenie wywołane przyczyną zewnętrzną powodujące uraz lub śmierć, które nastąpiło w związku z pracą, tj.: podczas lub w związku z wykonywaniem przez pracownika zwykłych czynności lub poleceń przełożonych; podczas lub w związku z wykonywaniem przez pracownika czynności na rzecz pracodawcy nawet bez polecenia;

w czasie pozostawiania pracownika w dyspozycji pracodawcy w drodze między siedzibą pracodawcy, a miejscem wykonywania obowiązku wynikającego ze stosunku pracy”.

Zgodnie definicją opracowaną przez Główny Urząd Statystyczny Unii Europejskiej (European Statistics on Accident at Work, 2013), wypadek w trakcie pracy oznacza „nagle zdarzenie w czasie pracy, które spowodowało uraz fizyczny lub psychiczny”. Sformułowanie "w trakcie pracy" oznacza, że wypadek wystąpił "przy wykonywaniu działalności zawodowej lub podczas czasu spędzonego w pracy".

Z kolei, na użytek analizy przebiegu wypadków przy pracy za pomocą drzewa MORT opracowana została również definicja wypadku uwzględniająca niekontrolowany przepływ energii. Zgodnie z metodą MORT wypadek przy pracy traktowany jest jako: „niepożądany przepływ energii lub ekspozycja na szkodliwe czynniki środowiskowe, które ze względu na brak zabezpieczeń prowadzą do wystąpienia urazów lub szkód materialnych” (Johnson, 1973).

W dalszej części dysertacji przyjęto definicję wypadku przy pracy zawartą w (U1).

## 2.2 Wypadkowość i jej ocena

Wypadkowość jest „zjawiskiem ulegania pracownikom wypadkom w pracy” (Studenski, 1996; Lis i Nowacki, 2005). Słownik Języka Polskiego wydany przez Wydawnictwo Naukowe PWN (2016) definiuje wypadkowość jako „obliczoną statystycznie liczbę wypadków”.

Wypadkowość można oceniać jako sumę wypadków zaistniałych w jakimś czasie, zazwyczaj w ciągu roku, przedstawioną za pomocą różnych wskaźników. Według Głównego Urzędu Statystycznego (2017a) wskaźnik wypadkowości to liczba osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy przypadających na 1 000 pracujących. Hoła (2008) proponuje uwzględnienie, w ocenie wypadkowości, stopnia ciężkości doznanych urazów. Autorka do oceny wypadkowości w polskim budownictwie zastosowała wskaźniki częstości i ciężkości wypadków z podziałem na lekkie, ciężkie i śmiertelne.

Wskaźnik częstości wypadków obliczany jest w odniesieniu do 1 000 zatrudnionych i wyrażony jest następująco:

$$w_{i,k,1000} = \frac{lp_{i,k}}{lz_i} \cdot 1\,000, \text{ przy czym } i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, 4, \quad (2.1)$$

gdzie:

- $w_{i,k,1000}$  – wskaźnik częstości wypadków w odniesieniu do 1 000 zatrudnionych osób,
- $lp_{i,k}$  – liczba osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w roku  $t_i$ , przy czym:  $k = 1$  oznacza wypadki lekkie,  $k = 2$  oznacza wypadki ciężkie,  $k = 3$  oznacza wypadki śmiertelne,  $k = 4$  oznacza wypadki ogółem,
- $lz_i$  – liczba osób zatrudnionych w roku  $t_i$ .

Wskaźnik ciężkości wypadków oznacza średnią liczbę dniówek roboczych straconych wskutek absencji chorobowej przypadającą na osobę poszkodowaną w wypadkach lekkich i ciężkich i wyraża go następująca zależność:



$$wc_i = \frac{\sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^{lp_{i,k}} ds_{i,l}}{\sum_{k=1}^2 lp_{i,k}}, \text{ przy czym } i = 1, \dots, N; k = 1, 2, \quad (2.2)$$

gdzie:

$wc_i$  – wskaźnik ciężkości wypadków,

$ds_{i,l}$  – liczba dniówek straconych wskutek absencji chorobowej przypadającej na każdą osobę poszkodowaną w lekkim ( $k = 1$ ) i ciężkim ( $k = 2$ ) wypadku przy pracy w przedziale czasu  $t_i$ ,

$lp_{i,k}$  – liczba osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w roku  $t_i$ .

Ze względu na zmieniający się, w kolejnych latach, udział poszczególnych rodzajów wypadków w ogólnej ich liczbie, autorka zaproponowała również wskaźnik standaryzowany uwzględniający w ocenie wypadkowości jednoczesny udział wszystkich rodzajów wypadków.

W rozprawie „Modelowanie jakościowe i ilościowe wypadkowości w budownictwie” Hoła (2008) przedstawiła obszerną metodykę analizy i oceny wypadkowości w budownictwie. Wypadkowość została potraktowana jako zjawisko statyczne jednorodne, zjawisko statyczne niejednorodne oraz jako zjawisko dynamiczne. Do oceny i analizy wypadkowości zaproponowane zostały wskaźniki wypadkowości uwzględniające ocenę zarówno jakościową, jak i ilościową. Podstawą przyjętej metodyki były wskaźniki częstości i ciężkości wypadków, wskaźnik częstości standaryzowanej, łańcuchowe i jednopodstawowe indeksy dynamiki oraz wskaźniki zmian tych indeksów.

W statystykach Unii Europejskiej (UE), problem oceny wypadkowości jest trochę bardziej skomplikowany. Wynika to z faktu, że w różnych krajach członkowskich UE występują różnice w zasadach rejestrowania wypadków. Jako przykład posłużyć mogą zasady rejestrowania wypadków śmiertelnych, np.:

- w Holandii, wypadek rejestrowany jest jako śmiertelny, jeżeli śmierć poszkodowanego nastąpiła w dniu wypadku,
- w Niemczech, jeżeli śmierć nastąpiła w ciągu 30 dni po wypadku,
- w Polsce, jeżeli śmierć osoby poszkodowanej nastąpiła na miejscu wypadku lub w okresie 6 miesięcy od chwili wypadku,
- w Hiszpanii, jeżeli poszkodowany umrze w ciągu 1,5 roku,
- w niektórych państwach nie ustalono żadnych ograniczeń czasowych przy kwalifikowaniu wypadku jako wypadku śmiertelnego.

Między innymi, z powodu tych rozbieżności, wskaźniki wyliczone w różnych krajach Unii Europejskiej, nie mogą być między sobą porównywane.

Miernikami stanu wypadkowości w UE są: liczba wypadków oraz wskaźnik wypadkowości definiowany jako liczba wypadków przy pracy w odniesieniu do 100 000 zatrudnionych osób. W europejskich statystykach wypadkowych wyróżniono dwa rodzaje wypadków przy pracy:

- wypadek, który prowadzi do śmierci w ciągu jednego roku od dnia wypadku,
- wypadek powodujący więcej niż 3 dni kalendarzowe nieobecności w pracy (ESAW, 2013).

Wskaźnik wypadkowości obliczany jest zgodnie ze wzorem:

$$I_r = \frac{N_a}{N_e} \cdot 100\,000, \quad (2.3)$$

gdzie:

- $I_r$  – wskaźnik wypadkowości (*Incidence rate*),
- $N_a$  – liczba śmiertelnych wypadków przy pracy lub liczba wypadków powodujących więcej niż 3 dni absencji w pracy (*Number of accidents fatal or non-fatal*),
- $N_e$  – liczba zatrudnionych osób (*Number of employed persons in the covered population*).

Struktura gospodarki poszczególnych krajów UE jest różna i ma istotny wpływ na liczbę wypadków przy pracy. Aby móc porównywać poszczególne kraje pod względem wypadkowości, dane dostarczane do Europejskiego Urzędu Statystycznego (*European Statistical Office*, dalej: EUROSTAT) są korygowane, a następnie obliczany jest standaryzowany wskaźnik wypadkowości (*Standardised incidence rate*). Standaryzacja wskaźnika polega na nadaniu każdej sekcji gospodarki odpowiedniej wagi. Wskaźnik wypadkowości wyliczany jest według wzoru:

$$w_{i[UE(K)]} = \frac{(\gamma_1 Lp_1 + \gamma_2 Lp_2 + \dots + \gamma_i Lp_i)_K}{Z_K} \cdot 100\,000 \quad (2.4)$$

gdzie:

- $w_{i[UE(K)]}$  – wskaźnik standaryzowany (*Standardised incidence rate*),
- $\gamma_i$  – waga przypisana sekcji gospodarki  $i$ , w  $K$ -tym kraju UE,  $i=1, \dots, 9$  (*Weight assigned to the  $i$ -economy section in the  $K$ -country of the European Union*),
- $Lp_i$  – liczba osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w sekcji gospodarki  $i$ , w  $K$ -tym kraju UE (*Number of people injured in accidents at work in the  $i$ -economy section in the  $K$ -country of the European Union*),
- $Z_K$  – liczba osób zatrudnionych w sekcjach gospodarki narodowej objętych sprawozdawczością w  $K$ -tym kraju UE (*Number of employed persons in the  $K$ -country of the European Union*).

### 2.2.1 Wypadkowość w budownictwie

Budownictwo w Polsce jak i na świecie charakteryzuje się wysokim poziomem zagrożeń dla zdrowia i życia pracowników. Na podstawie danych statystycznych publikowanych przez Główny Urząd Statystyczny wynika, że pod względem wartości wskaźnika częstości wypadków polskie budownictwo w 2016 roku znalazło się na 8 miejscu wśród wszystkich sekcji gospodarki (Główny Urząd Statystyczny, 2017a).

Wysoka wypadkowość w budownictwie jest zauważalna w różnych krajach świata. Mówią o tym liczne publikacje oraz raporty organizacji i urzędów zajmujących się zagadnieniami bezpieczeństwa na świecie (Suraji i in., 2001; Chua i Goh, 2004; Arboleda i Abraham, 2004; Haslam i in., 2005; Palaniappan i in., 2007; Abbe i in. 2011; Lin i in., 2011;



Albert i Hallowell, 2012; Leung i in., 2012; Wu i in., 2013; Chi i Han, 2013; Wanberg i in., 2013; Irumba, 2014; National Safety Council – NSC; Bureau of Labor Statistics – BLS; National Institute of Occupational Safety and Health – OSHA; Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo – INSHT; Commission of European Communities – CEC; Health and Safety Executive – HSE; Census and Statistics Department – CSD; Construction Industry Development Board – CIDB; Council of Labor Affairs – CLA; Główny Urząd Statystyczny – GUS i inne).

Wyniki badań wypadkowości w 27 krajach Unii Europejskiej (EU27) w 2014 roku wskazują, że budownictwo znajdowało się na 3. miejscu, pod względem ogólnej liczby wypadków przy pracy, wśród wszystkich sekcji gospodarki. W analizowanym 2014 roku doszło do 351 284 wypadków przy pracy. Średnia dzienna liczba wypadków wyniosła 1 100. Branża budowlana znalazła się na 2. miejscu pod względem wskaźnika częstości wypadków powodujących więcej niż trzy dni absencji w pracy, a także na 2. miejscu pod względem wskaźnika częstości śmiertelnych wypadków przy pracy. Z przedstawionych danych wynika również, że średnio w krajach EU27 na każde 100 tys. osób zatrudnionych w budownictwie 2 700 osób ulega wypadkom przy pracy o skutkach powodujących minimum 3 dni nieobecności w pracy, a 5,6 osób ulega wypadkom śmiertelnym (Hoła i Szóstak, 2015). Przytoczone rankingi oraz liczby potwierdzają tezę o wysokim poziomie zagrożenia dla życia i zdrowia w budownictwie.

Analiza stanu wypadkowości w poszczególnych krajach Unii Europejskiej wykazuje znaczne różnice między poszczególnymi krajami. Na przykład, są takie kraje jak Austria, Grecja czy Portugalia, którym udało się zmniejszyć liczbę wypadków w ostatnich latach nawet o 40%. Natomiast inne kraje, takie jak Irlandia, Luksemburg czy Szwecja, mają obecnie wyższy wskaźnik wypadkowości niż w momencie wstąpienia do Unii Europejskiej (Hoła i Szóstak, 2015).

Krajem europejskim o najwyższym wskaźniku wypadkowości jest Hiszpania (Camino López i in., 2008; Pérez Alonso i in., 2011; López Arquillos i in., 2012). W Hiszpanii, wśród ogólnej liczby wypadków przy pracy w budownictwie, aż 34,6 % stanowią wypadki ciężkie, a 33,9% śmiertelne. Wśród wypadków śmiertelnych najbardziej znaczące są wypadki spowodowane upadkiem z wysokości, które stanowią 33,8% wszystkich wypadków śmiertelnych oraz uderzeniem przez poruszający się pojazd, które stanowią 15,9% wszystkich wypadków śmiertelnych.

### **2.2.2 Przyczyny wypadków przy pracy**

Identyfikacja czynników mających wpływ na wypadkowość oraz bezpośrednich przyczyn wypadków jest pierwszym krokiem w wyznaczaniu kierunków działań prewencyjnych.

Dąbrowski (2011) zauważył, że w Polsce szczególnie wysoka wypadkowość występuje w małych firmach budowlanych. Według właścicieli tych firm, przyczynami zwiększonej liczby wypadków przy pracy są przede wszystkim takie czynniki jak: lekceważenie przez pracowników zasad bhp, pośpiech i chaos organizacyjny wynikający z konieczności dotrzymania terminów inwestycji, niska świadomość zagrożeń zawodowych wśród

pracowników, duża rotacja pracowników oraz nadużywanie przez nich alkoholu. Poprawę bezpieczeństwa pracy można uzyskać poprzez (Dąbrowski, 2013):

- wprowadzenie na budowie, przez generalnego wykonawcę, systemu identyfikacyjnego pracowników,
- właściwy dobór podwykonawców przez generalnego wykonawcę,
- powołanie osoby pełniącej funkcję koordynatora ds. bhp,
- poprawne opracowanie planu BIOZ,
- przeprowadzenie oceny ryzyka zawodowego dla wykonywanych prac,
- korzystanie ze środków unijnych w celu wyposażenia lub doposażenia pracowników w środki ochrony zbiorowej i indywidualnej.

Autor wskazuje również na konieczność prowadzenia działań prewencyjnych nie tylko przez małe firmy budowlane, ale także przez innych uczestników procesu budowlanego oraz instytucje mogące mieć wpływ na poprawę stanu bezpieczeństwa w budownictwie.

Według Smolarz (Błazik-Borowa i in., 2015), w Polsce, najczęściej stwierdzanymi nieprawidłowościami na placu budowy są:

- nieprawidłowości w zakresie posadowienia, montażu i wykonania rusztowania oraz braki w jego wyposażeniu w wymagane elementy zabezpieczające,
- brak lub niewłaściwe zastosowanie środków ochrony zbiorowej przed upadkiem z wysokości,
- niewyposażenie pracowników w wymagane środki ochron indywidualnych lub ich niestosowanie,
- brak oznakowania i zabezpieczenia stref niebezpiecznych na placu budowy,
- wykonywanie prac w wykopach o ścianach niezabezpieczonych przed osunięciem,
- brak właściwego przygotowania pracowników do wykonywania prac w zakresie instruktażu stanowiskowego i bez aktualnych orzeczeń lekarskich o braku przeciwwskazań do pracy na zajmowanym stanowisku.

Do najczęstszych przyczyn naruszeń prawa należą:

- niedopełnienie obowiązków przez osoby kierujące i pracodawców oraz przesuwanie na plan dalszy bezpieczeństwa pracowników,
- brak dostatecznej znajomości przepisów bhp,
- brak dostatecznej wiedzy na temat występujących zagrożeń,
- brak nadzoru nad koordynacją prowadzonych robót,
- brak wykwalifikowanej i przygotowanej kadry średniego szczebla,
- mała dbałość o poprawne wykonanie zabezpieczeń,
- nierzetelne wykonywanie obowiązków przez służby bhp.

Celem badań prowadzonych przez Drozda (2016) było wskazanie znaczenia cech terenu budowy i zachowań pracowników w definiowaniu okoliczności wypadku przy pracy. Autor zamodelował czynniki determinujące zachowania pracowników budowlanych w czasie realizacji robót. Czynnikiemami charakteryzującymi teren budowy w aspekcie bezpieczeństwa pracy są stan prawny i nadzór, populacja pracowników, rodzaj obiektu i zagospodarowanie terenu, warunki atmosferyczne, działania prewencyjne, stanowisko pracy, park maszyn, urządzenia i narzędzia, indywidualne cechy i zachowania człowieka. W swoich badaniach, autor poddał analizie wypadki zaistniałe na budowach Małopolski w 2015 roku.

Autorzy zajmujący się identyfikacją czynników mających wpływ na wypadkowość zwracają uwagę również na czynniki pozaosobowe. I tak, wyniki badań przeprowadzone przez Suraji i in. (2001) na próbie 500 wypadków, które zdarzyły się w Wielkiej Brytanii, wykazały, że najczęstszymi ich przyczynami są: naruszenia przepisów i nieznanostwo zasad bezpiecznego wykonywania robót, niedostateczne wyposażenie pracowników i stanowisk pracy w środki ochrony indywidualnej i zbiorowej oraz nieprawidłowo prowadzony proces budowlany. Przyczyny te stanowiły kolejno 54,60%, 15,40%, 15,00% wszystkich stwierdzonych przyczyn wypadków. Powyższe wyniki potwierdzają również prace innych autorów dotyczące wypadkowości w Stanach Zjednoczonych (Chi i Han, 2013; Wu i in., 2013).

Problemem identyfikacji czynników, które mają wpływ na powstawanie wypadków przy pracy w budownictwie zajmowali się m.in. Camino López i in. (2008). Autorzy zidentyfikowali i zbadali wpływ na wypadkowość w budownictwie 18 różnych czynników. Badaniom poddano wypadki, które miały miejsce na placach budowy w Hiszpanii. Badanymi czynnikami były m.in. wiek, płeć pracownika, rodzaju umowy, staż pracy, liczba pracowników zatrudnionych w firmie, rodzaj działalności, czynniki materialne związane z wydarzeniem, lokalizacja geograficzna, itp. Analizie poddano 1 630 452 wypadków przy pracy poniesionych przez pracowników budowlanych w Hiszpanii w latach 1990-2000. W liczbie tej 98% stanowiły wypadki lekkie, 1,8% wypadki ciężkie, a 0,2% wypadki śmiertelne. Badania potwierdziły zależność ciężkości wypadku od wieku osoby uczestniczącej w wypadku, rodzaju umowy, czynnika materialnego, pory dnia w której zdarzył się wypadek, a także regionu geograficznego, w którym miał miejsce wypadek. Inne wnioski z przeprowadzonych badań były następujące:

- im starszy pracownik uległ wypadkowi, tym większe jest prawdopodobieństwo, że skutek wypadku będzie ciężki,
- prawdopodobieństwo, że wypadek będzie miał poważne skutki wzrasta, gdy uczestniczy w nim czynnik materialny taki jak pojazd, rusztowanie, drabina,
- prawdopodobieństwo wypadku ciężkiego lub śmiertelnego jest większe w firmach zatrudniających mniej niż 25 pracowników niż w większych firmach,
- najwyższa liczba wypadków była rejestrowana w poniedziałki,
- wypadki, które zdarzają się w godzinach popołudniowych mają większe prawdopodobieństwo ciężkiego lub śmiertelnego skutku dla poszkodowanego.

Z kolei López Arquillos i in. (2012), dokonali analizy wypadków w sektorze budowlanym w Hiszpanii, które zdarzyły się między 2003 i 2008 rokiem. Wyniki badań również potwierdziły zależność skutków wypadku od wieku poszkodowanego, rodzaju prowadzonej działalności, wielkości firmy, stażu pracy poszkodowanego, miejsca wypadku, dnia tygodnia, liczby dni nieobecności poszkodowanego, powstałych obrażeń oraz strefy klimatycznej. Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- nie stwierdzono zależności między wielkością firmy, a bezpieczeństwem pracy. Wskaźnik częstości wypadków śmiertelnych w dużych firmach zatrudniających więcej niż 500 pracowników wynosił aż 0,25%. Najkorzystniejszy wskaźnik uzyskały firmy zatrudniające od 26 do 50 pracowników i wynosił on 0,13%,

- wskaźnik wypadkowości, dla nominalnych godzin pracy, wśród doświadczonych pracowników zatrudnionych od 5 do 10 lat był równie wysoki jak wśród młodych pracowników zatrudnionych od 4 do 12 miesięcy.

Jedną z przyczyn wypadków przy pracy jest stres wywołany przez negatywne bodźce psychiczne lub fizyczne, które prowadzą do zaburzeń czynnościowych. Zakłócenia równowagi między możliwościami człowieka, a wymaganiami otoczenia zwiększają podatność człowieka na uleganie wypadkom. Np. w Hong Kongu, praca w budownictwie uznawana jest za jeden z najbardziej niebezpiecznych zawodów. Leung i in. (2012) wykazali, że w środowisku pracy pracowników budowlanych występują takie stresory organizacyjne jak: niesprawiedliwe traktowanie pracowników, niesprawiedliwy system nagradzania, niewłaściwe urządzenia zabezpieczające, niewłaściwy sposób prowadzenia szkoleń, obniżone standardy środowiska fizycznego, sytuacje wywołujące stres emocjonalny oraz fizyczny. Badania nad stresem, którego doświadczają pracownicy budowlani i jego relacji z występującymi urazami prowadzili Abbe i in. (2011). Autorzy wykazali istotny związek między występowaniem urazów wśród pracowników budowlanych a: kontrolą pracy, odbywaniem przez pracowników szkoleń w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, a także spełnieniem wymogów bezpieczeństwa.

Stresory zawodowe mają wpływ na bezpieczeństwo pracy i powinny być traktowane jako dodatkowy element, który przyczynia się do wypadków przy pracy. Według autorów Chan i in. (2016) prawie 70 % specjalistów w branży budowlanej cierpi z powodu stresu, lęku lub depresji w wyniku wykonywanej pracy. Głównymi stresorami w pracy są złe warunki pracy, skomplikowane relacje, złożoność i napiętość harmonogramu oraz presja czasu. Stan psychiczny specjalistów budowlanych ma bezpośredni wpływ na ich zdrowie fizyczne, wywołuje migreny, zaburzenia żołądkowo-jelitowe, problemy skórne i zaburzenia snu. Ma to istotny wpływ na efektywność pracy, wyniki finansowe, wypadki przy pracy i liczbę dni niezdolności do pracy.

### **2.2.3 Wydarzenia powodujące wypadki w budownictwie**

Jak wynika z opracowania Zakładu Ubezpieczeń Społecznych (2012), dotyczącego analizy przyczyn i skutków wypadków przy pracy, w Polsce najczęstszym wydarzeniem niezgodnym z właściwym przebiegiem procesu pracy, które wywołało wypadek było: poślizgnięcie lub potknięcie się oraz upadek osoby na tym samym poziomie.

Haslam i in. (2005) na podstawie 100 wypadków budowlanych, które miały miejsce w Wielkiej Brytanii stwierdzili, że najczęstszymi wydarzeniami powodującymi wypadek pracowników był upadek z wysokości (24%), a następnie uderzenie przez poruszający się lub spadający obiekt (22%). W wyniku podnoszenia i przenoszenia dużych mas uszkodzonych zostało 19% osób. Analiza wypadków wskazała również przyczyny wynikające z:

- błędów w zarządzaniu ryzykiem, które wystąpiło w 84% badanych wypadków,
- nieprawidłowej ogólnej organizacji pracy pracowników oraz zespołów roboczych (70%),
- niewłaściwego wyposażenia w sprzęt pracowników, w tym w środki ochrony indywidualnej (56%),
- niewłaściwej organizacji stanowisk pracy (49%),
- wad lub nieodpowiedniego stanu materiałów lub wyrobów budowlanych (27%).

Przedmiotem badań Chi i in. (2013) były relacje między wypadkami, które zdarzyły się w budownictwie Stanów Zjednoczonych a wyrządzonymi przez nie szkodami, jak: rodzaj, umiejscowienie oraz ciężkość urazu. Z publikowanych danych statystycznych wynika, że w 2010 roku 4 spośród 100 pełnoetatowych pracowników uległo wypadkowi. Przy liczbie zatrudnionych 5,5 mln stanowi to 220 tysięcy osób. W pracy, analizie poddano 9 358 wypadków przy pracy. Otrzymane wyniki potwierdziły, że wypadki przy pracy zdarzają się najczęściej w wyniku: upadku z wysokości lub na tym samym poziomie (43,9%), uderzenia przez obiekt znajdujący się w ruchu (25,7%), uwięzienia pod lub zmiążdżenia (10,0%), porażenia prądem (6,1%). Najczęstszymi urazami są złamania kończyn (35,3%), a najbardziej narażoną na uraz częścią ciała jest głowa (16,3%).

Identyfikacja wydarzenia niezgodnego z właściwym przebiegiem procesu pracy, które najczęściej wywołuje wypadek śmiertelny była również przedmiotem badań Lin i in. (2011). Dane do badań pochodziły ze zbiorów Rady do Spraw Pracy Tajwanu (*Council of Labor Affairs*). Analizie poddano 1 062 wypadków przy pracy, które miały miejsce na budowach w Tajwanie w latach 1996-2007. Badania wskazały, że najczęstszym wydarzeniem prowadzącym do wypadku był upadek z wysokości. 30% osób (315 ofiar) zostało poszkodowanych w wyniku upadku z rusztowania, a 12,1% (128 osób) w wyniku upadku z konstrukcji dachu podczas prac dekarских. Według autorów, największa śmiertelność występowała wśród pracowników w wieku 34-44 lat (co jest porównywalne z wynikami uzyskanymi przez Camino López i in. 2008; López Arquillos i in. 2012). Wysoki wskaźnik śmiertelności odnotowano wśród młodych i niedoświadczonych pracowników, którzy zatrudnieni byli u danego pracodawcy do roku czasu (López Arquillos i in. 2012). Uzyskane wyniki badań wskazują, że najbardziej wypadkogennym wydarzeniem niezgodnym z właściwym przebiegiem procesu pracy jest upadek osoby z wysokości.

Również w krajowej literaturze aspekt bezpiecznej i bezwypadkowej pracy na wysokości oraz stosowanych środków ochrony przez upadkiem z wysokości poruszany jest przez wielu autorów (Dąbrowski, 2004; Dąbrowski, 2005; Kaczyński, 2010; Baszczyński i Jachowicz, 2012; Baszczyński, 2013; Drozd i Kowalik, 2014). Największa liczba upadków z wysokości powodowana jest niewłaściwą statecznością, wytrzymałością, ukrytymi wadami oraz niewłaściwym użytkowaniem czynnika materialnego. Przykładowo Dąbrowski (2004) zwraca uwagę na dużą liczbę wypadków związanych ze stosowaniem niewłaściwego środka ochrony zbiorowej jakim jest urządzenie zabezpieczające lub jego brak. Upadki z wysokości są skutkiem niewłaściwej organizacji pracy wynikającej m.in. z tolerowania przez nadzór odstępstw od zasad bezpieczeństwa pracy, nieodpowiedniej organizacji przejść i dojść do stanowiska pracy, braku nadzoru. Drozd i Kowalik (2014) wskazują na obowiązek zapewnienia przez kierownika budowy odpowiednich środków ochrony, które mają za zadanie zagwarantować bezpieczne warunki pracy. Autorzy dokonują przeglądu obecnie dostępnych na rynku budowlanym nowoczesnych systemów chroniących pracowników budowlanych przed upadkiem z wysokości.

Drugim, zaraz po upadku z wysokości, wydarzeniem powodującym śmierć pracownika jest uderzenie spadającym elementem. Camino López i in. (2008) poddali analizie 499 wypadków, w których zagrożeniem były spadające czynniki materialne. Czynniki te zaklasyfikowano do 14 kategorii. Najliczniejszą grupę stanowiły belki i słupy, które wystąpiły w 65 wypadkach, następnie duży sprzęt mechaniczny (64 wypadki) i rury (53 wypadki).



Najbardziej niebezpieczną operacją było podnoszenie czynnika materialnego, np. belki słupa, co stanowiło 41% przypadków. Analiza dostępnych danych pozwoliła zauważyć, że w 66% zdarzeń można było uniknąć wypadku poprzez wdrożenie działań prewencyjnych.

#### **2.2.4 Wypadkowość w krajach rozwijających się**

W krajach rozwiniętych, wiele firm, stosuje politykę „zero wypadków”. Inaczej wygląda sytuacja w krajach rozwijających się, jak np. Uganda, Ghana, Tanzania. W tych krajach brak jest wystarczającej wiedzy i doświadczenia na temat przeciwdziałania wypadkom, ponieważ nie ma odpowiednich procedur, zasad identyfikacji zagrożeń i wprowadzania działań prewencyjnych. W wielu krajach nie istnieje system rejestracji wypadków, a także brak jest instytucji zajmujących się bezpieczeństwem pracowników w pracy.

Określenie przyczyn 90 wypadków śmiertelnych, które miały miejsce podczas budów w Bangladeszu było celem badań przeprowadzonych przez Saiful'a i in. (2017). W przypadku 62 zdarzeń głównym wydarzeniem powodującym śmierć pracownika były upadki z wysokości, które stanowiły 68,89% wszystkich badanych wypadków. Najczęściej do upadku dochodziło podczas: montażu konstrukcji stalowych (33,22%), betonowania stropów (6,67%) oraz tynkowania lub malowania ścian zewnętrznych (10,00%). Bezpośrednią przyczyną tych zdarzeń był brak zabezpieczeń krawędzi, otworów, pionów komunikacyjnych (10,00%) lub niedyspozycja pracownika (10,00%). Pozostałymi przyczynami wypadków było porażenie prądem (11,11%), przewrócenie się konstrukcji rusztowania (6,67%), wyrzut gazów (5,56%), zmęczenie pracownika (4,44%) oraz przygnięcie pracownika w trakcie usuwania deskowań (3,33%). W pracy określono zależności pomiędzy liczbą wypadków śmiertelnych, a wiekiem poszkodowanego oraz wysokością z jakiej spadają poszkodowani. Najbardziej narażonymi na wypadki pracownikami były osoby w przedziale wiekowym od 26 do 41 lat. Stanowili oni 68% poszkodowanych. Największa częstotliwość śmiertelnych upadków nastąpiła w wyniku upadku z wysokości od 6-go do 10-go poziomu konstrukcji (62%).

Dostępne dane statystyczne dotyczące wypadków w krajach afrykańskich (Republika Południowej Afryki, Ghana, Tanzania, Uganda) wskazują również wyższe wskaźniki śmiertelności niż w krajach rozwiniętych. Liczba wypadków z winy pracodawcy w Ugandzie jest dużo wyższa niż w wyniku błędów popełnianych przez pracowników. Nieprawidłowości wynikają z nieodpowiedniego nadzoru nad projektem, zatrudnianiu niewykwalifikowanych brygad roboczych, stosowaniu nieodpowiednich technik budowlanych. Najczęstszymi przyczynami wypadków jest zawalenie konstrukcji w trakcie budowy, upadek pracownika z wysokości, uderzenie przez poruszający się pojazd, stan techniczny rusztowań, a także brak doświadczenia, uprawnień i szkoleń osób operujących urządzeniami budowlanymi. Główne wnioski z badań prowadzonych przez Irumba (2014), mające na celu polepszenie warunków bezpieczeństwa w krajach rozwijających się, wskazują na:

- potrzebę opracowania standardów użytkowania indywidualnych jak i zbiorowych środków ochrony zdrowia,
- potrzebę uregulowania czasu pracy pracowników, wprowadzenie dodatkowego warunku zatwierdzenia dokumentacji budowy, którym jest opracowanie oceny ryzyka bezpieczeństwa na placu budowy,

- uregulowanie przepisów związanych z konserwacją sprzętu budowlanego. Nieprawidłowa dbałość o sprzęt budowlany jest jedną z występujących przyczyn wypadków w tych krajach.

Naukowcy indyjscy (Guha i Biswas, 2013) zauważyli, że fakt istnienia uregulowań prawnych, norm technicznych i przepisów nie jest wystarczający aby poprawić stan bezpieczeństwa w kraju. Konieczne jest bowiem wypełnianie zawartych w nich wymagań. Niestety w budownictwie indyjskim obowiązujące wymagania nie są przestrzegane.

Priyadarshani i in. (2013) wskazali, że brak zaangażowania kierownictwa i zaniedbania osób odpowiedzialnych za bezpieczeństwo na placu budowy są głównymi przyczynami wypadków przy pracy w Sri Lance. Podczas realizacji projektów budowlanych, aspekt bezpieczeństwa pracy zwykle znajduje się na drugim planie, ponieważ głównym problemem jest ukończenie projektów zgodnie z założonym planem i budżetem. Poprawa stanu bezpieczeństwa następuje dopiero po wystąpieniu wypadku na budowie. Według Międzynarodowej Organizacji Pracy w Sri Lance jeden na sześć wypadków przy pracy oraz 25 z 40 zgonów ma miejsce na budowie z powodu zaniedbań ze strony kierownictwa, niedbalstwa i lekkomyślności pracowników.

### 2.2.5 Ocena ryzyka zawodowego

Z każdym stanowiskiem pracy związane jest ryzyko zawodowe. Zgodnie z *Ustawą z dnia 27 czerwca 1997 r. o służbie medycyny pracy* (Dz.U. 1997 nr 96 poz. 593) (U2) ryzyko zawodowe to „możliwość wystąpienia niepożądanych, związanych z wykonywaną pracą zdarzeń powodujących straty, w szczególności niekorzystnych skutków zdrowotnych będących wynikiem zagrożeń zawodowych występujących w środowisku pracy lub związanych ze sposobem wykonywania pracy”. Pracodawca ma obowiązek opracować ocenę ryzyka zawodowego dla każdego stanowiska pracy (*Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy*, (Dz.U. 1974 nr 24 poz. 141 z późn. zm.) (U3). Celem oceny ryzyka zawodowego jest zidentyfikowanie potencjalnych źródeł zagrożeń i przeprowadzenie odpowiednich działań korygujących w celu wyeliminowania możliwości powstania wypadku przy pracy (Hoła, 2016).

Istnieje wiele metod i technik badawczych pozwalających na ocenę ryzyka zawodowego. Na każdym etapie oceny ryzyka zawodowego stosuje się inne metody badawcze. Zaproponowana przez Krausego (2011) klasyfikacja metod wyróżnia trzy etapy oceny, a mianowicie: zbieranie informacji potrzebnych do oceny, identyfikacja ryzyka oraz szacowanie ryzyka. Wśród metod stosowanych do szacowania ryzyka zawodowego można wskazać metodę wskaźnika ryzyka (*Risk Score*), metodę analizy bezpieczeństwa pracy (*Job Safety Analysis, JSA*), wstępną analizę zagrożeń (*Preliminary Hazard analysis*) czy też matrycową metodę oceny ryzyka zawodowego.

W rozprawie doktorskiej Drozd (2007) zaproponował nową metodę do szacowania ryzyka zawodowego. Autor przeprowadził analizę zjawisk negatywnie wpływających na ogólny poziom bezpieczeństwa pracy na budowach Krakowa i województwa małopolskiego. Badania przeprowadzono w oparciu o statystyczne karty wypadków, pokontrolne protokoły inspekcji pracy, wywiady i ankiety przeprowadzone wśród właścicieli firm budowlanych. Następnie zbudował model zarządzania bezpieczeństwem pracy, w którym wykorzystał zasady

statystyki matematycznej oraz procedury wielokryterialnej analizy porównawczej. Utworzył zbiór charakterystycznych zagrożeń na placu budowy i opracował charakterystykę budów w kontekście struktury technologiczno-organizacyjnej prowadzonych robót. Dokonał identyfikacji czynników kształtujących koszty ponoszone przez przedsiębiorstwo w związku z występowaniem wypadków przy pracy na placu budowy.

Na początku XXI wieku w krajach Europy Zachodniej (Holandia, Wielka Brytania, Dania) opracowano metodykę mającą na celu zmniejszenie liczby wypadków, które występują na wielu stanowiskach pracy w budownictwie (Bellamy i in., 2007). Zaproponowana metodyka oparta została na analizie ilościowej ryzyka wypadków przy pracy w budownictwie, dominujących przyczyn i głównych zagrożeń. Opracowano system do oszacowania wielkości ryzyka zawodowego i przewidywania jak poszczególne środki ochronne zmniejszyłyby liczbę wypadków w celu umożliwienia ich późniejszego wdrożenia. W projekcie wzięto pod wagę wszystkie wypadki jakie miały miejsce między 1 stycznia 1998 roku, a 28 lutego 2004 roku. W tym okresie czasu zaistniało 22 982 wypadków, dla których 9 142 wypadków posiadało pełną dokumentację sprawozdawczą – te wypadki poddano analizie (Bellamy i in., 2007, 2008; Ale, 2008). W wyniku przeprowadzonych analiz otrzymano informacje o niebezpiecznych zdarzeniach najczęściej występujących w budownictwie. Są to:

- kontakt uszkodzonego z poruszającymi się, rotującymi częściami maszyn,
- upadek uszkodzonego z wysokości,
- upadek uszkodzonego z drabiny,
- uderzenie uszkodzonego przez spadający przedmiot,
- kolizja uszkodzonego z poruszającym się obiektem,
- upadek uszkodzonego z rusztowania.

### **2.3 Modele stosowane w analizie wypadków przy pracy i wypadkowości**

Zrozumienie mechanizmów powstawania wypadków przy pracy jest pierwszym krokiem w procesie zapobiegania wypadkom i poprawy bezpieczeństwa w miejscu pracy. W tym celu prowadzone są szczegółowe analizy okoliczności, przyczyn i przebiegu wypadków przy pracy, które są podstawą budowy różnych modeli.

Według Glinkowskiej (2010) model to „uproszczone wyobrażenie lub odwzorowanie rzeczywistości prezentujące strukturę, cechy, funkcjonowanie istniejącego lub projektowanego obiektu dostarczające informacji umożliwiających jego poznanie”. Słownik Języka Polskiego wydany przez Wydawnictwo Naukowe PWN (2016) definiuje model jako „schemat lub opis ukazujący działanie, budowę, cechy, zależności jakiegoś zjawiska lub obiektu”. Modele odwzorowują najistotniejsze czynniki i elementy odwzorowanej rzeczywistości. Modele tworzone są w celu:

- poznania badanego zjawiska,
- wyjaśnienia zależności przyczynowo-skutkowych badanej rzeczywistości,
- prezentacji struktury i relacji zachodzących pomiędzy elementami,
- odwzorowania funkcjonowania zjawiska.

Modele mogą zostać przedstawione w formie matematycznej, a więc w formie zapisu matematycznego, graficznej w postaci rysunków lub schematów oraz opisowej odwzorowując



zjawisko w sposób słowny. Modelowanie procesów może mieć charakter statyczny bądź dynamiczny. W modelach statycznych czas jest wielkością stałą i nie uwzględnia się jego upływu, natomiast w modelach dynamicznych uwzględnia się zjawisko upływu czasu.

W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele różnorodnych modeli wypadków, które na przestrzeni lat proponowali kolejni badacze. Ich głównym celem było opracowanie, najbardziej zbliżonego do rzeczywistości, modelu przebiegu wypadku, który pozwoliłby na zidentyfikowanie źródła wypadku. Od tworzonoego modelu oczekuje się uzyskania odpowiedzi na pytania: „dlaczego?” i „jak?” dochodzi do wypadku. Uzyskanie odpowiedzi na te pytania ma umożliwić prowadzenie odpowiednich działań prewencyjnych skutkujących zmniejszeniem liczby wypadków.

Wyróżnić można modele: opisujące mechanizmy powstawania wypadków, charakteryzujące wypadki, klasyfikujące przyczyny wypadków lub analizujące zachowania człowieka w obliczu zagrożenia. Poszczególne modele wypadków, mimo różniącego je podejścia do badanego zagadnienia, wykazują cechy wspólne, dzięki czemu możliwa jest ich klasyfikacja.

### 2.3.1 Klasyfikacja modeli wypadków

Lehto i Salvenda (1991) na podstawie analizy ponad 50 różnych modeli wypadków przy pracy zaproponowali ich podział na trzy grupy, a mianowicie:

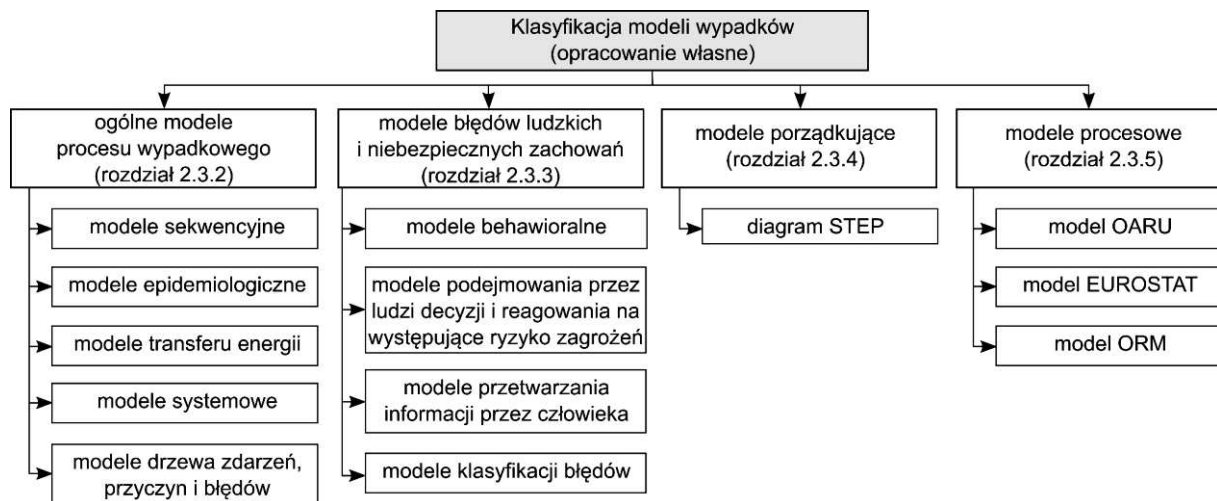
- ogólne modele procesu wypadkowego (*general models of the accident proces*), obejmujące: modele sekwencyjne (*sequential models*), modele epidemiologiczne (*epidemiological models*), modele transferu energii (*energy transfer models*), modele systemowe (*systems models*),
- modele błędów ludzkich i niebezpiecznych zachowań (*models od human error and unsafe behavior*), obejmujące: modele behawioralne (*behavioral accident models*), modele podejmowania przez ludzi decyzji i reagowania na występujące ryzyko zagrożeń (*human decision making models*), modele przetwarzania informacji przez człowieka (*human information processing models*), modele klasyfikacji błędów (*human error taxonomies*),
- modele przedstawiające mechanizmy powstawania urazu u człowieka (*models of the mechanism of human injury*).

Hughes i in. (2015) proponują podział modeli na 7 głównych grup, a mianowicie:

- modele komponentów (*component models*),
- modele sekwencyjne (*sequence models*),
- modele interwencji (*intervention models*),
- modele matematyczne (*mathematical models*),
- modele procesowe (*process models*),
- modele bezpiecznego zarządzania (*safety manageent models*),
- modele systemowe (*systems models*).

Przedstawione powyżej klasyfikacje modeli wypadków przy pracy, pomimo przyjętego różnego podziału i niekiedy nazewnictwa, wzajemnie się uzupełniają. W rzeczywistości wiele modeli wypadków zawiera cechy charakterystyczne dla dwóch lub więcej grup, co powoduje

trudność w jednoznacznym ich zakwalifikowaniu. Na rysunku 2.2 przedstawiono szczegółowo omówione w dysertacji modele wypadków.



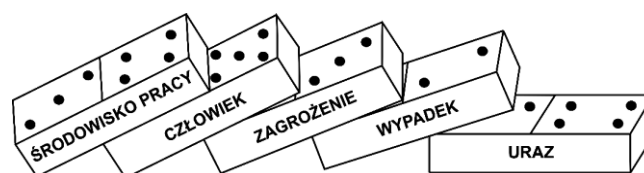
Rys. 2.2 Klasyfikacja modeli wypadków (opracowanie własne)

### 2.3.2 Ogólne modele procesu wypadkowego

#### *Modele sekwencyjne*

Za twórcę pierwszego modelu wypadku, zakwalifikowanego do grupy modeli sekwencyjnych (*sequential model*), uznaje się amerykańskiego pioniera w dziedzinie bezpieczeństwa pracy Heinrich'a. Heinrich (1959) przedstawił model wypadku jako skutek kilku przyczyn, które są konsekwencją pojawiających się kolejnych zdarzeń. Autor po przeanalizowaniu około 75 000 wypadków zaproponował tzw. model domina (*Heinrich's domino theory*), w którym skoncentrował się na brakach w ludzkich zachowaniach (Behm i Schneller, 2013). Model domina zakłada występowanie różnych nieprawidłowości w ludzkich postępowaniach, które poprzedzone występującymi w otoczeniu czynnikami społecznymi i środowiskowymi, wpływają na człowieka i mogą doprowadzić do niebezpiecznych sytuacji, zdarzeń oraz wypadków (Suraji i in. 2001).

Według Heinrich'a, wypadek jest sekwencją pięciu czynników: środowiska pracy (*social environment*), człowieka (*fault of person*), zagrożenia (*unsafe act*), wypadku (*accident*) oraz urazu (*injury*). Model domina przedstawiono na rysunku 2.3.



Rys. 2.3 Model Domina (Heinrich 1959)

Przewracające się na siebie kolejne kostki domina tworzą łańcuch zdarzeń prowadzących do wypadku powodując obrażenia u pracownika. Uraz jest skutkiem kolejno po sobie występujących zdarzeń, z których każde jest skutkiem zdarzenia poprzedniego i zarazem

przyczyną zdarzenia przyszłego. Wypadek powstaje wtedy kiedy w środowisku pracy występują zagrożenia, powstające w wyniku nieprawidłowości w środowisku i niewłaściwych działań człowieka. Zdarzenia tworzą ciąg przyczynowo-skutkowy prowadzący do wypadku (Chi i Han, 2013; Pietrzak, 2002a).

Późniejsi badacze, bazując na modelu Heinrich'a, dokonywali w nim zmian i modyfikacji. Zaproponowany przez amerykańskiego badacza Bird'a (1974) zmodyfikowany model domina (*updated Heinrich's domino theory*) zakładał, dodatkowy element, leżący u podstaw powstania związku przyczynowo-skutkowego, którym jest zarządzanie oraz aspekty organizacyjne. W modelu wyróżnił następujące czynniki:

- strukturę zarządzania (*management structures*), obejmującą: planowanie, organizację, kierowanie, kontrolę,
- błędy operacyjne (pośrednie) (*operational errors*), obejmujące: postępowanie kierownictwa i nadzoru,
- błędy w działaniu (bezpośrednie) (*tactical errors*), obejmujące: postępowanie i zachowanie pracowników oraz warunki pracy,
- wypadek (*accident*),
- uraz (*injury*).

Pierwszy element w modelu zaproponowanym przez Bird'a związany jest z głównymi funkcjami zarządzania, tj. planowaniem, organizacją, kierowaniem i kontrolą. Zakres ten obejmuje m.in. analizę środowiska pracy, warunków pracy, prowadzenie szkoleń dla pracowników, a także badanie wypadków. Braki w zarządzaniu i organizacji, m.in. brak opracowanych programów szkoleń, norm postępowania, procedur, działań naprawczych oraz nieprawidłowości, inicjują proces prowadzący do wypadku.

Drugim elementem modelu są występujące błędy operacyjne, czyli podstawowe przyczyny pośrednie, które zostały podzielone na dwie grupy: ludzkie - związane z brakiem wiedzy lub umiejętności, niewłaściwej motywacji, problemami fizycznymi lub psychicznymi pracownika oraz techniczne - związane z organizacją pracy, np. nieodpowiednie standardy pracy, nieprawidłowości w organizacji stanowisk pracy.

Występujące w łańcuchu pośrednie przyczyny mogą zainicjować dalszą reakcję łańcuchową, a więc wystąpienie bezpośrednich przyczyn, będących tylko konsekwencją występującego problemu. Przyczyny bezpośrednie powodują powstanie sytuacji niebezpiecznej, która w bezpośrednim kontakcie z pracownikiem może przekształcić się w kolejny element procesu, czyli wypadek.

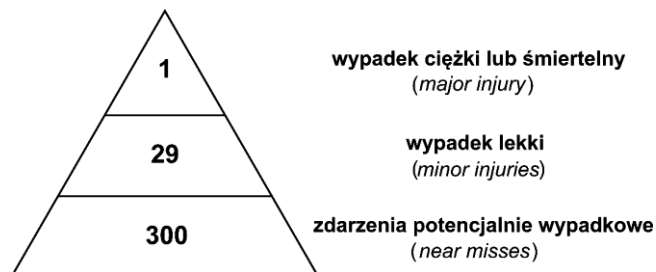
Wypadek jest wynikiem niebezpiecznych czynności i niebezpiecznych warunków, które doprowadzają do urazu, czyli uszkodzenia tkanki ciała, choroby psychicznej i neurologicznej lub strat materialnych (Behm i Schneller, 2013; Suraji i in., 2001).

Bird (1974) przeprowadził analizę ponad 1 753 498 wypadków mających miejsce w 297 firmach amerykańskich, które reprezentowały 21 różnych grup przemysłowych. Badania wykazały występowanie stałej proporcji między różnymi skutkami wypadków. Na 630 zdarzeń bez urazowych, przypadało 30 zdarzeń powodujących straty materialne, 10 wypadków z drobnymi urazami i 1 z poważnymi urazami. Zależności te przedstawiono na rysunku 2.4.



Rys. 2.4 Trójkąt Bird (1974)

Podobne badania przeprowadził wcześniej Hienrich (1959), który uzyskał proporcje między wypadkami o różnych skutkach przedstawione na rysunku 2.5. Według badań Heinricha na każdy jeden ciężki lub śmiertelny wypadek przypada 29 wypadków lekkich oraz 300 wypadków bez urazu czyli tzw. zdarzeń potencjalnie wypadkowych.



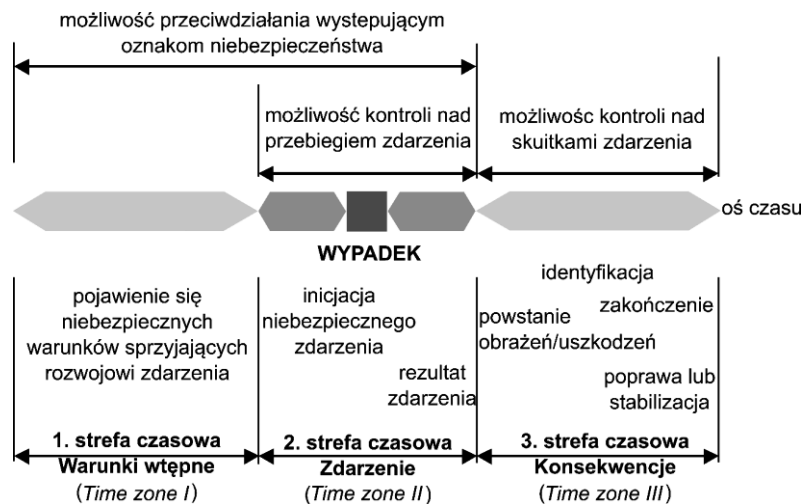
Rys. 2.5 Trójkąt Heinrich (1959)

Inny model, również bazujący na teorii domina, stworzył L. Benner (1975). Model Benner'a uzupełniony został o następujące elementy, które nie zostały uwzględnione w modelu domina:

- zdefiniowanie ram czasowych wypadku: określenie początku i końca,
- przedstawienie zdarzeń na osi czasu,
- usystematyzowanie określeń czynników występujących w procesie.

W modelu przyjęto, że momentem początkującym proces wypadkowy jest zaburzenie w układzie współdziałania człowieka z maszyną, powodujące zachwianie równowagi między wymaganiami postawionymi w celu wykonania zadań, a możliwościami pracowników. W przebiegu wypadku, Benner wyróżnił trzy strefy czasowe, które przedstawiono na rysunku 2.6.

W pierwszej strefie czasowej (*Time zone I*) istnieje możliwość zapobiegania zajściu niebezpiecznego zdarzenia i uniknięcia kontaktu człowieka z maszyną. Druga strefa czasowa obejmuje czas pomiędzy rozpoczęciem czynności, a zdarzeniem. Pozwala ona na ostrzeżenie o zbliżającym się niebezpieczeństwie i umożliwia podjęcie kroków w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia (*Time zone II*). Występujące zakłócenia zmieniają sytuację normalną na sytuację trudną, związaną ze stawianymi podwyższonymi wymaganiami. Jeżeli zakłócenia nie zostaną odpowiednio zniwelowane, wówczas powstaje możliwość wystąpienia wypadku. Wypadek przechodzi w trzecią strefę czasową (*Time zone III*). W tej strefie istnieje już tylko możliwość wpływu na skutki zdarzenia. Brak jest natomiast możliwości jego uniknięcia.



Rys. 2.6 Model Benner'a (1975)

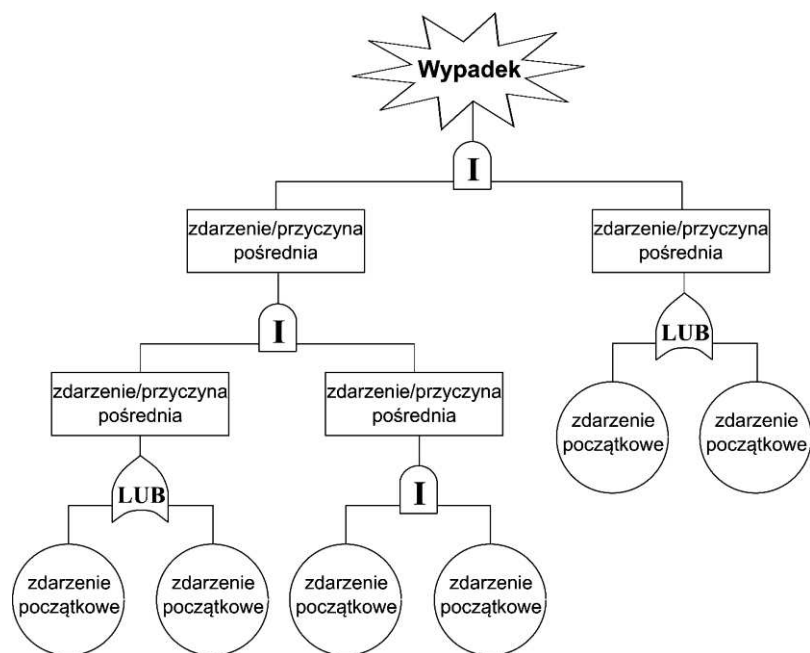
### ***Drzewa zdarzeń, przyczyn i błędów***

W odróżnieniu od modeli domina, które przedstawiają pojedynczy łańcuch zdarzeń, wyróżnia się również wieloliniowe i rozgałęzione łańcuchy zdarzeń wypadkowych przedstawione za pomocą drzewa: zdarzeń, przyczyn i błędów (*tree models: event trees, cause trees, fault trees*).

Drzewo zdarzeń (*event trees*) przedstawia proces wypadkowy jako ciąg, rozpoczynający się od zdarzenia inicjującego proces wypadkowy, przebiegający przez kolejne rozgałęzienia łańcuchów, aż do zestawu zdarzeń końcowych. Jest ono graficznym przedstawieniem możliwych sekwencji zdarzeń, będących skutkiem wystąpienia zdarzenia początkowego. Nazwa metoda drzewa zdarzeń odzwierciedla graficzną prezentację wyników w postaci scenariuszy zdarzeń rozrastających się jak drzewo. W schemacie stosowane są graficzne elementy koniunkcji i alternatywy, które determinują przebieg procesu. Element logiczny „I” stanowi koniunkcję, tzn. zdarzenie następujące może nastąpić wtedy i tylko wtedy, gdy w analizowanym procesie wystąpią wszystkie człony poprzedzające. Element typu „LUB” stanowi alternatywę, tzn. zdarzenie następujące może wystąpić pod warunkiem wystąpienia w analizowanym procesie co najmniej jednego ze zdarzeń poprzedzających. Idea drzewa zdarzeń została przedstawiona na rysunku 2.7.

Idea drzewa przyczyn (*cause trees*) oraz drzewa błędów (*fault trees*) odwraca logikę przebiegu zdarzeń w drzewie. Modele te zaczynają się od wypadku i umożliwiają prześledzenie wszystkich możliwych kombinacji przyczyn lub nieprawidłowości, które mogły doprowadzić do zdarzenia (Studenski, 1996).

Metoda drzewa błędów (*fault tree analysis – FTA*) oparta jest na modelu drzewa przyczyn wypadku, które przedstawia kombinacje i wzajemne zależności między błędami, nieprawidłowościami lub awariami występującymi w środowisku pracy, które mogą doprowadzić do wypadku przy pracy.



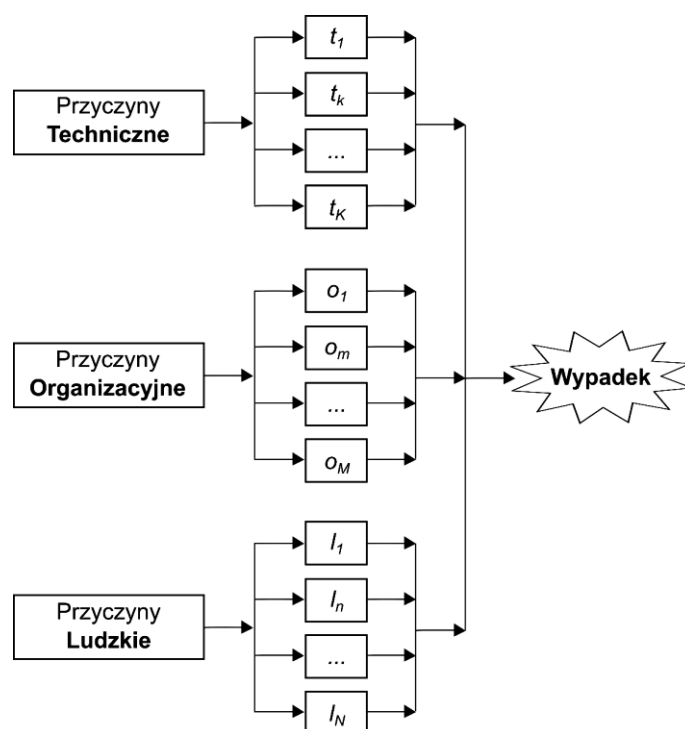
Rys. 2.7 Diagram drzewa błędów (opracowanie własne)

Obecne badania (Chi i in., 2014) wykorzystujące analizę drzewa błędów klasyfikują przyczyny wypadków (błędy, nieprawidłowości) na trzy kategorie: niebezpieczne zachowanie (m.in. niewłaściwe stosowanie i użycie środków ochrony indywidualnej), niebezpieczne maszyny i narzędzia (m.in. drabiny, narzędzia, uszkodzenia mechaniczne), niebezpieczne środowisko (m.in. agresywne środowisko, niestosowanie środków ochrony zbiorowej). Znane są również inne klasyfikacje przyczyn wypadków. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych klasyfikacji w Polsce bazuje na metodzie TOL (Hansen, 1988, 1992; Pietrzak, 2007). W metodzie założono, że każdy wypadek przy pracy spowodowany jest co najmniej kilkoma przyczynami i wywołuje określone urazy w organizmie osoby poszkodowanej. Każdy wypadek jest wynikiem składowych trzech rodzajów przyczyn:

- technicznych (T), jak: niewłaściwy stan czynnika materialnego, wady konstrukcyjne czynnika materialnego będącego źródłem zagrożenia, niewłaściwe wykonanie czynnika materialnego, niewłaściwa eksploatacja czynnika materialnego,
- organizacyjnych (O), jak: niewłaściwa ogólna organizacja pracy oraz stanowiska pracy,
- ludzkich (L), jak: brak lub niewłaściwe posługiwanie się czynnikiem materialnym przez pracownika, nieużywanie sprzętu ochotnego przez pracownika, niewłaściwe samowolne zachowanie się pracownika, stan psychofizyczny pracownika, nie zapewniający bezpiecznego wykonywania pracy, nieprawidłowe zachowanie się pracownika.

Schemat klasyfikacji przyczyn wypadków wg metody TOL przedstawiono na rysunku 2.8.





Rys. 2.8 Schemat postępowania metody TOL (opracowanie własne)

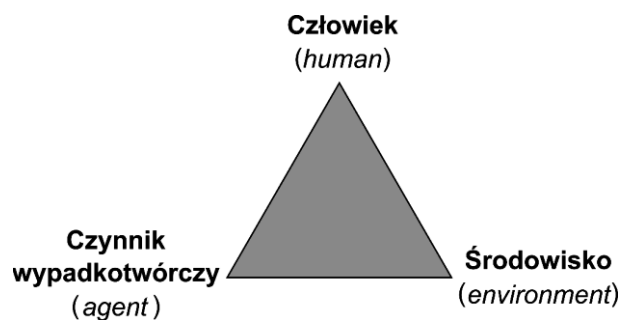
Analiza Drzewa błędów, wraz z techniką eksploracji danych (*data mining*), wykorzystywana jest coraz częściej jako skuteczne narzędzie do wielowymiarowej analizy przebiegu procesu wypadkowego. W technice eksploracji danych zbiór informacji o wypadkach jest przeszukiwany w celu odkrycia niewidocznych dla człowieka zgromadzonych danych. Technikę tę wykorzystano w analizie wypadków przy pracy dekarzy (Mistikoglu i in., 2015).

### ***Modele epidemiologiczne***

Modele epidemiologiczne (*epidemiological model*) tworzą zorganizowaną strukturę czynników, które mają wpływ na wystąpienie wypadków. Gordon (1949) jako pierwszy zaproponował podział czynników mających wpływ na powstawanie wypadków na trzy główne grupy:

- człowiek (*host*) - uszkodzony, np. wiek, płeć, rasa, podatność genetyczna,
- czynnik wypadkotwórczy (*agent*), np. obciążenie psychiczne, stres, wybuch, ogień, dym,
- środowisko (*environment*) - otoczenie wypadku, np. środowisko fizyczne, biologiczne, społeczno-gospodarcze.

Aby zapobiec wypadkowi wystarczająca jest poprawa co najmniej jednego czynnika przedstawionego na rysunku 2.9. Poprawę można osiągnąć poprzez minimalizację emisji zagrożenia w otoczeniu lub poprzez usunięcie albo zmodyfikowanie linii łączącej przeciwległe naroża trójkąta, np. poprzez zamocowanie barier ochronnych chroniących pracownika przed kontaktem z czynnikiem niebezpiecznym.



Rys. 2.9 Model epidemiologiczny (opracowanie własne)

Modele epidemiologiczne wykorzystywane są najczęściej przy organizacji i nadawaniu priorytetów dla stosowanych środków bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie. Są to metody prowadzone jedynie w formie opisowej, nie wymagającej przeprowadzania obliczeń analitycznych. Przykładem są dwa modele zaproponowane przez Johnson'a (1973):

- Przemysłowy Model Wypadku (*Industrial Accident Model*),
- Domowy Model Wypadku (*Home Accident Model*).

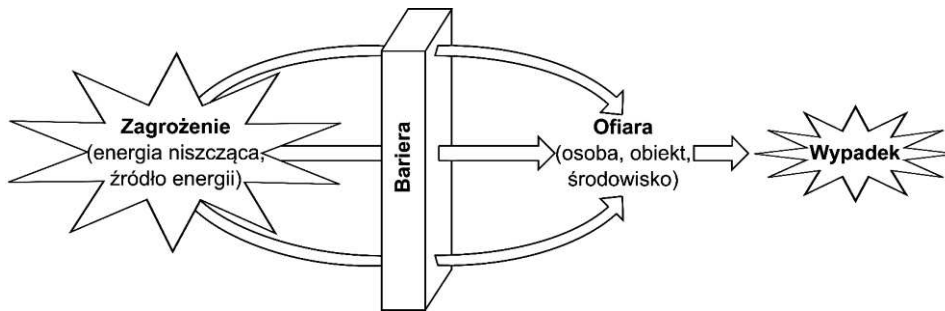
Powyższe modele, w zależności od otoczenia dla jakiego zostały stworzone, łączą w sobie prostotę modelu epidemiologicznego. Prostotę modeli osiąga się poprzez przedstawienie uszkodzonego, środowiska i występujących w otoczeniu zagrożeń (czynników wypadkotwórczych) w powiązaniu z kolejnością występowania tych czynników w procesie wypadkowym. W modelu uwzględnia się czynnik inicjujący proces wypadkowy, czynniki pośrednie i bezpośrednie prowadzące do wypadku oraz jego skutek. W modelu wprowadza się dużą liczbę przyczyn, których identyfikacja przyczynia się do zmniejszania liczby wypadków w otoczeniu, zarówno przemysłowym jak i lokalnym (Lehto i Salvenda, 1991).

### ***Modele transferu energii***

Badanie wypadku z zastosowaniem analizy transferu energii (*Energy transfer theory, Energy-Barrier-Targets model*) opiera się na założeniu, że aby powstał wypadek przy pracy, człowiek musi zostać poddany działaniu energii, występującej w różnej postaci. Może to być energia mechaniczna, np. związana z poruszającymi się elementami maszyn, energia elektryczna lub chemiczna. Energia jest tym wszystkim, co może spowodować uraz u człowieka lub uszkodzenie obiektu lub maszyny (Manu i in., 2012).

Model transferu energii koncentruje się na przekazaniu niekontrolowanej energii ze źródła do ofiary. Model zakłada, że aby doszło do wypadku musi dojść do bezpośredniego kontaktu z zagrożeniem. Aby tego uniknąć na stanowiskach pracy stosuje się różnego rodzaju środki profilaktyczne i bariery, np. stosowane środki ochrony zbiorowej lub indywidualnej. W sytuacji, w której zawiodą stosowane bariery, zgodnie z założeniami modelu, dochodzi do niekontrolowanego uwolnienia energii i w efekcie do wypadku. Schemat modelu przedstawiono na rysunku 2.10.





Rys. 2.10 Energetyczny model wypadku (opracowanie własne)

Pierwszy model transferu energii został opracowany przez Haddon'a (1973). Elementami modelu są źródło energii, bariera ochronna oraz ofiara. Dla takiego modelu Haddon zaproponował 10 podstawowych strategii profilaktycznych polegających na:

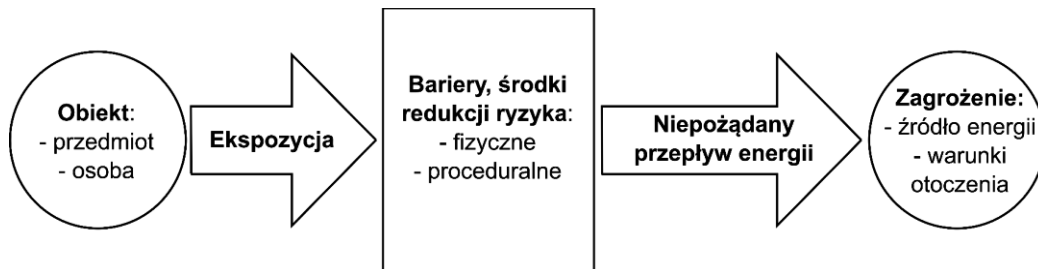
1. zapobieganiu gromadzeniu się energii potencjalnej,
2. zmniejszaniu energii potencjalnej,
3. zapobieganiu uwalnianiu się energii,
4. zmniejszaniu szybkości uwalniania się energii,
5. oddzieleniu pracownika od źródła energii,
6. umieszczeniu bariery pomiędzy źródłem energii, a pracownikiem,
7. absorpcji energii,
8. wzmacnianiu barier, które mogłyby zostać uszkodzone przez transfer energii,
9. szybkim wykrywaniu i przeciwdziałaniu uwalniania się energii,
10. podejmowaniu procedur w celu zmniejszenia szkód.

Przyjęcie podejścia transferu energii i zawodności barier odgradzających człowieka od źródła energii, pozwala na ukierunkowanie badań na źródło zagrożenia oraz szeroko pojęte bariery. Celem badań prowadzonych przez Chua i in. (2004) było zidentyfikowanie: wszystkich możliwych rodzajów energii, które mogą doprowadzić do wypadku, a także stosowanych barier oraz analiza ich zawodności.

Synergia modelu energetycznego z drzewem błędów pozwoliła na stworzenie kompleksowej metody analizy przepływu energii i środków redukcji ryzyka (*Management Oversight and Risk Tree - MORT*). Metoda analizy za pomocą drzewa MORT została opracowana w 1973 roku przez Johnson'a dla Komisji Energii Atomowej Stanów Zjednoczonych (*U.S. Atomic Energy Commission*) w formie procedur do planowania, organizowania i prowadzenia badań wypadków i analizy programów bezpieczeństwa pracy (Johnson 1973). Metoda MORT obejmuje trzy główne gałęzie drzewa logicznego (Mitropoulos i in., 2005, Iraj i in., 2015) dotyczące:

- S (*specific control factors*) – środków jakie zostały podjęte, aby zapewnić bezpieczne warunki pracy oraz wskazać nieprawidłowości i przeoczenia występujące w środowisku pracy. Analiza odpowiada na pytanie: „jak doszło do zdarzenia?”,
- R (*risk*) – czynników związanych ze świadomym podejmowanym ryzyka przez kierownictwo,
- M (*management*) – cech systemu zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy, które przyczyniły się do wystąpienia zdarzenia losowego w przedsiębiorstwie. Odpowiada na pytanie: „dlaczego doszło do zdarzenia?”.

Poruszanie się po drzewie błędów i udzielanie odpowiedzi na pytania stawiane na różnych jego gałęziach i poziomach umożliwia określenie przyczyn powstania wypadku przy pracy oraz stworzenie programu poprawy warunków pracy. Koncepcja wypadku wg metody MORT przedstawiono na rysunku 2.11.



Rys. 2.11 Koncepcja wypadku wg metody MORT (opracowanie własne)

Analiza drzewa MORT umożliwia prześledzenie przepływu energii i zawodności barier oraz poszukiwanie przyczyn ukrytych w elementach systemu zarządzania przedsiębiorstwem (Pietrzak, 2002b). Poprzez analizę MORT identyfikowane są braki w czynnikach kontrolnych i awarie systemów organizacyjnych, które mogą być przyczyną wielu nieprawidłowości, np. niewłaściwej eksploatacji maszyn, niedostatecznej konserwacji, nieodpowiednich szkoleń w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, które mogą powodować wypadki. Użytkownik metody MORT dysponuje analitycznym drzewem logicznym analizy zaniedbań kierownictwa i wynikającego z nich nadmiernego ryzyka. Drzewo przedstawia wzajemne relacje między zagrożeniami, stratami i elementami programu zapewniania bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie (Obolewicz, 2011).

### ***Modele systemowe***

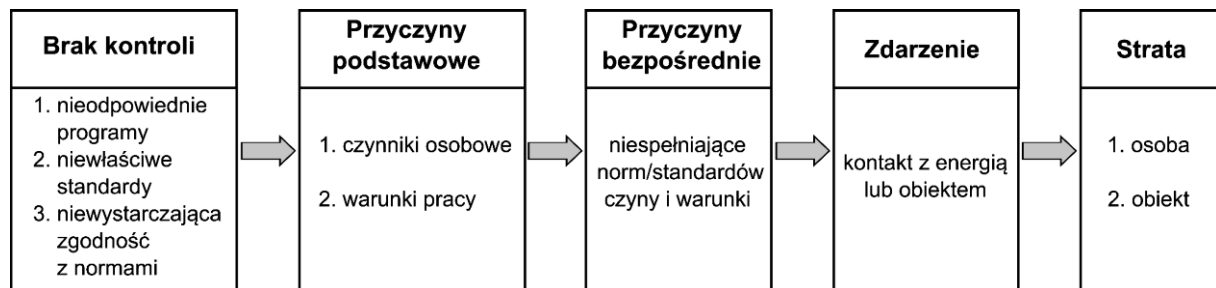
Modele systemowe to modele, które podkreślają istotną rolę organizacji i ich systemów zarządzania. Modele te przedstawiają wypadek jako system produkcyjny, który generuje niebezpieczne sytuacje i kształtuje zachowania pracowników (Mitropoulos i in., 2005). Przedstawiają one wypadki jako zdarzenia powstające na skutek złożonych interakcji między elementami systemu, którymi są: człowiek, maszyna, środowisko, zarządzanie. Zadaniem systemów bezpieczeństwa jest zapobieganie wypadkom, ochrona życia ludzkiego, niedopuszczenie do wystąpienia awarii i szkód materialnych. Bezpieczeństwo to wolność od niedopuszczalnego ryzyka wystąpienia urazów lub pogorszenia się stanu zdrowia człowieka (Zahid, 2007).

Modele systemowe kładą nacisk na analizę popełnianych błędów ludzkich i powstałych awarii maszyn podczas wystąpienia wypadku. Model systemowy składa się z trzech elementów, którymi są: człowiek, maszyna, środowisko. Elementy te są ze sobą wzajemnie powiązane w obszarze zarządzania. Istnieją jednak takie obszary, które funkcjonują niezależnie. W tych obszarach występują usterki oraz błędy. Celem skutecznego planowania zadań pod kątem bezpieczeństwa pracy jest zapobieganie wystąpieniu niemożliwych do przewidzenia błędów ludzkich oraz usterek maszyn podczas wykonywanych prac. Aby zwiększyć zdolność pracowników do uniknięcia popełniania przez nich błędów niezbędne jest

odpowiednie zarządzanie oparte na informacjach o stanowisku pracy, jego otoczeniu oraz ocenie ryzyka zawodowego. Przykładami modeli systemowych są:

- model utraty związku przyczynowego (*loss casuation model*) LCM,
- zmodyfikowany model utraty związku przyczynowego (*modified loss causation model*) MLCM,
- model ograniczenie-odpowiedź (*constraint-response model*) CRM.

Schemat graficzny modelu LCM przedstawiono na rysunku 2.12.



Rys. 2.12 Model LM (Bird, Germain 1996)

### 2.3.3 Modele błędów ludzkich i niebezpiecznych zachowań

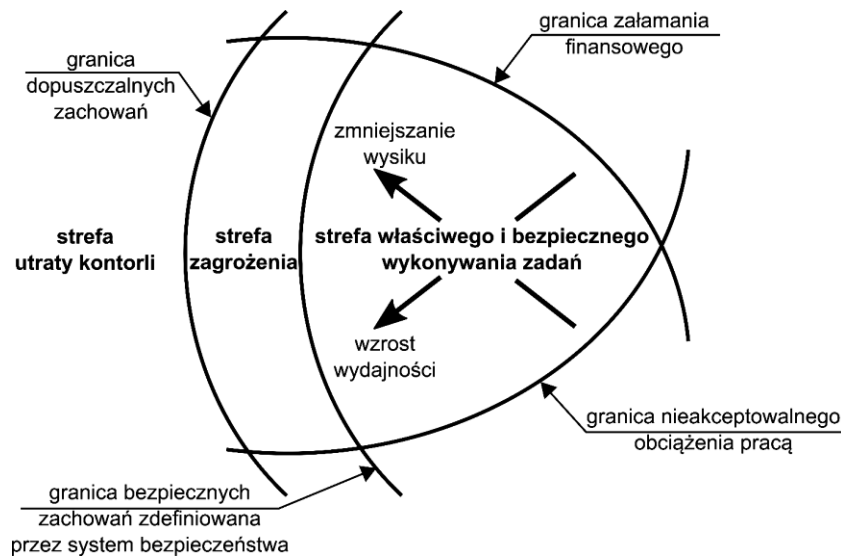
Drugą grupę modeli, według Lehto i Salvendy (1991), stanowią modele dotyczące błędów ludzkich i niebezpiecznych zachowań. Błędy ludzkie są często wymieniane jako główna przyczyna wypadków (Pietrzak, 2002b; Arboleda i Abraham, 2004; Mitropoulos i in., 2005; Camino López i in., 2008, Abbe i in., 2011; Leung i in., 2012; López Arquillos i in., 2012; Perlman i in., 2014; Irumba, 2014; Chan i in., 2016). Błąd ludzki jest to zestaw działań człowieka, które przekraczają pewien ustalony poziom akceptowalności. Jest on odstępstwem od ogólnie przyjętych norm i procedur, a także odchyleniem od stanu normalnego (Rigby, 1970).

Opracowanych zostało wiele modeli zajmujących się ludzkimi i przyczynami wypadku i koncentrujących się na ryzykownych zachowaniach i błędach człowieka, a mianowicie:

- modele behawioralne (*behavioral models*), koncentrujące się na aspektach ludzkiego zachowania i ich związku z wypadkiem,
- modele podejmowania decyzji i reagowania na występujące ryzyko zagrożeń (*human decision making models*),
- modele przetwarzania informacji (*human information processing models*), koncentrujące się na uzyskaniu odpowiedzi dlaczego ludzie popełniają błędy,
- modele klasyfikacji błędów (*error taxonomies*).

Ważnym modelem behawioralnym błędów ludzkich jest model zaproponowany przez duńskiego badacza Rasmussen'a. Rasmussen (1994) skupił się na mechanizmach zachowań człowieka w rzeczywistych i dynamicznych warunkach pracy, a nie na błędach popełnianych przez pracowników w zadaniach i działaniach. Pracownicy wykonując swoje obowiązki znajdują się w środowisku pracy, które kształtowane jest przez różne ograniczenia oraz cele, np.: organizacyjne, techniczne, technologiczne, ekonomiczne, itp. (Haslam i in., 2005). Pracownik porusza się w obrębie tych ograniczeń kierując się często dodatkowymi własnymi

kryteriami, np. związanymi z nakładami pracy, kosztami, ryzykiem, itp. Model zachowania się w pracy (*model of work behavior*) przedstawiono na rysunku 2.13.



Rys. 2.13 Model zachowania się w pracy według Rasmussen'a (1994)

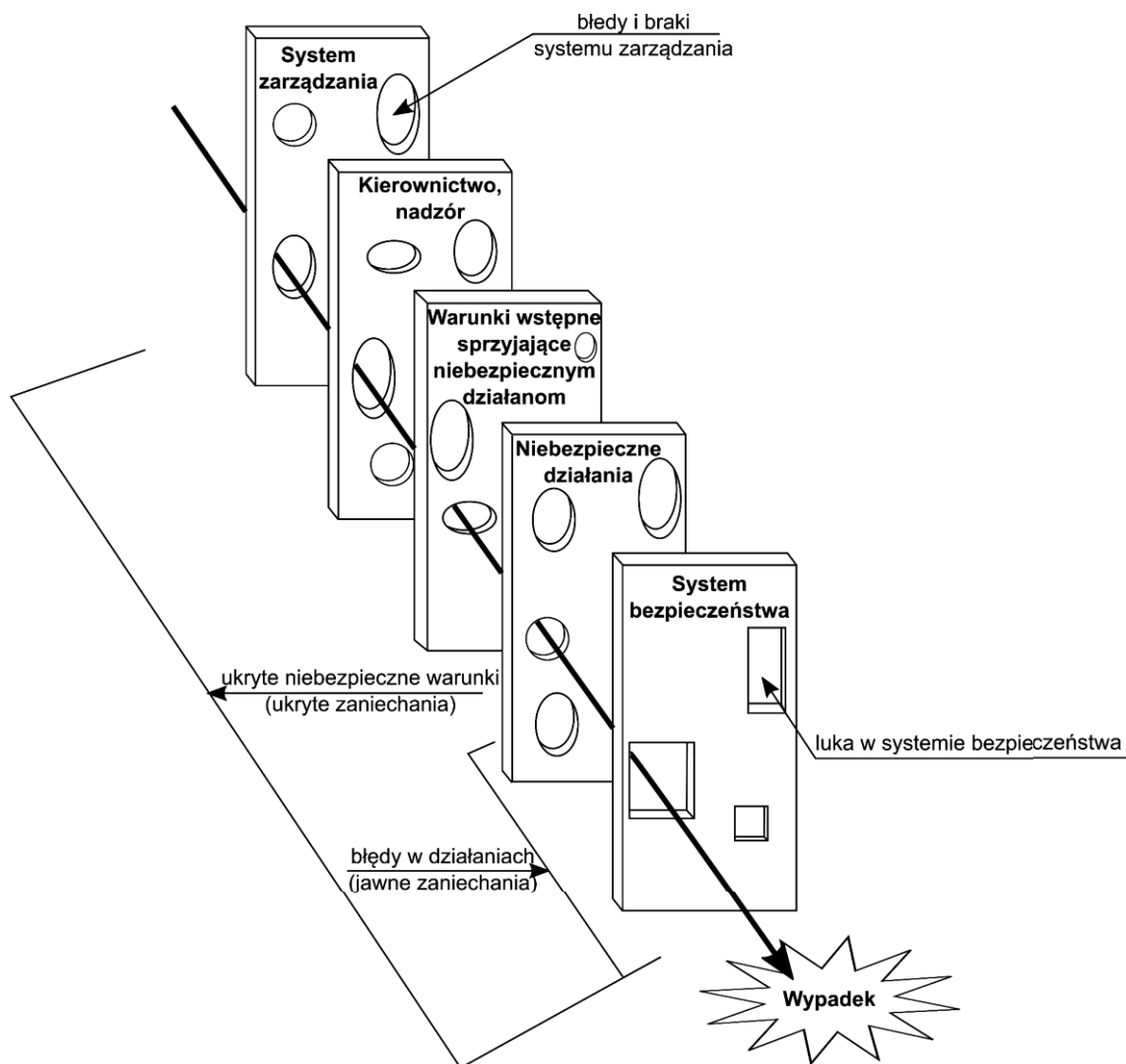
Na rysunku 2.13 przedstawiono w jaki sposób pracownicy poruszają się w obszarze wykonywania swoich zadań. Miejsce, w którym znajduje się pracownik podczas pracy, ulega ciągłym i dynamicznym zmianom. Pożądaną sytuacją jest, aby pracownik znajdował się w obszarze właściwego i bezpiecznego wykonywania zadań. Jednak ze względu na naciski produkcyjne mające na celu zwiększenie wydajności lub skłonność do najmniejszego wysiłku będącą odpowiedzią na zwiększające się obciążenie pracą, może on zbliżyć się do krawędzi obszaru właściwego i bezpiecznego wykonywania zadań, np. granicy załamania finansowego lub granicy nieakceptowalnego obciążenia pracą. Wynikiem takiej sytuacji jest przemieszczanie się obszaru, w którym znajduje się pracownik, w kierunku granicy dopuszczalnych zachowań i strefy zagrożenia. Przyjęte przez przedsiębiorstwa systemy bezpieczeństwa starają się przeciwstawiać zmianom i utrzymywać pracowników z dala od granicy niebezpiecznych zachowań (Mitropoulos i in., 2005). W modelu, Rasmussen wyodrębnił trzy strefy działania:

- strefę bezpieczną (*safe zone*), w której zachowania pracowników mieszczą się w obszarze właściwego i bezpiecznego wykonywania zadań,
- strefę zagrożenia (*hazard zone*), w której zachowania pracowników są na krawędzi bezpieczeństwa, tzn. na skraju obszaru,
- strefę utraty kontroli (*loss of control zone*), w której dochodzi do zdarzenia niebezpiecznego (Howell i inni 2003).

Hinze na podstawie modelu Rasmussen'a, uwzględniającego zmienność kosztów i nakładów pracy, zaproponował zastosowanie do analizy zachowań człowieka teorii rozproszenia (*distraction theory*). Teoria rozproszenia zakłada, że prawdopodobieństwo zaistnienia wypadku zwiększa się z powodu nieuwagi pracownika podczas wykonywania czynności na stanowisku pracy. Nieuwaga człowieka spowodowana jest przez występujące w otoczeniu zagrożenia mechaniczne oraz nadmierne obciążenia psychiczne, np. stres.

Zagrożenia i obciążenia rozpraszają pracownika w prawidłowym wykonywaniu zadań, odrywając go od myślenia o bezpieczeństwie (Behm i Schneller, 2013). Teoria zaproponowana przez Hinze koncentruje się na psychologicznych i behawioralnych aspektach człowieka (Chua i Goh, 2004).

Przykładem modelu, uwzględniającego czynnik ludzki, jest model wypadku zaproponowany przez Reason'a (1990a), przedstawiony na rysunku 2.14. Jest to tzw. model sera szwajcarskiego (*Swiss Cheese model*).



Rys. 2.14 Model sera szwajcarskiego zaproponowany przez Reason'a (Reason 1990a)

Aby doszło do wypadku nie jest wystarczający pojedynczy błąd ludzki, organizacyjny lub techniczny. Do wypadku dochodzi w wyniku nałożenia się na siebie ukrytych, niebezpiecznych warunków na różnych poziomach podejmowania decyzji i prowadzenia działań. Reason wyodrębnił trzy typy błędów prowadzących do niebezpiecznego wydarzenia, a mianowicie: błędy w ocenie sytuacji, błędy wyboru odpowiedniej czynności, błędy w wykonywaniu czynności. Kluczową rolę odgrywają ukryte niebezpieczne warunki, których niedostrzeżenie prowadzi do niebezpiecznego działania, stanowiącego ostatni element modelu, a więc do wypadku.

Reason (1990a) dokonał również klasyfikacji niebezpiecznych czynności, które podzielił na trzy grupy błędów (*errors*) oraz na dwa rodzaje naruszeń (*violations*), a mianowicie:

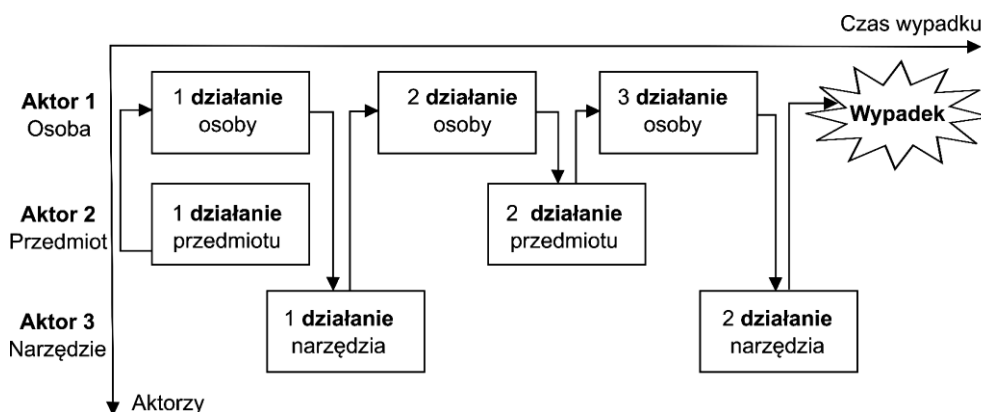
- błędy nieświadome (*noconscious errors*), które występują w sposób niezamierzony, takich jak np. poślizgnięcie, potknięcie,
- pomyłki, błędy decyzyjne (*mistakes or decision errors*), które wynikają z podejmowanych złych wyborów, nieadekwatnych do sytuacji, związanych z nieprawidłową realizacją planu,
- błędy percepcyjne, poznawcze (*perceptual errors*), które wynikają z błędnej interpretacji rzeczywistej sytuacji,
- naruszenia rutynowe (*routine violations*), tzn. odstępstwa od zasad, popełniane rutynowo, tzn. nawykowo. Naruszenia te bardzo często są tolerowane przez nadzór, pomimo odstępstw od zasad bezpieczeństwa i higieny pracy,
- naruszenia wyjątkowe (*exceptional violations*), tzn. odstępstwa nietolerowane przez kierownictwo i nietypowe dla stanowiska pracy i człowieka.

Reason zaproponował również inny model wypadku, tzw. model trójnożu (*tripod model*), uwzględniający wzajemne relacje pomiędzy trzema głównymi czynnikami jakimi są wypadek, niebezpieczne czynności oraz czynniki miejsca. Czynniki miejsca rozumiane są jako ukryte awarie lub błędy w systemach, które w połączeniu z zaistniałymi niebezpiecznymi sytuacjami mogą doprowadzić do usterki technicznej, błędu lub naruszeń. Błędy i naruszenia doprowadzają do wypadku. Ukryte błędy, tak jak w modelu sera szwajcarskiego, mogą być generowane przez podejmowane błędne decyzje najwyższego kierownictwa, a także przez braki występujące w strukturze zarządzania, np. wysokie obciążenie psychiczne, nadmierna presja czasu czy niewłaściwe postrzeganie zagrożeń - brawura (Pietrzak, 2007).

### 2.3.4 Modele porządkujące

W wielu modelach przyjmuje się, że powstanie wypadku 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 i nazwano je „modelami porządkującymi” (Lehto i Salvendy, 1991; Studenski, 1996). Przykładem takiego podejścia jest analiza wypadku za pomocą diagramu STEP, który przedstawia sekwencje wypadku w ujęciu czasowym z uwzględnieniem „aktorów” biorących udział w zdarzeniu wypadkowym. Model przedstawiony na rysunku 2.15, zakłada, że każde zdarzenie wypadkowe jest wynikiem zadziałania „aktora”, którym może być zarówno człowiek jak i przedmiot oraz narzędzie – czynnik materialny. Do zdarzenia wypadkowego dochodzi w wyniku interakcji kolejno następujących po sobie działań aktorów (Reason, 1990b).





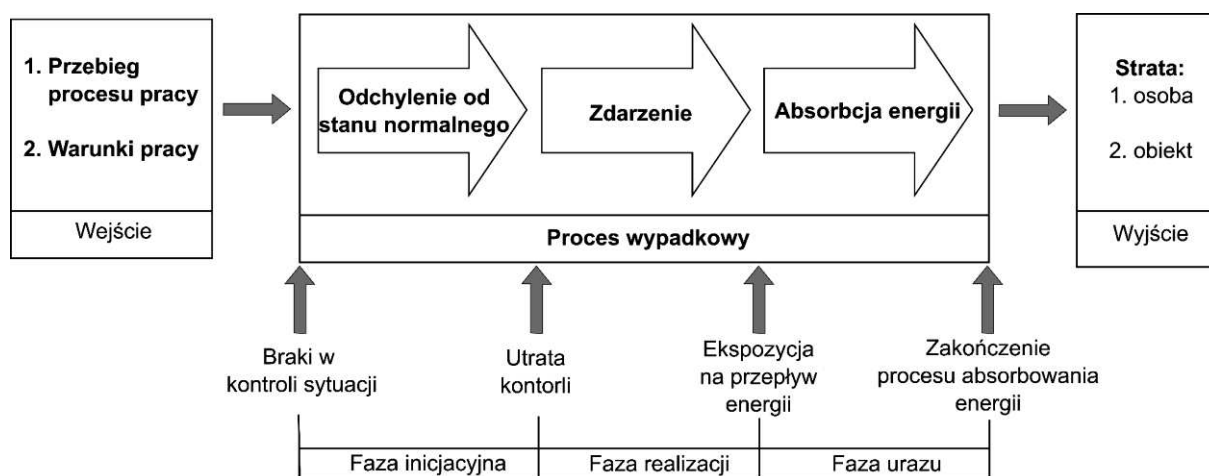
Rys. 2.15 Model STEP (Reason 1990b)

### 2.3.5 Modele procesowe

Modele procesowe wyjaśniają powiązania pomiędzy przebiegiem wypadku, a jego przyczynami. Typowym przykładem modelu procesowego jest model OARU (*Occupational Accident Research Unit*) opracowany przez Kjellena i Larssona w 1981 r. (Kjellen i Larsson, 1981; Kjellen, 1982; Pietrzak, 2003). W modelu tym, proces wypadkowy podzielony został na 3 fazy: fazę inicjacyjną (*initial phase*), fazę realizacji (*concluding phase*) oraz fazę urazu (*injury phase*). Model przedstawiono na rysunku 2.16. Między fazami istnieją 4 stany przejściowe:

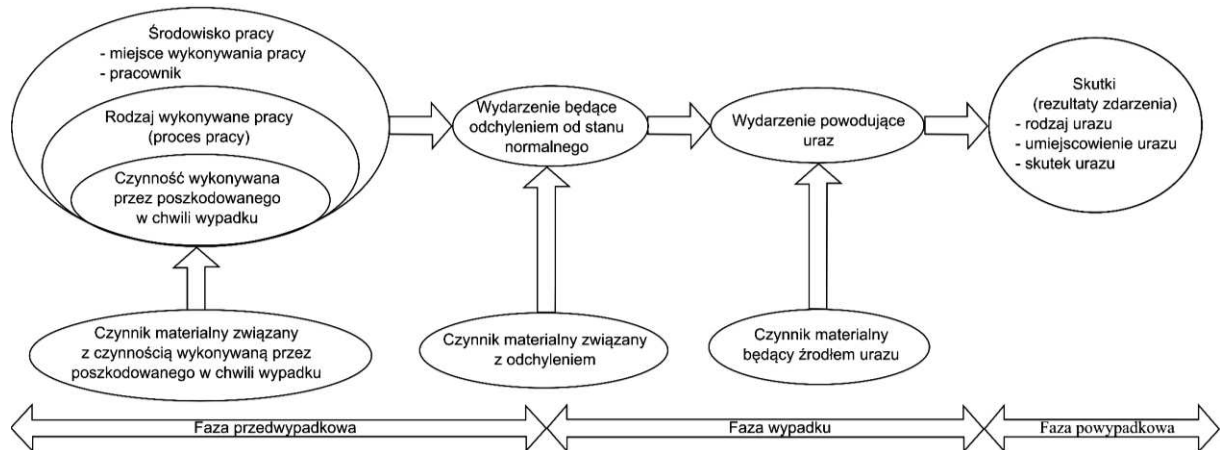
- przejście od normalnych warunków do stanu wystąpienia braków w kontroli sytuacji,
- przejście od braku kontroli do utraty kontroli,
- przejście, przy którym organizm ludzki zaczyna absorbować energię,
- stan zakończenia procesu absorbowania energii.

Stan braków w kontroli sytuacji określane jest jako odchylenie od sytuacji normalnej. Odchyleniem tym mogą być zdarzenia niezgodne z właściwym przebiegiem procesu pracy lub warunki pracy niezgodne z przyjętymi standardami na danym stanowisku, które mogą wywołać zdarzenie (wypadek).



Rys. 2.16 Model OARU (Kjellen 2000)

Kolejnym modelem procesowym jest model zaproponowany przez Europejski Urząd Statystyczny Unii Europejskiej (EUROSTAT). W modelu tym wypadek przedstawiony został jako proces przebiegający przez następujące fazy, a mianowicie: fazę przedwypadkową, fazę wypadku oraz fazę powypadkową. Model wypadku według EUROSTATU przedstawiono na rysunku 2.17.



Rys. 2.17 Model wypadku według EUROSTATU (ESAW, 2013)

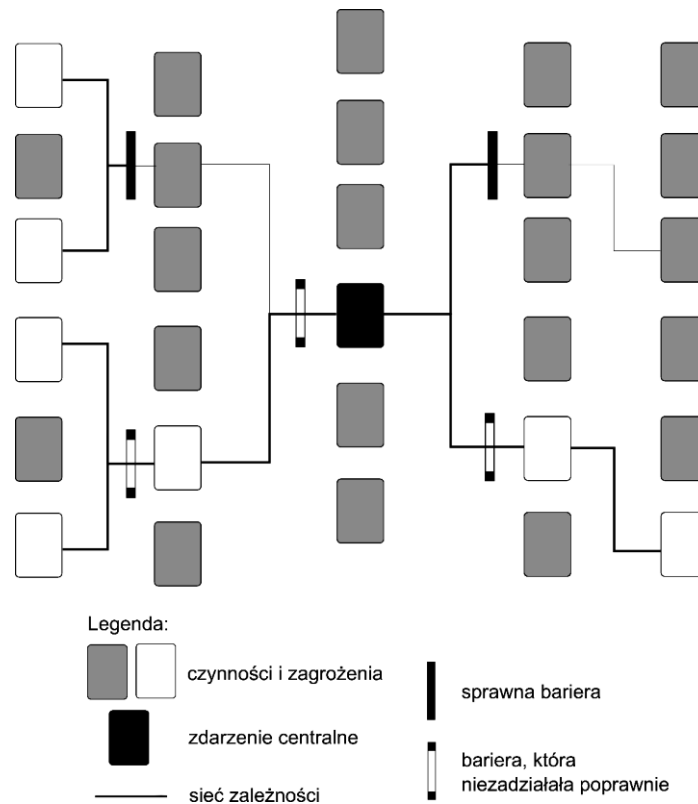
Faza przedwypadkowa obejmuje te elementy procesu pracy, które dotyczą pracownika i wykonywanego przez niego, w chwili wypadku, zadania. Fazę wypadku oddziela od fazy przedwypadkowej wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego. Jest to wydarzenie niezgodne z właściwym przebiegiem procesu pracy, które wywołało wypadek. Z odchyleniem tym na ogół związany jest czynnik materialny, z którym kontakt stał się przyczyną urazu. W fazie powypadkowej mamy do czynienia ze skutkami wypadku, a więc liczbą poszkodowanych, rodzajami doznanych urazów, umiejscowieniem urazów, niezdolnością do pracy, stratami materialnymi oraz stratami czasu pracy. Przedstawiony model został opracowany w celu zbierania danych statystycznych o wypadkach przy pracy w krajach Unii Europejskiej (ESAW, 2013).

Modelem procesowym opartym o analizę ryzyka zawodowego na stanowiskach pracy w budownictwie jest model *ORM (Occupational Risk Model)* (Bellamy i in., 2007). Model ten jest elementem metodyki oceny ryzyka zawodowego składającej się z następujących działań:

- identyfikacji czynności wykonywanych przez pracownika na analizowanym stanowisku,
- doboru i identyfikacji potencjalnych barier chroniących przed wypadkiem,
- analizy opisów przebiegu wypadku oraz wskazania elementów, które zawiodły. Każdej czynności wykonywanej na stanowisku pracy zostały przypisane zagrożenia,
- budowy sieci zależności wraz z analizą powiązań,
- budowy zestawów barier zwanych strategiami. Dla każdego zagrożenia zidentyfikowano: możliwe bariery ograniczające kontakt lub stosowane środki ochrony zmniejszające zagrożenie,
- określenia „wydajnych limitów” określonych kosztów i redukcji ryzyka. W prowadzonych badaniach wskaźnik sukcesu zadziałania barier („wydajnych limitów”) oceniany był na podstawie historii dotychczasowych wypadków.



Informacje o wypadkach i barierach zgromadzone zostały w specjalnie przygotowanym narzędziu komputerowym o nazwie *Storybuilder* i prezentowane są za pomocą logicznego modelu o nazwie *bow-tie*, przedstawionego na rysunku 2.18.



Rys. 2.18 Model *bow-tie* (Bellamy i in., 2007)

Przy budowie modelu przyjęto następujące założenia:

- każdy wypadek jest łańcuchem zdarzeń prowadzących od przyczyny do konsekwencji,
- każdy wypadek musi przejść przez co najmniej jedną, otwartą i zdefiniowaną podstawową barierę bezpieczeństwa. Otwarta bariera oznacza barierę, która nie zadziałała prawidłowo i nie zatrzymała procesu wypadkowego.

Budowa modelu ORM stanowiła proces cykliczny, w którym wraz ze zwiększającą się liczbą przeanalizowanych wypadków możliwe było identyfikowanie coraz to większej liczby barier i zagrożeń. Analizę wypadków prowadzono pod kątem:

- rodzaju pracy wykonywanej przez poszkodowanego (podstawowe czynności),
- czynników materialnych związanych z wykonywaną czynnością przez poszkodowanego (stosowane maszyny, urządzenia, narzędzia),
- barier wykorzystywanych w miejscu pracy,
- doboru zdarzenia centralnego,
- zagrożeń,
- liczby poszkodowanych,
- miejsca, rodzaju i typu urazu,
- prowadzonej hospitalizacji lub leczenia,
- liczby dni niezdolności do pracy.

## 2.4. Podsumowanie przeglądu literatury

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu można zdefiniować dotychczasowe obszary badań prowadzonych w zakresie wypadkowości, które obejmują:

- wszechstronną analizę danych statystycznych i formułowanie na ich podstawie wniosków dotyczących wypadkowości w budownictwie,
- identyfikację czynników wpływu oraz pośrednich i bezpośrednich przyczyn wypadków przy pracy w budownictwie,
- analizę pojedynczych wypadków w aspekcie przyczynowo-skutkowych łańcuchów zdarzeń w celu identyfikacji charakterystycznych elementów łańcucha oraz opisujących je parametrów,
- opracowanie metod oceny ryzyka zawodowego w budownictwie,
- formułowanie modeli i prowadzenie badań na modelach w celu lepszego poznania różnych aspektów zjawiska wypadkowości.

Wśród licznych zbiorów prezentowanych modeli wyróżnić można modele: opisujące mechanizmy powstawania wypadków, charakteryzujące wypadki, klasyfikujące przyczyny wypadków, analizujące zachowania człowieka w obliczu zagrożenia.

Bardzo ważne dla tematu niniejszej rozprawy oraz zaproponowanego sposobu osiągnięcia postawionych celów są tzw. modele procesowe, przedstawiające kolejne fazy wypadku. Modele zaproponowane przez Kjellena i Larssona (model OARU) oraz Urząd Statystyczny Unii Europejskiej (model EUROSTAT) służą do analizy pojedynczych wypadków przy pracy w ujęciu procesowym. Zostały one zbudowane w celu ujednoczenia metodyki zbierania danych o wypadkach.

Modelem zbudowanym w celu analizy ryzyka zawodowego na stanowiskach pracy w budownictwie jest model ORM. Model ten ma charakter dynamiczny i rozwijany jest wraz z napływem informacji o kolejnych wypadkach. Budowa modelu ma charakter cykliczny i rozpoczyna się od informacji dotyczących wybranego wypadku. Centralnym zdarzeniem w modelu jest wydarzenie powodujące uraz. Analiza przebiegu wypadku pozwala na określenie relacji zachodzących między zdarzeniem centralnym a innymi elementami znajdującymi się w jego bezpośrednim otoczeniu, a mianowicie: zagrożeniami, przyczynami i okolicznościami w jakich doszło do wypadku. Następnie, w taki sam sposób, analizuje się kolejne wypadki i wprowadza dane do modelu. W ten sposób powstaje zbiór różnych zdarzeń centralnych powiązanych siecią zależności z przypisanymi do nich zagrożeniami, przyczynami i okolicznościami wypadków.

Z przeprowadzonego rozpoznania literaturowego wynika, że nie ma modeli skonstruowanych w celu zbadania zjawiska wypadkowości jako procesu, który tworzy ciąg wypadków zachodzących w dyskretnych momentach czasu na różnych, pod względem lokalizacji, konstrukcji i wyposażenia technicznego, budowach.

Zjawisko wypadkowości w budownictwie jest bardziej skomplikowane niż to przedstawiają modele zbudowane w celu analizy pojedynczych wypadków. Wynika to ze specyfiki budownictwa charakteryzującego się dużą zmiennością warunków realizacji i różnorodnością realizowanych obiektów budowlanych. Ponadto, w realizacji obiektów budowlanych mają zastosowanie różne techniki wykonania i metody organizacji. Dlatego też, każdy wypadek przy pracy w budownictwie przebiega wg innego szczegółowego scenariusza

i ma swoje charakterystyczne atrybuty. Takie podejście, uwzględniające procesowy charakter wypadkowości, różnorodność warunków realizacji obiektów i ich specyfiki konstrukcyjnej prezentowane jest w niniejszej pracy. Pozwoli ono uzyskać szereg informacji o badanym zjawisku, których nie otrzymamy na podstawie analizy pojedynczych wypadków oraz dostępnych danych statystycznych.



### 3 Źródła wiedzy o wypadkach przy pracy

Informacje o wypadkach przy pracy można znaleźć w archiwach: Państwowej Inspekcji Pracy, Głównego Urzędu Statystycznego, Zakładu Ubezpieczeń Społecznych, Państwowego Nadzoru Budowlanego, Ministerstwa Sprawiedliwości, Policji, szpitali oraz firm ubezpieczeniowych. W celu ustalenia, które źródło informacji będzie najbardziej korzystne i przyjazne dla tematyki prowadzonych badań przeanalizowano dane o wypadkach przy pracy znajdujące się w archiwach Głównego Urzędu Statystycznego, Zakładu Ubezpieczeń Społecznych, Państwowej Inspekcji Pracy i Państwowego Nadzoru Budowlanego. Ze względu na brak dostępu w badaniach pominięto informacje zawarte w archiwach Policji, Pogotowia Ratunkowego oraz Szpitali i Ministerstwa Sprawiedliwości. Archiwa Państwowego Nadzoru Budowlanego zawierają przede wszystkim informacje o katastrofach budowlanych, które zdarzyły się z przyczyn losowych w fazie eksploatacji obiektu (Główny Inspektorat Nadzoru Budowlanego, 2017). Analiza danych statystycznych publikowanych przez Główny Urząd Nadzoru Budowlanego wykazała ponadto, że liczba katastrof, które zdarzyły się w fazie realizacji robót budowlanych jest niewielka.

#### 3.1 Przegląd informacji publikowanych przez wybrane instytucje państwowe

##### 3.1.1 Publikacje Głównego Urzędu Statystycznego

Dane statystyczne o wypadkach przy pracy publikowane przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) zawarte są w opracowaniach: „Wypadki przy pracy. Informacje i Opracowania statystyczne” (Główny Urząd Statystyczny, 2017a) oraz „Wypadki przy pracy. Monitoring Rynku Pracy” (Główny Urząd Statystyczny, 2017b).

Opracowanie pt.: „Wypadki przy pracy. Monitoring Rynku Pracy” zawiera wstępne dane statystyczne przygotowywane kwartalnie w zakresie odnoszącym się do skutków wypadków, natomiast „Wypadki przy pracy. Informacje i Opracowania Statystyczne” przedstawiają ostateczne dane roczne.

Publikacje GUS-u dostępne są w wersji drukowanej i elektronicznej. Wydawnictwa w wersji papierowej znajdują się w informatoriach oraz bibliotekach Okręgowych Oddziałów Urzędu Statystycznego, natomiast w wersji elektronicznej bezpłatnie na stronach internetowych: [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl) oraz [www.bdl.stat.gov.pl](http://www.bdl.stat.gov.pl).

W opracowaniach tych badaniami statystycznymi objęte są wypadki przy pracy, które zostały zgłoszone we wszystkich sekcjach gospodarki narodowej. Dane statystyczne przedstawiane są w formie tabelarycznej dla wszystkich sekcji ogółem oraz oddzielnie dla każdej z nich i dotyczą:

- wskaźników wypadkowości,
- liczby osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy skutkujących wypadkiem śmiertelnym, ciężkim, lekkim, a także indywidualnym oraz zbiorowym,
- liczby poszkodowanych w wypadkach przy pracy według wielkości jednostek lokalnych; miesiąca, w którym zdarzył się wypadek oraz skutków wypadków; wieku; grup wykonywanych zawodów; wydarzeń będących odchyleniem od stanu normalnego powodujących wypadki; wydarzeń powodujących uraz; czynności wykonywanych

przez poszkodowanego w chwili wypadku; miejsca powstania wypadku; umiejscowienia urazu; rodzaju urazu,

- przyczyn wypadków według wydarzeń powodujących uraz u osoby poszkodowanej; czynności wykonywanych przez poszkodowanego w chwili wypadku,
- wydarzeń powodujących uraz u osoby poszkodowanej w wyniku wypadku według: miejsca powstania wypadku, czynności wykonywanej przez poszkodowanego w chwili wypadku, czynnika materialnego będącego źródłem tego urazu,
- czynnika materialnego związanego z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku według czynności wykonywanej przez poszkodowanego,
- wydarzeń będących odchyleniem od stanu normalnego, powodujących wypadki według czynnika materialnego związanego z tymi wydarzeniami.

Z opracowań tych możemy dowiedzieć się np.: ile osób zostało poszkodowanych w wypadkach przy pracy; ile osób doznało obrażeń na placu budowy, a ile w innych miejscach; ile osób w chwili wypadku obsługiwało maszynę, a ile zostało porażonych prądem elektrycznym, itp.. Należy jednak zauważyć, że są to dane zbiorcze, na podstawie których nie można uzyskać informacji o okolicznościach powstania i przebiegu pojedynczych wypadków przy pracy. Na podstawie powyższych danych nie można również określić powiązań między: okolicznościami wypadku, następującymi po sobie wydarzeniami, występującymi w procesie wypadkowym czynnikami materialnym oraz przyczynami wypadku.

### **3.1.2 Publikacje Państwowej Inspekcji Pracy**

Państwowa Inspekcja Pracy (PIP) publikuje informacje o wypadkach przy pracy w ramach rocznych sprawozdań Głównego Inspektora Pracy (Główny Inspektorat Pracy, 2016). Publikacje Głównego Inspektoratu Pracy obejmują informacje o wypadkach przy pracy zbadanych przez Inspektorów Pracy w danym roku kalendarzowym. Dane te dostarczają wielu informacji, jak np.: liczba poszkodowanych w wypadkach według sekcji PKD, wydarzenia powodujące wypadek lub uraz, miejsca zdarzenia, przyczyny wypadków, najczęściej popełniane przez pracodawców błędy w postępowaniu powypadkowym i inne. Sprawozdania z działalności PIP dostępne są bezpłatnie na stronie internetowej Państwowej Inspekcji Pracy ([www.bip.pip.gov.pl](http://www.bip.pip.gov.pl)). Pomimo obszernej publikacji sprawozdania nie zawierają takich informacji jak: najczęściej występujące wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego czy powodujące uraz, zależności między gromadzonymi danymi, a także najbardziej prawdopodobny scenariusz wypadkowy.

Obszerne informacje nt. poszczególnych wypadków, ich okoliczności, przyczyn zawierają natomiast Protokoły Kontroli sporządzane przez inspektorów pracy po zaistnieniu wypadku, które zawierają opisy przebiegu wypadku zgodnie z założeniami obowiązującymi w krajach Unii Europejskiej.

### **3.1.3 Publikacje Zakładu Ubezpieczeń Społecznych**

Zakład Ubezpieczeń Społecznych (ZUS) jest państwową jednostką organizacyjną, zajmującą się gromadzeniem składek na ubezpieczenie społecznie i zdrowotne obywateli. Zasady podlegania ubezpieczeniom społecznym, działania i kontroli Zakładu Ubezpieczeń

Społecznych określa *Ustawa z dnia 13 października 1998 r. o systemie ubezpieczeń społecznych* (Dz. U. Nr. 112, poz. 1198, z późn. zm.) (U4).

Departament Statystyki i Prognoz Aktuarnych Zakładu Ubezpieczeń Społecznych każdego roku wydaje poniższe opracowania:

- „Renty z tytułu niezdolności do pracy oraz renty rodzinne przyznane z powodu wypadków przy pracy i chorób zawodowych” (2016). Źródłem danych do opracowania są przeprowadzone w poszczególnych oddziałach ZUS pełne ankietowe badania statystyczne, w wyniku których gromadzone są dane o osobach, którym przyznano rentę wypadkową z tytułu całkowitej lub częściowej niezdolności do pracy z powodu wypadku przy pracy lub choroby zawodowej oraz dane o rodzinnych rentach wypadkowych. Dane prezentowane są dla całego kraju w zbiorczych tabelach,
- „Płatnicy składek na ubezpieczenie wypadkowe, którzy złożyli Informację o danych do ustalenia składki na ubezpieczenie zdrowotne” (2016). Z zamieszczonych w opracowaniu tabel można uzyskać informacje m.in. o liczbie: ubezpieczonych do ubezpieczenia wypadkowego, poszkodowanych w wypadkach przy pracy ogółem, poszkodowanych w wypadkach przy pracy śmiertelnych i ciężkich oraz zatrudnionych w warunkach zagrożenia. Dane te gromadzone są dla poszczególnych sekcji gospodarki narodowej.

Analizując dane publikowane przez ZUS należy zauważyć, że nie zawierają one informacji o dacie zdarzenia wypadkowego. Dane agregowane są według okresu, w którym przyznano rentę. Dodatkowo gromadzone dane dotyczą łącznej liczby osób pobierających rentę wypadkową w badanym okresie jak i rent nowo przyznanych. Omówione wydawnictwa ZUS są dostępne bezpłatnie w wersji elektronicznej na stronie internetowej Urzędu ([www.zus.pl](http://www.zus.pl)).

W archiwach ZUS-u znajduje się dokumentacja wypadku przy pracy niezbędna do przyznania renty lub świadczenia wypadkowego. W dokumentacji tej znajdują się również kopie protokołów powypadkowych sporządzanych przez inspektorów pracy, które są przydatne do prowadzonych analiz. Jednak ich pozyskanie jest bardzo trudne ponieważ ZUS nie tworzy ewidencji oraz zbioru danych dotyczących wypadków przy pracy z podziałem na poszczególne sekcje oraz nie prowadzi akt administracyjnych dotyczących wypadków. Zakład dysponuje jedynie liczbą wydanych decyzji przyznających renty z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych oraz liczbą i kwotą wypłaconych jednorazowych odszkodowań z tego tytułu, finansowanych z Funduszu Ubezpieczeń Społecznych.

#### **3.1.4 Porównanie źródeł informacji o wypadkach przy pracy w budownictwie**

Przeprowadzona analiza dostępnych źródeł informacji o wypadkach przy pracy (Orlak i Klamut, 2009) wykazała liczne różnice w danych publikowanych przez poszczególne instytucje. I tak np. dane statystyczne publikowane przez ZUS dotyczące wypadków przy pracy w danym roku kalendarzowym, nie mogą być porównywane z danymi publikowanymi przez GUS, ponieważ zbiory wypadków brane do analizy w obu instytucjach są rozbieżne. Wynika to z faktu, że dane publikowane przez ZUS mogą dotyczyć wypadków, które zostały wykazane w statystykach GUS za wcześniejszy okres. Przyczyną tego może być długi okres przyznawania świadczeń poszkodowanym. Np. w skrajnym przypadku, zanim poszkodowany w wypadku przy pracy otrzyma świadczenie rentowe i zostanie to odnotowane w odpowiednim rejestrze,



może najpierw przebywać pół roku na zasiłku chorobowym, a następnie otrzymywać świadczenie rehabilitacyjne.

Z kolei odchylenia statystyk dotyczących liczby wypadków przy pracy stwierdzonych przez PIP w stosunku do statystyk GUS świadczą o nie zgłaszaniu przez pracodawców wszystkich wypadków do PIP. Zgodnie z *Ustawą z dnia 26.06.1974 r. Kodeks pracy* (Dz.U. 1974 nr 24 poz. 141 z późn. zm.) (U3) obowiązek zgłaszania wypadków przy pracy do PIP dotyczy wypadków śmiertelnych, ciężkich i zbiorowych, natomiast nie ma takiego obowiązku jeżeli chodzi o wypadki lekkie.

### **3.2 Obowiązujące procedury w zakresie badania wypadków przy pracy**

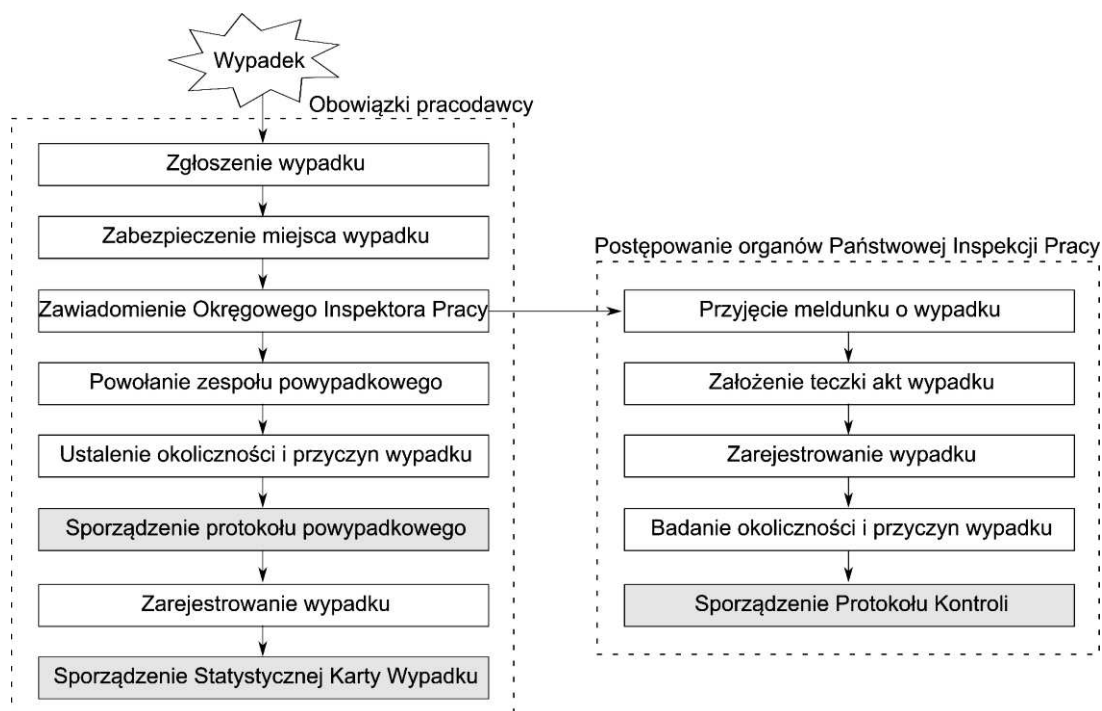
Osiągnięcie celów postawionych w dysertacji możliwe jest jedynie na podstawie analizy informacji dotyczących poszczególnych wypadków przy pracy, które zdarzyły się w budownictwie. Analiza publikowanych zbiorczych danych statystycznych może stanowić jedynie tło dla prowadzonych badań. Na podstawie wywiadów przeprowadzonych z pracownikami wspomnianych wyżej organów i instytucji (telefonicznych i osobistych) stwierdzono, że istotna dla celu prowadzonych badań jest dokumentacja sporządzana w trakcie postępowania powypadkowego.

Postępowanie powypadkowe obejmuje szereg czynności, podejmowanych przez pracodawcę oraz organy Okręgowych Inspektoratów Pracy po zaistnieniu wypadku. Celem postępowania powypadkowego jest ustalenie czy wypadek ma cechy zdarzenia związanego z wykonywaną przez poszkodowanego pracą i czy można go zakwalifikować jako „wypadek przy pracy”. Schemat postępowania w związku z zaistnieniem wypadku przy pracy przedstawiono na rys. 3.1.

Czynności związane z ustaleniem okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy oraz procedura postępowania powypadkowego są określone w (U3) oraz w aktach wykonawczych wydanych na jej podstawie.

Aktem prawnym wydanym na podstawie art. 237 ustawy jest *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 01 lipca 2009 r. w sprawie ustalania okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy* (Dz. U. 2009 Nr 105, poz. 870) (R1).

W kolejnych podrozdziałach zamieszczono syntetyczne informacje o obowiązkach pracodawcy oraz organów Państwowej Inspekcji Pracy związanych z zaistnieniem wypadku, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zawartość merytoryczną Statystycznej Karty Wypadku oraz Protokołu Kontroli.



Rys. 3.1 Procedura postępowania w związku z zaistnieniem wypadku przy pracy (opracowanie własne)

### 3.2.1 Obowiązki pracodawcy

#### *Zabezpieczenie miejsca wypadku*

Zgodnie z rozporządzeniem (R1), do czasu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku pracodawca ma obowiązek zabezpieczyć miejsce wypadku w sposób wykluczający: dopuszczenie do miejsca wypadku osób niepowołanych, uruchamianie bez koniecznej potrzeby maszyn i innych urządzeń technicznych, które w związku z wypadkiem zostały wstrzymane, dokonywanie zmiany położenia maszyn i innych urządzeń technicznych, jak również zmian położenia innych przedmiotów, które spowodowały wypadek lub pozwalają odtworzyć jego okoliczności.

W myśl przywołanych przepisów należy dążyć do jak najlepszego zachowania stanu faktycznego miejsca i otoczenia wypadku, aby umożliwić zespołowi powypadkowemu zapoznanie się z pełną i niezmienną sytuacją. Na podstawie stanu miejsca powstania wypadku, usytuowania maszyn i urządzeń oraz innych przedmiotów mogących mieć istotny wpływ na przebieg zdarzenia, zespół powypadkowy ma możliwość odtworzenia okoliczności i przebieg wypadku oraz ustalić jego przyczyny. Wprowadzanie zmian w miejscu wypadku dopuszczalne jest tylko w sytuacji natychmiastowej konieczności ratowania osób lub mienia oraz jeżeli takie działanie pozwoli na eliminację zagrożenia lub zapobieżenia rozprzestrzenianiu się niebezpieczeństwa.

## ***Zawiadomienie Okręgowego Inspektora Pracy***

Pracodawca jest obowiązany niezwłocznie zawiadomić właściwego okręgowego inspektora pracy i prokuratora o śmiertelnym, ciężkim lub zbiorowym wypadku przy pracy oraz o każdym innym wypadku, który wywołał wymienione skutki, mającym związek z pracą, jeżeli może być uznany za wypadek przy pracy. Nie ma natomiast takiego obowiązku w przypadku wypadku lekkiego.

## ***Powołanie zespołu powypadkowego***

W celu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku oraz kwalifikacji prawnej zdarzenia pracodawca ma obowiązek powołać dwuosobowy zespół powypadkowy, w skład którego wchodzi pracownik służby bezpieczeństwa i higieny pracy, a także społeczny inspektor pracy. Przepisy przewidują jednak liczne wyjątki w tym zakresie w zależności od stanu zatrudnienia w zakładzie oraz przyjętego systemu realizacji zadań w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy.

## ***Ustalenie okoliczności i przyczyn wypadku***

Zadaniem dwuosobowego zespołu powypadkowego jest opracowanie protokołu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku. Do podstawowych obowiązków zespołu powypadkowego należą:

- dokonanie oględzin miejsca wypadku. Sprawdzenie stanu technicznego maszyn i urządzeń technicznych, urządzeń ochronnych oraz warunków pracy i innych okoliczności, które mogły mieć związek ze zdarzeniem,
- sporządzenie szkicu lub dokumentacji fotograficznej miejsca wypadku, jeżeli pozwoli ona na odtworzenie przebiegu wypadku i określenie przyczyn i okoliczności wypadku,
- przesłuchanie poszkodowanego, jeżeli jego stan zdrowia na to pozwala oraz świadków zdarzenia,
- zebranie innych dowodów dotyczących wypadku pozwalających na ustalenie okoliczności i przyczyn wypadku, np. karty szkoleń pracowników w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy, zaświadczenia o braku przeciwwskazań do wykonywania pracy na stanowisku pracy, informacje pracodawcy o ryzyku zawodowym na stanowisku pracy, karty wydania środków ochrony indywidualnej, ewidencja czasu pracy, itp.,
- ustalenie okoliczności wypadku,
- ustalenie przyczyn wypadku wraz ze wskazaniem dowodów jeżeli stwierdzono: nieprzestrzeganie przez pracodawcę przepisów prawa pracy w szczególności przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy lub innych przepisów dotyczących ochrony życia i zdrowia; naruszenie przez poszkodowanego pracownika przepisów dotyczących ochrony życia i zdrowia, spowodowane przez niego umyślnie lub skutek rażącego niedbalstwa; stan nietrzeźwości albo użycie przez poszkodowanego pracownika

środków odurzających lub substancji psychotropowych przyczyniających się w znacznym stopniu do powstania wypadku przy pracy,

- zasięgnięcie opinii lekarza lub innych specjalistów w zakresie niezbędnym do oceny rodzaju i skutków wypadku, łącznie z określeniem rodzaju oraz umiejscowienia urazu,
- dokonanie prawnej kwalifikacji wypadku wraz z uzasadnieniem. Wypadek można zakwalifikować m.in. jako: wypadek przy pracy lub wypadek traktowany na równi z wypadkiem przy pracy,
- określenie rodzaju wypadku: indywidualny, zbiorowy, śmiertelny, ciężki, powodujący czasową niezdolność do pracy,
- określenie środków profilaktycznych oraz wniosków, w tym wynikających z oceny ryzyka zawodowego na stanowisku pracy, na którym wystąpił wypadek.

### ***Sporządzenie protokołu powypadkowego***

Nie później niż w ciągu 14 dni o daty zgłoszenia wypadku, zespół powypadkowy ma obowiązek sporządzić protokół ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy. Wzór protokołu określa *Rozporządzenie Ministra Gospodarki i pracy z dnia 16 września 2004 r. w sprawie wzoru protokołu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy* (Dz. U. Nr 227, poz. 2298) (R2). Do protokołu załącza się komplet wszystkich dokumentów, związanych ze zdarzeniem, zebranych oraz sporządzonych w trakcie ustalania okoliczności i przyczyn wypadku.

Przed zatwierdzeniem protokołu przez pracodawcę, zespół powypadkowy ma obowiązek zapoznać poszkodowanego z treścią sporządzonego dokumentu. W sytuacji wypadku śmiertelnego, informacje te przekazane są uprawnionemu członkowi rodziny, który ma prawo zgłoszenia uwag i zastrzeżeń do stwierdzonych ustaleń zawartych w dokumencie. W przypadku braku uwag protokół zatwierdza pracodawca nie później niż w ciągu 5 dni od dnia jego sporządzenia. W sytuacji zgłoszenia przez poszkodowanego lub członków rodziny uwag lub zastrzeżeń do treści dokumentu, pracodawca ma obowiązek zwrócenia niezatwierdzonego protokołu do zespołu powypadkowego w celu uzupełnienia lub wyjaśnienia wskazanych nieprawidłowości. Pracodawca ma obowiązek doręczenia zatwierdzonego protokołu powypadkowego poszkodowanemu lub jego rodzinie, a także właściwemu ze względu na miejsce zdarzenia, inspektorowi Państwowej Inspekcji Pracy.

### ***Zarejestrowanie wypadku***

Zgodnie z ustawą, pracodawca jest obowiązany prowadzić rejestr wypadków przy pracy oraz przechowywać protokół ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku wraz z pozostałą dokumentacją powypadkową przez 10 lat (art. 3<sup>1)</sup> (U3) art. 234. § 3.

### ***Sporządzenie Statystycznej Karty Wypadku***

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 07 stycznia 2009 r. w sprawie statystycznej karty wypadku przy pracy* (Dz. U. Nr 14, z poz. 80) (R3) pracodawca, po zatwierdzeniu protokołu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy

pracy, ma obowiązek sporządzić statystyczną kartę wypadku przy pracy. Aktualny wzór statystycznej karty wypadku, sposób i terminy jej sporządzenia, a także sposób przekazywania do właściwego urzędu statystycznego, określa *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 08 listopada 2010 r.* (Dz. U. Nr 218, poz. 1440 i nr 240, poz. 1612) (R4) zmieniające rozporządzenie w sprawie statystycznej karty wypadku przy pracy. Statystyczna karta wypadku składa się z dwóch części.

W części I przekazanej w terminie nie później niż 14 dni roboczych od dnia, w którym został zatwierdzony protokół powypadkowy, pracodawca podaje podstawowe informacje o:

- zakładzie pracy: nazwa przedsiębiorcy lub firmy wraz ze wskazaniem formy prawnej, dane teleadresowe siedziby, numer identyfikacyjny NIP oraz REGON,
- liczbie pracujących, bez przeliczenia na pełny etat,
- prawnym zakwalifikowaniu wypadku: wypadek przy pracy, wypadek traktowany na równi z wypadkiem przy pracy,
- faktycznym miejscu pracy poszkodowanego poprzez określenie miejscowości, na której terenie znajduje się jednostka,
- rodzaju działalności wg Polskiej Klasyfikacji Działalności oraz formie własności,
- informację o poszkodowanym: płeć, rok urodzenia, obywatelstwo, status zatrudnienia, zawód wykonywany, staż na zajmowanym stanowisku pracy w zakładzie pracy, liczbie godzin przepracowanych od podjęcia pracy do chwili wypadku. Dodatkowo jeżeli znane są w momencie wypełniania tej części karty informację o skutkach wypadku należy również podać rodzaj oraz umiejscowienie urazu, liczbę osób poszkodowanych oraz skutki wypadku.

Część II uzupełniająca zawiera informacje o:

- liczbie dni niezdolności do pracy,
- stratach czasu pracy innych osób (w roboczogodzinach),
- szacunkowych stratach materialnych spowodowanych wypadkiem bez strat związanych ze stratami czasu pracy,
- wypadku i jego przebiegu.

W tej części pracodawca podaje informacje o położeniu geograficznym miejsca wypadku, pełną datę i godzinę wypadku. W kolejnej części podaje się informacje związane z określeniem miejsca powstania wypadku, procesu pracy wykonywanego przez poszkodowanego, rodzaju miejsca wypadku, czynności wykonywanej przez poszkodowanego w chwili wypadku, czynnika materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku, wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego, czynnikiem materialnym związanym z odchyleniem, wydarzeniem powodującym uraz, czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu, przyczynami wypadku.

Ostatnimi informacjami podawanymi w tej części karty są skutki wypadku oraz liczba dni niezdolności do pracy pod warunkiem, że są znane w momencie wypełniania karty. Część ta powinna zostać przekazana do właściwego urzędu statystycznego nie później niż 6 miesięcy od dnia zatwierdzenia protokołu powypadkowego.

Statystyczną kartę wypadku przekazuje się w formie elektronicznej na portal sprawozdawczy Głównego Urzędu Statystycznego. Wyjątek stanowią pracodawcy

zatrudniający nie więcej niż 5 pracowników, którzy statystyczną kartę wypadku mogą przekazać w formie papierowej do Urzędu Statystycznego w Gdańsku.

Po każdym wypadku przy pracy pracodawca jest zobowiązany „zastosować odpowiednie środki zapobiegające podobnym wypadkom”. Dla stanowiska pracy, na którym doszło do wypadku należy dokonać powtórnej oceny ryzyka zawodowego i wprowadzić, zaproponowane w protokole powypadkowym, odpowiednie środki prewencyjne. Zaproponowane rozwiązania mają zapobiec wystąpieniu podobnych wypadków w przyszłości.

Informacje uzyskane ze statystycznych kart wypadków stanowią bazę o wypadkach przy pracy dla sporządzanych rocznych opracowań Głównego Urzędu Statystycznego: „Wypadki przy pracy. Informacje i Opracowania statystyczne”.

### **3.2.2 Postępowanie organów Państwowej Inspekcji Pracy**

Podstawowym organem nadzoru i kontroli przestrzegania prawa pracy, w tym przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy jest Państwowa Inspekcja Pracy. Zakres działalności Państwowej Inspekcji Pracy zawarty został w *Ustawie z 13 kwietnia 2007 r. o Państwowej Inspekcji Pracy* (Dz. U. 2007, Nr 89, poz. 589, z późn zm.) (U5), rozdział 2, art. 10. Do zadań Państwowej Inspekcji Pracy należy, m.in.: podejmowanie działań polegających na zapobieganiu i ograniczaniu zagrożeń w środowisku pracy, a w szczególności badanie okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy oraz kontrola stosowania środków zapobiegających tym wypadkom.

Zasady badania okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy określone zostały w *Zarządzeniu nr 24/13 Głównego Inspektora Pracy z dnia 19 grudnia 2013 r. w sprawie zasad badania okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy oraz kontroli stosowania środków zapobiegających tym wypadkom (Z1)*. Zarządzenie to nakłada, na organy Państwowej Inspekcji Pracy, obowiązek badania wypadków śmiertelnych, ciężkich i zbiorowych oraz katastrof. Decyzję w sprawie badania okoliczności i przyczyn wypadków powodujących lżejsze uszkodzenie ciała i zdarzeń potencjalnie wypadkowych podejmuje okręgowy inspektor pracy.

#### ***Przyjęcie meldunku o wypadku***

Jak już wspomniano w poprzednim rozdziale, pracodawca ma obowiązek zawiadomić właściwego okręgowego inspektora pracy o wypadku zaistniałym na terenie jego zakładu pracy. Pracownik Sekcji Prewencji i Profilaktyki Wypadkowej Państwowej Inspekcji Pracy wypełnia druk meldunku, „Meldunek GIP-Mw”.

#### ***Założenie teczki akt wypadku***

Następnie zakładana jestteczka akt dochodzenia powypadkowego. Informacje o wypadkach przechowywane są przez Okręgowe Inspektoraty Pracy zgodnie z instrukcją kancelaryjną dla jednostek organizacyjnych Państwowej Inspekcji Pracy, stanowiącą załącznik do *Zarządzenia nr 17/2004 Głównego Inspektora Pracy z dnia 6 lipca 2004 r. w sprawie instrukcji kancelaryjnej dla jednostek organizacyjnych Państwowej Inspekcji Pracy (Z2)*.



## ***Zarejestrowanie wypadku***

Każde zgłoszenie o wypadku należy wprowadzić do rejestru wypadków. Rejestr taki prowadzi upoważniony pracownik sekcji Prewencji i Profilaktyki Wypadkowej Okręgowego Inspektoratu Pracy. Rejestr prowadzony jest w formie papierowej oraz elektronicznej za pomocą programu informatycznego „Wypadki” funkcjonującego w komórkach Państwowego Inspektoratu Pracy.

Każdej sprawie nadawany jest znak sprawy. Przykładowo dla Okręgowego Inspektoratu Pracy we Wrocławiu znak sprawy może wyglądać następująco: 16143-5303-K044-Pt/12, co oznacza:

- 16 - symbol komórki organizacyjnej - okręg województwa dolnośląskiego,
- 143 - symbol liczbowy pracownika, inspektora pracy prowadzącego dochodzenie,
- 5303 - rodzaj kontroli - kontrola dotycząca ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy,
- K044 - numer kolejnej kontroli wykonywanej przez inspektora pracy,
- Pt - protokół,
- 12 - dwie ostatnie cyfry roku, w którym sprawę wszczęto.

## ***Badanie okoliczności i przyczyn wypadku***

Po otrzymaniu zawiadomienia o wypadku inspektor pracy niezwłocznie przystępuje do badania okoliczności i przyczyn zdarzenia. Czynności kontrolne obejmują w szczególności:

1. oględziny miejsca zdarzenia, w tym zbadanie warunków wykonywania pracy i innych okoliczności, które mogły mieć wpływ na powstanie zdarzenia,
2. przesłuchanie, w razie potrzeby, poszkodowanych i świadków zdarzenia,
3. zebranie dowodów z dokumentów, np. dokumentacji projektowej, technologicznej, związanych z przygotowaniem do pracy osób biorących udział w badanym zdarzeniu,
4. zapoznanie się z dostępnymi opiniami i materiałami organów badających zdarzenie, ekspertyzami jednostek naukowych,
5. ustalenie, czy w kontrolowanym podmiocie miały miejsce zdarzenia w podobnych okolicznościach i o podobnych skutkach,
6. ocenę zaproponowanych przez zespół powypadkowy środków profilaktycznych w aspekcie ustalonych okoliczności i przyczyn zdarzenia.

## ***Sporządzenie Protokołu Kontroli***

Po zakończeniu dochodzenia powypadkowego inspektor pracy sporządza Protokół Kontroli, w którym zamieszcza wnioski z przeprowadzonych analiz. W Protokole Kontroli zamieszcza się informacje dotyczące okoliczności i przyczyn badanego zdarzenia, a w szczególności:

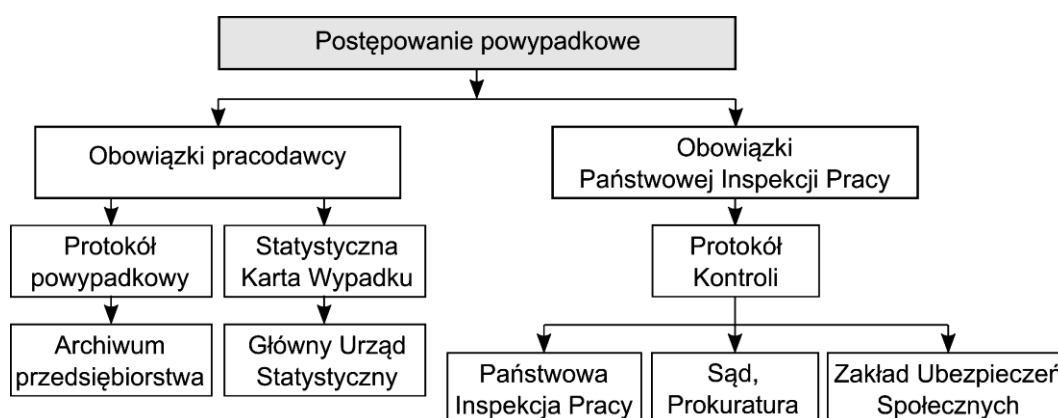
- informacje o czasie i miejscu zdarzenia, wykonywanych czynnościach oraz używanych materiałach i wyposażeniu,
- dane o poszkodowanych,



- opis przebiegu zdarzenia, z uwzględnieniem jego okoliczności i przyczyn,
- ocenę postępowania powypadkowego, z uwzględnieniem proponowanych przez zespół powypadkowy wniosków i środków profilaktycznych.

### 3.2.3 Wykorzystane w pracy źródła informacji o wypadkach przy pracy

Na podstawie przeprowadzonej szczegółowej analizy źródeł informacji o wypadkach przy pracy stwierdzono, że niezbędne do osiągnięcia celów rozprawy dane na temat wypadków zawarte są w protokole powypadkowym sporządzonym przez zespół powołany przez pracodawcę, Statystycznej Karcie Wypadku oraz Protokole Kontroli sporządzonym przez inspektorów pracy. Na rysunku 3.2 przedstawiono w formie schematu powiązania tych dokumentów z instytucjami i organami państwowymi, które są lub mogą być zaangażowane w badanie okoliczności i przyczyn wypadku.



Rys. 3.2 Powiązania dokumentów sporządzanych w czasie postępowania wypadkowego z instytucjami i organami państwowymi (opracowanie własne)

Kontrole przestrzegania poprawności postępowań powypadkowych prowadzone przez PIP wskazują na istniejące i powielane nieprawidłowości w postępowaniu powypadkowym i wypełnianiu przez pracodawców Statystycznej Karty Wypadku. Dane przekazywane przez pracodawców do GUS-u często są niekompletne lub nierzetelnie wprowadzone. Pracodawcy łagodzą w dokumentacji skutki wypadków, wskazują mniejszą liczbę przyczyn i źle je kwalifikują do poszczególnych grup przyczyn. Niestety brak jest efektywnych mechanizmów wymuszających kompletność i rzetelność przygotowywania i przesyłania danych (Orlak i Klamut, 2009).

Według sprawozdania sporządzonego przez Główny Inspektorat Pracy (2016), najczęściej stwierdzane nieprawidłowości dotyczą:

- nieprzestrzegania obowiązku przystępowania do ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku, co uniemożliwia rzetelne ustalenie okoliczności zdarzenia oraz wskazanie jego przyczyn,
- nieustalania wszystkich przyczyn wypadku przy pracy; ponad 22% zakładów ustala inne przyczyny wypadku niż te, które są wynikiem analizy inspektorów pracy,
- nieprawidłowości w określaniu środków i wniosków profilaktycznych adekwatnych do przyczyn wypadku, w tym wynikających z oceny ryzyka zawodowego,

- niewskazywania przez pracodawców w protokołach powypadkowych naruszeń prawa, za które są odpowiedzialni.

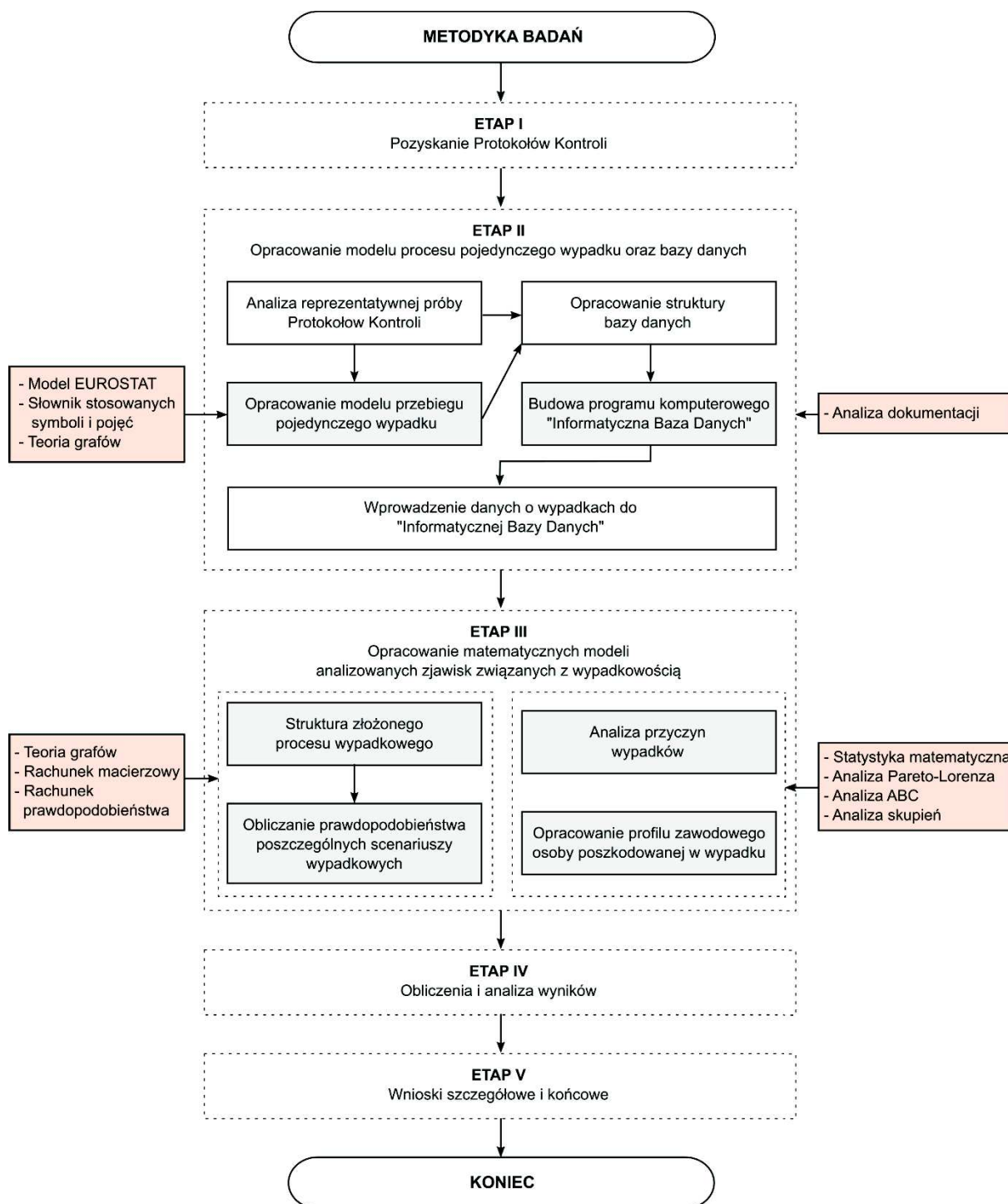
Dlatego też, aby zrealizować cele postawione w dysertacji, należy wybrać takie źródło informacji o wypadkach przy pracy w budownictwie, które spełnia następujące kryteria: dostępność danych, niski koszt pozyskania danych, mała czasochłonność pozyskania danych oraz przejrzystość zawartych informacji.

Pozyskanie Statystycznych Kart Wypadków i Protokołów Kontroli wiąże się z koniecznością usunięcia z tych dokumentów tzw. danych wrażliwych dotyczących osoby poszkodowanej, przedsiębiorstwa oraz budowy, na której zdarzył się wypadek (*Ustawa z dnia 5 sierpnia 2010 r. o ochronie informacji niejawnych* (Dz.U. z 2010 r. Nr 182, poz. 1228) (U6)). Dla osiągnięcia celów dysertacji podjęto próbę pozyskania takich dokumentów ze wskazanych na rysunku 3.2 instytucji. Wnioski z podjętych prób są następujące:

- Pozyskanie informacji z archiwów przedsiębiorstw budowlanych jest raczej niemożliwe. W Polsce w 2015 roku zarejestrowanych było 244 103 przedsiębiorstw budowlanych (Główny Urząd Statystyczny, 2016a). W tak dużej liczbie przedsiębiorstw bardzo trudne jest zidentyfikowanie takich, w których zdarzył się wypadek. Ponadto przedsiębiorcy nie mają obowiązku udostępniania informacji o przedsiębiorstwie osobom postronnym.
- Pozyskanie informacji z ZUS-u nie jest możliwe ze względów technicznych. Organ ten nie prowadzi klasyfikacji prowadzonych spraw z podziałem na sekcje gospodarki, której sprawa dotyczy. Do dokumentacji dotyczącej wypadku dotrzeć można tylko na podstawie danych osobowych osoby poszkodowanej oraz numeru sprawy.
- Główny Urząd Statystyczny nie wyraził zgody na udostępnienie Statystycznych Kart Wypadków. W Polsce, tylko w 2015 roku w budownictwie zarejestrowano ponad 6 000 wypadków przy pracy. Udostępnienie Statystycznych Kart wypadków wiąże się z usunięciem tzw. danych wrażliwych. Jest to operacja nie do przeprowadzenia ze względu na czas i koszt jej wykonania.
- Organem, który wyraził zgodę na udostępnienie dokumentacji związanej z wypadkami przy pracy była Państwowa Inspekcja Pracy. Tak więc podstawą przeprowadzonych badań i analiz były Protokoły Kontroli znajdujące się w archiwach Państwowej Inspekcji Pracy.

#### 4 Zakres badań własnych i zastosowana metodyka badań

W celu rozwiązania postawionego zadania, opracowano autorską metodykę analizy i oceny wypadkowości w budownictwie. Zaproponowana metodyka składa się z 5 etapów i została przedstawiona na rysunku 4.1.



Rys. 4.1 Ogólny schemat zaproponowanej metodyki badań (opracowanie własne)

- Etap I – obejmował pozyskanie reprezentatywnego zbioru Protokołów Kontroli z archiwów Okręgowych Państwowych Inspektoratów Pracy.
- Etap II – obejmował opracowanie modelu procesu wypadku oraz Informatycznej Bazy Danych o wypadkach przy pracy oraz wprowadzanie zgromadzonych danych do bazy.
- Etap III – to opracowanie matematycznych modeli analizowanych zjawisk związanych z wypadkowością w budownictwie.
- Etap IV – obejmował przeprowadzenie badań na modelach oraz analizę uzyskanych wyników.
- Etap V – polegał na sformułowaniu wniosków szczegółowych i końcowych.

#### **4.1 Pozyskanie Protokołów Kontroli**

W celu pozyskania Protokołów Kontroli nawiązano współpracę z Okręgowymi Inspektoratami Państwowej Inspekcji Pracy. Oddziały Okręgowych Inspektoratów Pracy posiadają w swoich zbiorach dokumentację wypadkowe dotyczące wypadków śmiertelnych, ciężkich i zbiorowych oraz w niewielkim zakresie wypadków lekkich.

Na podstawie art. 2 ust. 1 *Ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej* (Dz. U. Nr. 112, poz. 1198) (U7), zostały złożone wnioski do Okręgowych Inspektoratów Pracy o udostępnienie informacji dotyczących wypadków przy pracy jakie miały miejsce w budownictwie. Aby chronić dane osób, których dokumenty dotyczyły, zostały one poddane anonimizacji zgodnie z Ustawą (U6) oraz (U7). Anonimizacja dokumentów wynikała również z konieczności objęcia ochroną danych przedsiębiorstw, w których doszło do zdarzenia i wymagała usunięcia z protokołów tych treści, których ujawnienie mogłoby naruszyć dobra osobiste osób poszkodowanych i ich rodzin.

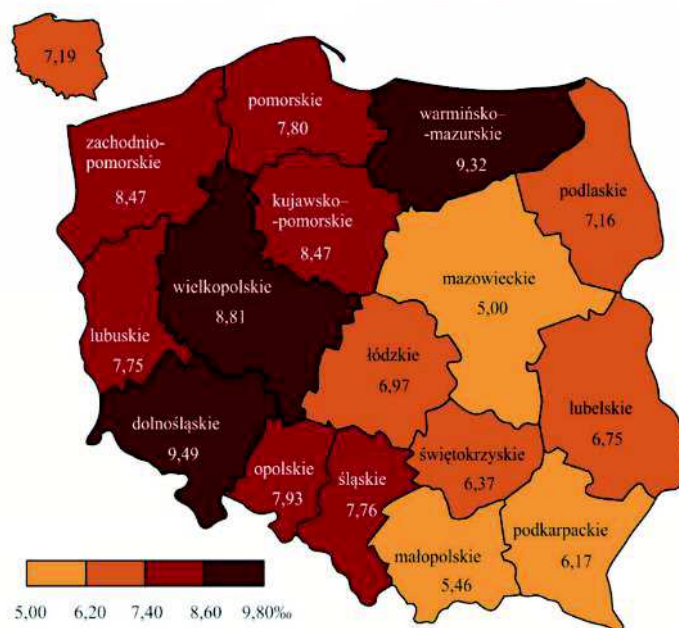
W Polsce w budownictwie rejestrowanych jest rocznie około 6 000 wypadków przy pracy (Główny Urząd Statystyczny, 2016b). Analiza wszystkich zaistniałych zdarzeń nie jest możliwa ze względów kosztowych i czasowych. Dlatego też ograniczono przedział czasu objęty badaniami oraz liczbę województw. Badaniami objęto wypadki, które zdarzyły się w polskim budownictwie w przedziale czasu od 2008 roku do 2014 roku.

Kryterium wyboru poszczególnych województw był wskaźnik częstości wypadków osiągnięty w 2015 roku. Wartości wskaźnika częstości wypadków w poszczególnych województwach przedstawiono na rysunku 4.2.

Do analizy wybrano następujące województwa:

- dolnośląskie - z grupy województw o wskaźniku częstości mieszczącym się w przedziale od 8,60% do 9,80%,
- kujawsko-pomorskie, śląskie oraz lubuskie z grupy województw o wskaźniku częstości mieszczącym się w przedziale od 7,40% do 8,60%,
- lubelskie z grupy województw o wskaźniku częstości mieszczącym się w przedziale od 6,20% - 7,40%.

POSZKODOWANI W WYPADKACH PRZY PRACY OGÓLEM NA 1 000 PRACUJĄCYCH



Rys. 4.2 Wskaźnik częstości wypadków przy pracy (GUS, 2016b)

Na rysunku 4.3 przedstawiono mapę z wyszczególnionymi województwami poddanymi analizie.



Rys. 4.3 Mapa Polski z wyszczególnionymi województwami poddanymi analizie (opracowanie własne)

Podstawowym kryterium włączenia do analizy Protokołów Kontroli, otrzymanych z Okręgowych Inspektoratów Pracy, była kompletność zawartych danych w dokumentacji,



a w szczególności wystarczająca szczegółowość informacji o poszkodowanym oraz o przebiegu i okolicznościach wypadku umożliwiającą jego odtworzenie.

W celu ułatwienia prowadzonych badań przyjęto założenie, że jeden wypadek odpowiada jednej poszkodowanej osobie. Jeżeli w wypadku poszkodowanych zostało dwie lub więcej osób, wówczas analiza prowadzona jest tak jakby każda z nich poszkodowana została w oddzielnym zdarzeniu. Badaniom poddano 485 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy zgodnie z tabelą 4.1.

Tabela 4.1 Zestawienie liczby zgromadzonych protokołów

Województwo	Liczba wypadków przy pracy							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Suma
dolnośląskie	28	27	23	28	23	21	21	<b>171</b>
kujawsko-pomorskie	16	15	8	17	9	11	13	<b>89</b>
lubelskie	9	15	8	7	9	11	5	<b>64</b>
lubuskie	6	6	8	6	2	8	8	<b>44</b>
śląskie	18	10	11	11	41	9	17	<b>117</b>
							<b>SUMA</b>	<b>485</b>

## 4.2 Opracowanie modelu procesu wypadku oraz budowa bazy danych

Przy opracowaniu modelu procesu wypadku wykorzystano metodę badań naukowych polegającą na analizie dokumentów. Przeprowadzono analizę wybranych Protokołów Kontroli pod kątem zawartych w nich informacji. Na podstawie tej analizy dokonano klasyfikacji zawartych informacji i utworzono strukturę wiedzy o wypadkach przy pracy.

Korzystając z modelu wypadku zaproponowanego przez Europejski Urząd Statystyczny Unii Europejskiej (EUROSTAT) oraz słownika definicji, pojęć i oznaczeń kodowych opracowanego przez GUS zaproponowano model wypadku, w postaci przyczynowo-skutkowego ciągu, składającego się z 11 zdarzeń (węzłów) połączonych relacjami.

Model ten jest podstawą dla utworzonej struktury bazy danych o wypadkach przy pracy obejmującej:

- dane ogólne o wypadku,
- dane o osobie poszkodowanej,
- informację o przebiegu wypadku i jego skutkach,
- przyczyny wypadku.

Zaproponowana struktura wiedzy stanowiła podstawę do zbudowania bazy danych w formie dwuwymiarowej tabeli. Fragment bazy danych przedstawiono w tabeli 4.2. Każdy wiersz tabeli zawiera informacje o pojedynczym wypadku przy pracy, natomiast poszczególne kolumny zawierają informacje jednego typu o wszystkich wypadkach zawartych w bazie.

Do opisu wypadków zastosowano określenia zawarte w metodyce opracowanej przez Główny Urząd Statystyczny (2017a), obowiązującej w badaniu wypadków w krajach Unii Europejskiej. Zgodnie z przyjętymi zasadami zbierania danych o wypadkach, każdemu zdefiniowanemu określeniu przypisany został kod liczbowy.

Zbudowano program komputerowy w postaci systemu aplikacji webowej „Informatyczna Baza Danych”. Wprowadzanie danych do modelu odbywało się w sposób ciągły, w miarę

napływania protokołów z OPIP. Każdy protokół był analizowany zgodnie z opracowanym modelem wypadku.

Tabela 4.2 Fragment bazy danych

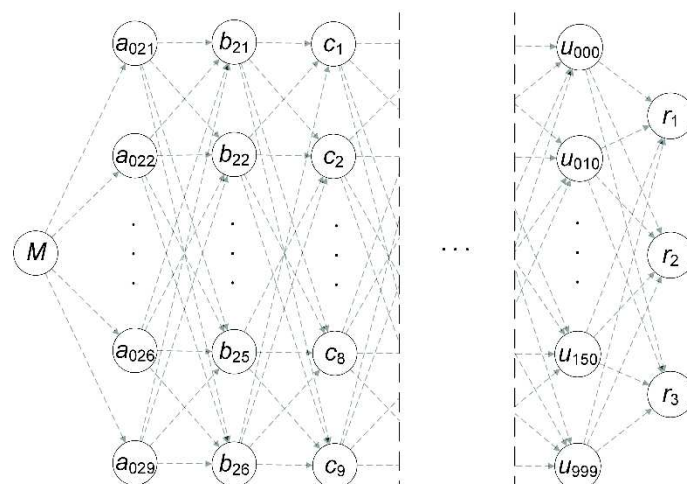
L.p.	Oznaczenie protokołu	Oznaczenie robocze	Dokumentacja fotograficzna	Rok urodzenia	Data wypadku	Dzień tygodnia	Miesiąc	...
$j$								
1								
.								
.								
$m$								

### 4.3 Opracowanie matematycznych modeli analizowanych zjawisk związanych z wypadkowością

Opracowano matematyczne modele zjawisk związanych z wypadkowością. Dotyczyły one:

- struktury złożonego procesu wypadkowego uwzględniającej specyfikę różnych wypadków wprowadzanych do IBD,
- metodyki obliczania prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy w zarejestrowanym zbiorze wypadków,
- metodyki analizy przyczyn i skutków wypadków,
- profilu zawodowego pracownika budowlanego najczęściej ulegającego wypadkowi.

Na podstawie analizy Protokołów Kontroli stwierdzono, że każdy wypadek przebiega według innego scenariusza. Dlatego też, zbiór wypadków przedstawiono w formie grafu skierowanego, którego uproszczony model przedstawiono na rysunku 4.4.



Rys. 4.4 Fragment modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie (opracowanie własne)

Węzły w grafie oznaczają wyodrębnione w procesie wypadkowym elementy procesu pracy, natomiast łuki oznaczają relacje zachodzące między poszczególnymi elementami. Każdemu wypadkowi odpowiada jedna ścieżka w grafie. Opracowano metodykę obliczania



prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy, w której wykorzystano rachunek macierzowy, rachunek prawdopodobieństwa i statystykę matematyczną.

Każdy wypadek spowodowany jest kilkoma przyczynami i wywołuje określone skutki. W ramach dysertacji, opracowano metodykę analizy przyczyn wypadków. Przeprowadzona analiza pozwoliła wyłonić przyczyny wypadków o największym znaczeniu dla bezpieczeństwa pracy. Na tym etapie badań wykorzystano analizę Pareto-Lorenza oraz analizę ABC.

Człowiek w procesie wypadkowym występuje w potrójnej roli: jako decydent, sprawca i poszkodowany. Dlatego też, należy zwrócić szczególną uwagę na cechy osób ulegających wypadkom. W tym kontekście, opracowano profil zawodowy pracownika ulegającego wypadkom. Na tym etapie badań wykorzystano analizę skupień.

#### **4.4 Badania na modelu i analiza wyników**

Na etapie IV przeprowadzone zostały obliczenia z wykorzystaniem opracowanych modeli matematycznych. Według indywidualnych scenariuszy wypadkowych zakodowanych w bazie danych, symulowane były przebiegi kolejno następujących po sobie wypadków. Na wyjściu z modelu otrzymano poszukiwane charakterystyki złożonego procesu wypadkowego.

#### **4.5 Wnioski**

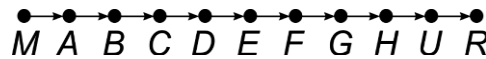
Wyniki analiz były podstawą sformułowania wniosków szczegółowych i końcowych.

## 5 Model przyczynowo-skutkowy wypadku przy pracy

Jak już wcześniej wspomniano, każdy wypadek przy pracy przebiega według określonego scenariusza zapisanego w Protokole Kontroli. Na podstawie analizy Protokołów Kontroli opracowano model pojedynczego wypadku, w postaci ciągu przyczynowo-skutkowego.

### 5.1 Struktura modelu

Model ten w postaci prostego grafu skierowanego składa się z 11 węzłów (zdarzeń) połączonych relacjami. Zdarzenie poprzedzające w tym ciągu jest przyczyną zdarzenia następującego, natomiast zdarzenie następujące jest skutkiem zdarzenia poprzedzającego. Przyjęty w pracy model przedstawiono na rysunku 5.1.



Rys. 5.1 Model wypadku w postaci ciągu przyczynowo-skutkowego (opracowanie własne)

W modelu wyodrębniono następujące węzły:

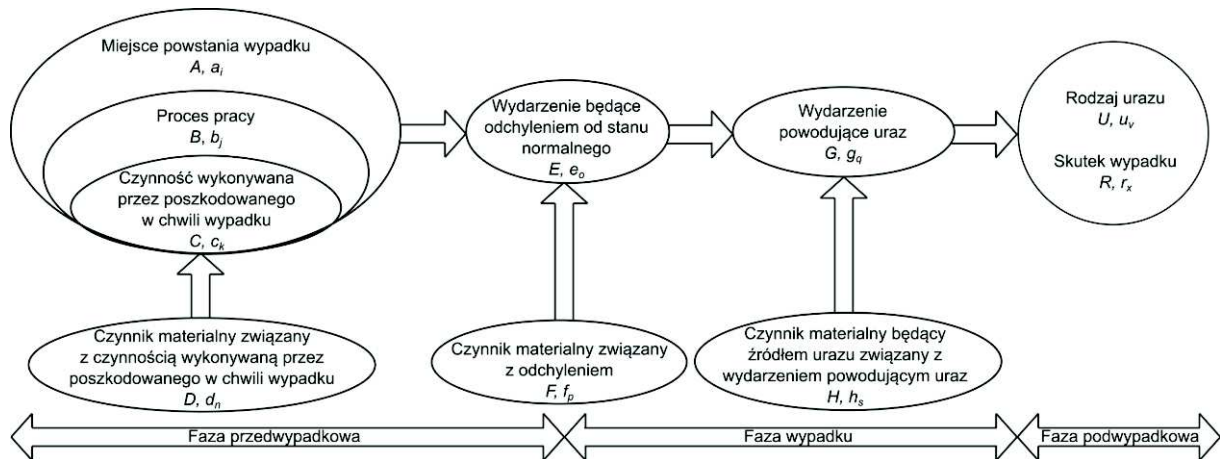
- M* – zdarzenie inicjujące wypadek,
- A* – miejsce powstania wypadku,
- B* – proces pracy, w trakcie którego zdarzył się wypadek,
- C* – czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku,
- D* – czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku,
- E* – wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego,
- F* – czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego,
- G* – wydarzenie powodujące uraz,
- H* – czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz,
- U* – rodzaj urazu,
- R* – skutek wypadku.

W celu uwzględnienia wszystkich okoliczności przebiegu i skutków wypadku, w zaproponowanym modelu, wyróżniono dwa rodzaje zdarzeń:

- zdarzenie rzeczywiste, które zgodnie z teorią systemów powodują zmianę stanu systemu jakim jest plac budowy (*E* i *G*),
- zdarzenia pozorne opisujące okoliczności w jakich doszło do wypadku oraz jego skutki (*A*, *B*, *C*, *D*, *F*, *H*, *U*, *R*).

Każdy pojedynczy wypadek inicjowany jest przez zdarzenie pozorne (*M*).

Dla porównania, na rysunku 5.2. przedstawiono model wypadku zaproponowanego przez EUROSTAT, na którym zaznaczono dodatkowo węzły wyszczególnione w modelu przyczynowo-skutkowym przedstawionym na rysunku 5.1. Mała litera z indeksem oznacza rozwiązanie szczegółowe dotyczące danego węzła.



Rys. 5.2 Uszczegółowiony model wypadku (opracowanie własne)

W modelu tym wyróżniono trzy fazy:

- Fazę przedwypadkową obejmującą takie elementy jak: miejsce pracy ( $A, a_i$ ), proces pracy ( $B, b_j$ ) oraz czynność ( $C, c_k$ ) wykonywaną przez pracownika w chwili wypadku. Z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku związany jest czynnik materialny ( $D, d_n$ ).
- Fazę wypadku, którą oddziela od fazy przedwypadkowej wydarzenie ( $E, e_o$ ) będące odchyleniem od stanu normalnego. Jest to wydarzenie niezgodne z właściwym przebiegiem procesu pracy. Na ogół z wydarzeniem ( $E, e_o$ ) związany jest czynnik materialny ( $F, f_p$ ). W wyniku wystąpienia wydarzenia powodującego uraz ( $G, g_q$ ) i kontaktu z czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu ( $H, h_s$ ) następuje przejście do fazy powypadkowej.
- Fazę powypadkową, w której mamy do czynienia ze skutkami wypadku ( $R, r_x$ ), a więc liczbą poszkodowanych, rodzajami doznanych urazów ( $U, u_v$ ), umiejscowieniem urazów, niezdolnością do pracy, stratami materialnymi oraz stratami czasu pracy.

## 5.2 Opis węzłów w modelu

Każdy wypadek rozpoczyna się od zdarzenia inicjującego  $M$  i przebiega poprzez konkretne zdarzenia pośrednie, od węzła  $A$  do węzła  $U$ , doprowadzające do wystąpienia zdarzenia końcowego, którym jest skutek wypadku  $R$ . Należy zauważyć, że budownictwo charakteryzuje się dużą różnorodnością realizowanych obiektów oraz dużą zmiennością warunków realizacji. Z tego powodu każdy węzeł w modelu przedstawionym na rysunku 5.1, w zależności od charakteru placu budowy, miejsca, rodzaju robót oraz stosowanych urządzeń, może mieć wiele różnych znaczeń. Fakt ten należy uwzględnić w budowanym modelu procesu wypadkowego. Dlatego też, poszczególne szczegółowe przypadki, dotyczące różnych sytuacji i okoliczności, identyfikowane są przez indeks zamieszczony przy małej literze oznaczającej węzeł. Poniżej scharakteryzowano główne węzły występujące w modelu:

- $M = \{m\}$  oznacza hipotetyczne źródło generowania wypadków.

- $A = \{a_i; i = 021, 022, \dots, 026, 029\}$  oznacza, że miejscem wypadku przy pracy jest teren budowy, przy czym może to być:
  - obiekt w budowie –  $a_{021}$ ,
  - obiekt rozbierany, burzony, remontowany –  $a_{022}$ ,
  - kopalnia odkrywkowa, kamieniołom, itp. –  $a_{023}$ ,
  - teren budowy pod ziemią –  $a_{024}$ ,
  - teren budowy na wodzie, ponad wodą –  $a_{025}$ ,
  - teren budowy w środowisku wysokiego ciśnienia –  $a_{026}$ ,
  - inne, niewymienione lub nieznane miejsce w tej grupie –  $a_{029}$ .
  
- $B = \{b_j; j = 21, 22, \dots, 25, 29\}$  oznacza proces pracy, czyli podstawowy rodzaj pracy wykonywanej przez osobę poszkodowaną w chwili inicjacji wypadku. Wyróżniono następujące charakterystyczne dla budownictwa procesy:
  - wydobywanie i prace ziemne –  $b_{21}$ ,
  - budowanie nowych budynków –  $b_{22}$ ,
  - budowanie infrastruktury, np. dróg, mostów, tam, portów, itp. –  $b_{23}$ ,
  - przebudowywanie, naprawa, rozbudowywanie, konserwacja obiektów budowlanych i infrastruktury –  $b_{24}$ ,
  - prace rozbiórkowe i wyburzeniowe –  $b_{25}$ ,
  - inne, niewymienione lub nieokreślone prace w tej grupie –  $b_{29}$ .
  
- $C = \{c_k; k = 0, 1, \dots, 9\}$  oznacza czynność wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku, a mianowicie:
  - brak informacji –  $c_0$ ,
  - obsługiwanie maszyn –  $c_1$ ,
  - prace narzędziami ręcznymi –  $c_2$ ,
  - kierowanie/jazda środkami transportu/obsługa ruchomych maszyn i innych urządzeń –  $c_3$ ,
  - operowanie przedmiotami –  $c_4$ ,
  - transport ręczny –  $c_5$ ,
  - poruszanie się –  $c_6$ ,
  - obecność –  $c_7$ ,
  - inna czynność –  $c_9$ .
  
- $D = \{d_n; n = 00, 01, \dots, 20, 99\}$  oznacza czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku. Dla budownictwa wyróżnić można m.in. następujące czynniki materialne:
  - czynnik materialny nie występuje –  $d_{00}$ ,
  - budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu –  $d_{01}$ ,
  - budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się nad poziomem gruntu –  $d_{02}$ ,

- budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu –  $d_{03}$ ,
  - systemy dostaw, dystrybucji i odprowadzania gazów, cieczy i ciał stałych, sieci rur i instalacje –  $d_{04}$ ,
  - urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii –  $d_{05}$ ,
  - narzędzia ręczne bez napędu –  $d_{06}$ ,
  - narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie –  $d_{07}$ ,
  - maszyny, wyposażenie – przenośne lub ruchome –  $d_{09}$ ,
  - maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne –  $d_{10}$ ,
  - maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania –  $d_{11}$ ,
  - pojazdy drogowe –  $d_{12}$ ,
  - inne pojazdy transportowe –  $d_{13}$ ,
  - materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn –  $d_{14}$ ,
  - substancje chemiczne, promieniotwórcze, wybuchowe, biologiczne –  $d_{15}$ ,
  - urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem –  $d_{16}$ ,
  - wyposażenie biura, osobiste, sportowe, broń –  $d_{17}$ ,
  - ludzie i inne organizmy żywe –  $d_{18}$ ,
  - odpady –  $d_{19}$ ,
  - zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego –  $d_{20}$ ,
  - inny czynnik materialny –  $d_{99}$ .
- $E = \{e_o; o = 0, 1, \dots, 9\}$  oznacza wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego, czyli wydarzenie niezgodne z właściwym przebiegiem procesu pracy, które inicjuje powstanie niebezpiecznego wypadku. Wydarzeniem takim może być m.in.:
    - brak informacji –  $e_0$ ,
    - odchylenie związane z elektrycznością, wybuchem, pożarem –  $e_1$ ,
    - odchylenie związane z wyrzutem, wyciekami, emisją substancji szkodliwych –  $e_2$ ,
    - uszkodzenie, rozerwanie, pęknięcie, ześlizgnięcie, upadek, załamanie się czynnika materialnego –  $e_3$ ,
    - utrata kontroli nad maszyną, środkami transportu, transportowanym ładunkiem, narzędziem, obiektem –  $e_4$ ,
    - poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby –  $e_5$ ,
    - ruchy ciała bez wysiłku fizycznego, prowadzące na ogół do urazów zewnętrznych –  $e_6$ ,
    - ruchy ciała związane z wysiłkiem fizycznym, prowadzące na ogół do urazów wewnętrznych –  $e_7$ ,
    - wstrząs, strach, przemoc, atak, zagrożenie, obecność –  $e_8$ ,
    - inne odchylenie –  $e_9$ .

- $F = \{f_p; p = 00, 01, \dots, 20, 99\}$  oznacza czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego. Klasyfikacja czynników materialnych pokrywa się z listą czynników wyróżnionych w węźle  $D$ .
- $G = \{g_q; q = 0, 1, \dots, 9\}$  oznacza niebezpieczne zdarzenie, które jest skutkiem powstałego odchylenia powodujące uraz. Do zdarzeń niebezpiecznych zakwalifikowano:
  - brak informacji –  $g_0$ ,
  - kontakt z prądem elektrycznym, temperaturą, niebezpiecznymi substancjami i preparatami chemicznymi –  $g_1$ ,
  - tonięcie, zakopanie, zamknięcie –  $g_2$ ,
  - zderzenie z, uderzenie w nieruchomy obiekt –  $g_3$ ,
  - uderzenie przez obiekt w ruchu –  $g_4$ ,
  - kontakt z przedmiotem ostrym, szorstkim, chropowatym –  $g_5$ ,
  - uwięzienie, zmiżdżenie –  $g_6$ ,
  - obciążenie fizyczne lub psychiczne –  $g_7$ ,
  - przejaw agresji ze strony człowieka lub zwierzęcia –  $g_8$ ,
  - inne wydarzenie –  $g_9$ .
- $H = \{h_s; s = 00, 01, \dots, 20, 99\}$  oznacza czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz. Klasyfikacja czynników materialnych pokrywa się z listą czynników wyróżnionych w węźle  $D$ .
- $U = \{u_v; v = 000, 010, \dots, 140, 999\}$  oznacza rodzaj urazu doznanego przez poszkodowanego w wyniku kontaktu z niebezpiecznym czynnikiem materialnym. Wyróżniono m.in. następujące urazy:
  - rodzaj urazu nieznanego lub nieokreślonego –  $u_{000}$ ,
  - rany i powierzchniowe rany –  $u_{010}$ ,
  - złamania kości –  $u_{020}$ ,
  - przemieszczenia, zwichnięcia, skręcenia i naderwania –  $u_{030}$ ,
  - amputacje urazowe –  $u_{040}$ ,
  - urazy wewnętrzne –  $u_{050}$ ,
  - oparzenia ogniem lub środkami chemicznymi, oparzenia wodą lub parą, odmrożenia –  $u_{060}$ ,
  - zatrucia, zakażenia –  $u_{070}$ ,
  - tonięcie, duszenie z powodu braku tlenu –  $u_{080}$ ,
  - skutki dźwięków, wibracji i ciśnienia –  $u_{090}$ ,
  - skutki ekstremalnych temperatur, oświetlenia oraz promieniowania –  $u_{100}$ ,
  - wstrząsy (ostra reakcja na stres, wstrząs urazowy) –  $u_{110}$ ,
  - liczne urazy –  $u_{120}$ ,
  - uraz w wyniku upadku z wysokości –  $u_{130}$ ,
  - uraz w wyniku zasypania ziemią –  $u_{140}$ ,
  - śmierć poszkodowanego –  $u_{150}$ ,



- inny uraz –  $u_{999}$ .
- $R = \{r_x; x = 1, 2, 3\}$  oznacza rodzaj wypadku (skutek). W wyniku wypadku przy pracy może dojść do:
  - śmierci osoby poszkodowanej (wypadek śmiertelny) –  $r_1$ ,
  - ciężkich uszkodzeń ciała (wypadek ciężki) –  $r_2$ ,
  - lekkich uszkodzeń ciała (wypadek lekki) –  $r_3$ .

### 5.3 Przykładowa analiza wypadku

W celu zobrazowania wypadku jako ciągu przyczynowo-skutkowego zamieszczono analizę wypadku, który miał miejsce na terenie budowy, podczas prac remontowych (Protokół Kontroli 16224-5303-K061-Pt/12). Poszkodowany pracownik zatrudniony był na stanowisku „murarz, cieśla budowlany”. W dniu wypadku, na terenie remontowanej kamienicy pensjonatu, poszkodowany został skierowany do demontażu stolarki okiennej na pierwszym piętrze budynku w pomieszczeniach o zabudowanych stałych stropach. Pomieszczenie w którym poszkodowany miał wykonywać pracę przedstawiono na rysunku 5.3. Około godziny 11:30 samowolnie, bez wyraźnego polecenia majstra budowy, poszkodowany zmienił miejsce wykonywania pracy. Przeszedł do pomieszczenia, pod którym nie było pełnego zabudowanego stropu. Poszkodowany poruszał się tylko po belkach stropowych. Widok rozstawu belek stropowych pomieszczenia przedstawiono na rysunku 5.4.



Rys. 5.3 Pomieszczenia w których poszkodowany miał wykonywać pracę (16224-5303-K061-Pt/12)



Rys. 5.4 Widok rozstawu belek stropowych pomieszczenia z którego spadł poszkodowany (16224-5303-K061-Pt/12)

Będąc w połowie szerokości pomieszczenia skierował się do otworu okiennego, aby ocenić, czy łatwo będzie zdemontować stolarkę okienną. Aby ją zdemontować konieczne było zerwanie płyty paździerzowej zakrywającej otwór okienny. Stojąc na belkach stropu, szarpnął płytę, która nieoczekiwanie lekko uwolniła się z mocujących ją gwoździ. Pracownik stracił równowagę i spadł w niekontrolowany sposób z poziomych belek stropowych na posadzkę kondygnacji poniżej. W wyniku zdarzenia doznał rozległych urazów, m.in. złamania nasad dalszych obu kości promieniowych, talerza biodrowego, kości ciemieniowej prawej, kości

skroniowej, skrzydła kości klinowej. Miejsce upadku pracownika przedstawiono na rysunku 5.5.

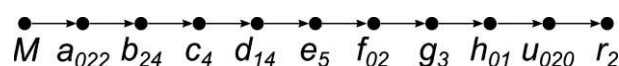


Rys. 5.5 Miejsce upadku poszkodowanego (16224-5303-K061-Pt/12)

Na podstawie Protokołu Kontroli nr 16224-5303-K061-Pt/12 odtworzono proces wypadkowy klasyfikując zdarzenia zgodnie z przyjętym modelem, a mianowicie:

- miejsce powstania wypadku: obiekt remontowany –  $a_{022}$ ,
- proces pracy: przebudowywanie budynku –  $b_{24}$ ,
- czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku: odrywanie płyty paździerzowej zakrywającej otwór okienny –  $c_4$ ,
- czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku: płyta paździerzowa –  $d_{14}$ ,
- wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego: upadek poszkodowanego z wysokości na niższy poziom –  $e_5$ ,
- czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego: poziom belek stropowych –  $f_{02}$ ,
- wydarzenie powodujący uraz: uderzenie poszkodowanego w posadzkę niższej kondygnacji –  $g_3$ ,
- czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz: posadzka niższej kondygnacji –  $h_{01}$ ,
- rodzaj urazu: złamania kości –  $u_{020}$ ,
- skutek wypadku: ciężkie uszkodzenie ciała –  $r_2$ .

Dla omówionego wypadku, model w postaci ciągu przyczynowo-skutkowego przedstawiono na rysunku 5.6.



Rys. 5.6 Model wypadku w postaci ciągu przyczynowo-skutkowego (opracowanie własne)



## 6 Informatyczna Baza Danych o wypadkach przy pracy w budownictwie

W ramach realizowanej pracy zbudowano Informatyczną Bazę Danych (IBD) stanowiącą repozytorium dla gromadzonych danych o wypadkach przy pracy w budownictwie. IBD poza gromadzeniem danych umożliwia prowadzenie różnorodnych analiz statystycznych zbioru wypadków zawartego w bazie.

Jak już wspomniano, do opisu wypadków zastosowano określenia zawarte w metodyce opracowanej przez Główny Urząd Statystyczny (2017a), obowiązującej w badaniu wypadków w krajach Unii Europejskiej (ESAW, 2013). Zakres struktury IBD dotyczy:

- informacji ogólnych jak: oznaczenie protokołu, oznaczenie robocze, województwo, rok, miejscowość, opis wypadku, warunki atmosferyczne (pogodowe) podczas prowadzenia prac, liczba pracujących,
- danych dotyczących poszkodowanego, jak: płeć, rok urodzenia, wiek, obywatelstwo, status zatrudnienia, zawód wykonywany, przygotowanie do wykonywania pracy, staż pracy,
- wypadku i jego przebiegu, jak: data i godzina wypadku, godziny przepracowane przez poszkodowanego, miejsce wypadku, liczba poszkodowanych, proces pracy, czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku, czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku, wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego, czynnik materialny związany z odchyleniem, wydarzenie powodujące uraz, czynnik materialny będący źródłem urazu, rodzaj i umiejscowienie urazu, skutek wypadku,
- przyczyn wypadku.

Zaproponowana struktura wiedzy stanowiła podstawę do zbudowania bazy danych w formie dwuwymiarowej tablicy. Każdy wiersz tablicy zawiera informacje o pojedynczym wypadku przy pracy, natomiast poszczególne kolumny zawierają informacje jednego typu o wszystkich wypadkach zawartych w bazie. Strukturę bazy danych przedstawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1 Struktura bazy danych

L.p.	Oznaczenie protokołu	Oznaczenie robocze	Dokumentacja fotograficzna	Rok urodzenia	Data wypadku	Dzień tygodnia	Miesiąc	...
<i>j</i>								
1								
.								
.								
.								
<i>m</i>								

...	Godzina wypadku	Miejscowość	Rok	Województwo	Opis wypadku	Liczba pracujących		Warunki atmosferyczne	..
						opis	kod		

...	Płeć	Wiek		Obywatelstwo		Status zatrudnienia		Zawód wykonywany		...
		opis	kod	opis	kod	opis	kod	opis	kod	

...	Przygotowanie pracownika do pracy										...
	Instruktaż ogólne		Instruktaż stanowiskowy		Szkolenie okresowe		Orzeczenie lekarskie		Kwalifikacje		
	opis	kod	opis	kod	opis	kod	opis	kod	opis	kod	

...	Staż pracy		Liczba godzin przepracowanych		Miejsce powstania wypadku		Liczba osób poszkodowanych	Proces pracy		...
	opis	kod	opis	kod	opis	kod		opis	kod	

...	Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego		Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego		...
	opis	kod	opis	kod	opis	kod	

...	Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego		Wydarzenie powodujące uraz		Czynnik materialny będący źródłem urazu		...
	opis	kod	opis	kod	opis	kod	

...	Rodzaju urazu		Umiejscowienie urazu		Skutek wypadku		Przyczyny wypadku	
	opis	kod	opis	kod	opis	kod	opis	kod

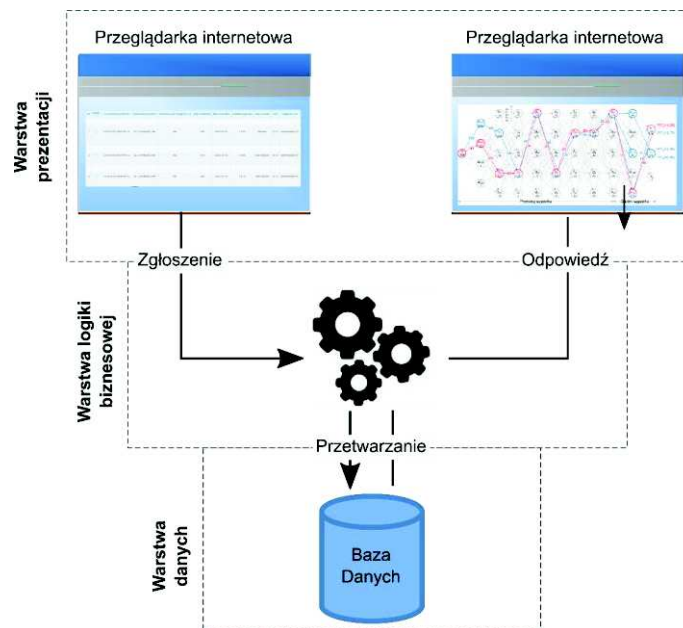
## 6.1 Budowa Informatycznej Bazy Danych

Informatyczna Baza Danych jest to system utworzony we współpracy z firmą Solsoft Spółka z o. o. Sp.k. z siedzibą we Wrocławiu, w postaci aplikacji webowej i został on zainstalowany na serwerze Politechniki Wrocławskiej.

System zbudowany został w architekturze wielowarstwowej, w aplikacji J2EE, składającej się z 3 warstw, a mianowicie:

- warstwy prezentacji,
- warstwy logiki biznesowej,
- warstwy danych.

Strukturę systemu przedstawiono na rysunku 6.1. Użytkownik Informatycznej Bazy Danych ma dostęp do serwera za pomocą przeglądarki internetowej pod adresem [www.ibd.pwr.edu.pl](http://www.ibd.pwr.edu.pl).



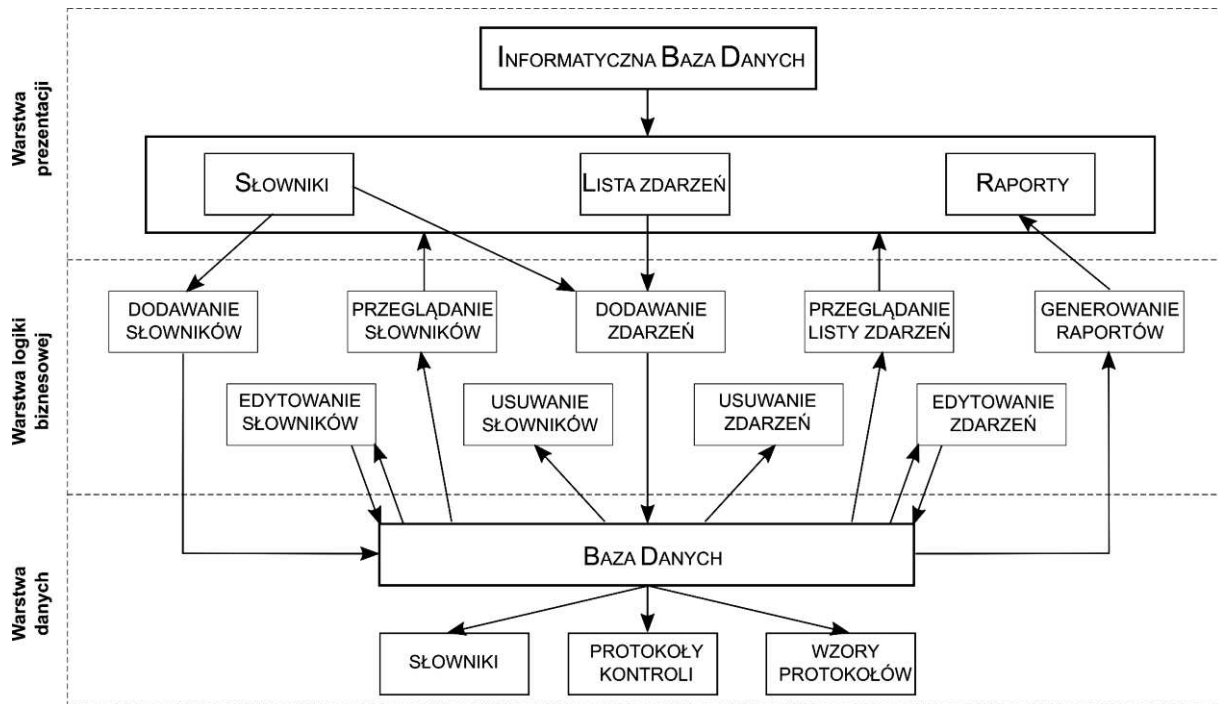
Rys. 6.1 Uproszczony schemat architektury Informatycznej Bazy Danych  
(opracowanie własne)

Warstwa zewnętrzna IBD odpowiada za interakcję aplikacji z użytkownikiem, tzn. za wyświetlanie i wprowadzanie danych. Głównym zadaniem warstwy prezentacji jest przetworzenie danych otrzymanych od aplikacji (warstwy logiki biznesowej) w zrozumiałym dla użytkownika języku i formie graficznej.

Warstwa logiki biznesowej odpowiedzialna jest za przetwarzanie żądań od użytkownika. Dzięki tej warstwie aplikacja umożliwia wprowadzanie, wyszukiwanie, wymianę oraz przetwarzanie informacji przez użytkownika, a także możliwe jest administrowanie i bezpieczeństwo systemu. W tej warstwie przygotowywane są również dane do wysłania z bazy danych do warstwy prezentacji.

Warstwa danych przechowuje i udostępnia dane wykorzystywane przez pozostałe warstwy: warstwę logiki biznesowej oraz prezentacji. W bazie danych obsługiwane są takie formaty plików jak: Word, Excel czy PDF. Na rysunku 6.2 przedstawiono komponenty zaimplementowane w Informatycznej Bazie Danych oraz występujące między nimi zależności wraz z ich funkcjonalnością.





Rys. 6.2 Komponenty Informatycznej Bazy Danych i ich zależności (opracowanie własne)

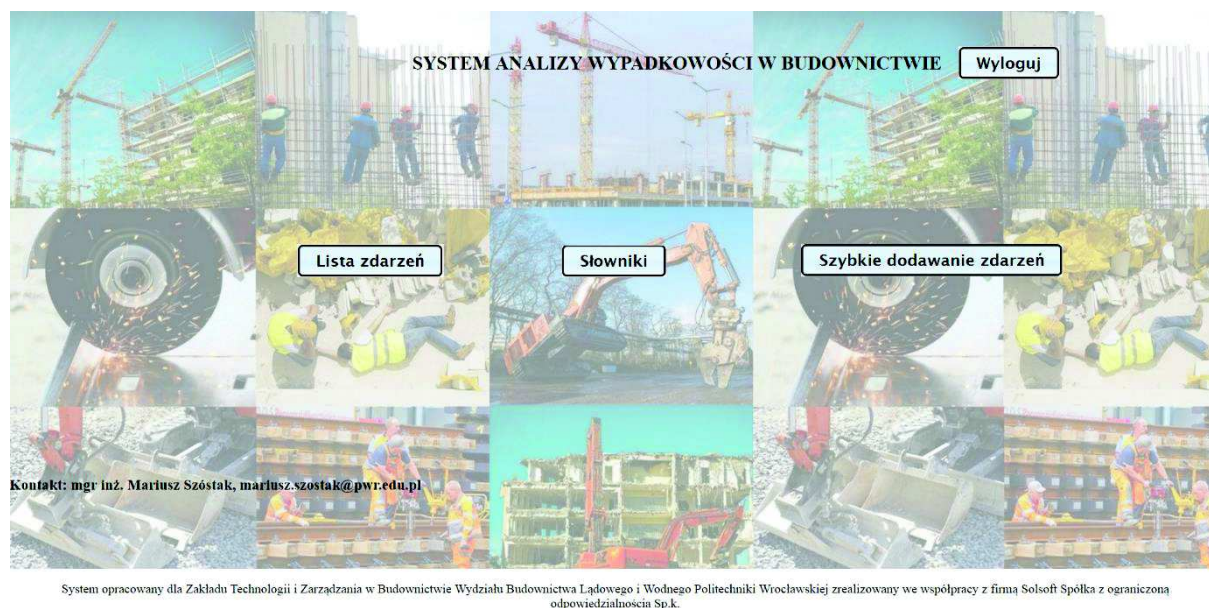
## 6.2 Wprowadzanie danych od Informatycznej Bazy Danych

Dostęp do systemu IBD mają tylko użytkownicy, którym nadano odpowiednie uprawnienia, tzn. nadano im unikatowy login oraz hasło. Widok strony startowej przedstawiono na rysunku 6.3.



Rys. 6.3 Strona startowa Informatycznej Bazy Danych (opracowanie własne)

Po zalogowaniu się do systemu użytkownikowi ukazuje się menu składające się z trzech elementów: Lista zdarzeń, Słowniki, Szybkie dodawanie zdarzeń. Widok Informatycznej Bazy Danych po zalogowaniu przedstawiono na rysunku 6.4.



Rys. 6.4 Widok menu w Informatycznej Bazie Danych (opracowanie własne)

Okno „Lista zdarzeń” przedstawia wszystkie wprowadzone zdarzenia do IBD i umożliwia dodawania nowych zdarzeń, edytowanie, usuwanie zdarzeń, filtrowanie bazy danych, prowadzenie analiz, generowanie raportów.

Okno „Słowniki” umożliwia edytowanie, dodawanie, usuwanie oraz przeglądanie wprowadzonego do systemu słownika stosowanych symboli i pojęć.

Na podstawie analizy Protokołu Kontroli możliwe jest odtworzenie, krok po kroku, przebiegu pojedynczego zdarzenia wypadkowego i wprowadzenie informacji o wypadku do Informatycznej Bazy Danych. Na rysunku 6.5 pokazano fragment interfejsu użytkownika - widok listy zdarzeń.

Nr	Wybór	Oznaczenie protokołu	Oznaczenie robocze	Dokumentacja fotograficzna	Rok urodzenia	Data wypadku	Godzina wypadku	Miejscowość	Rok	Województwo
1	<input type="checkbox"/>	16235-5317-K007-Pt/12	2012_Protokol 1_Wr	tak	1992	2012-04-01	14:00	Wroclaw	2012	dolnośląskie [16]
2	<input type="checkbox"/>	16240-5303-K019-Pt/12	2012_Protokol 2_Wr	tak	1979	2012-03-09	15:00	brak danych	2012	dolnośląskie [16]

Rys. 6.5 Fragment interfejsu użytkownika w widoku listy zdarzeń (opracowanie własne)

Wprowadzenie danych do IBD podzielone jest na pięć etapów. W pierwszym kroku użytkownik wprowadza informacje ogólne o wypadku przy pracy, tj. oznaczenie dokumentu źródłowego - protokołu kontroli, oznaczenie robocze, miejsce zdarzenia, rok, ogólny opis, okoliczności powstania wypadku, warunki atmosferyczne podczas prowadzenia prac, wielkość przedsiębiorstwa, w którym zdarzył się wypadek. Dodatkowo w tym kroku wgrywany jest do

bazy danych dokument źródłowy, plik w wersji elektronicznej protokołu w formacie .pdf lub .doc. Ponadto istnieje możliwość podania informacji o załączonej w protokole dokumentacji fotograficznej. Widok panelu służącego do wprowadzania informacji ogólnych o wypadku przedstawiono na rysunku 6.6.

The screenshot shows a web application window titled "Dodaj Zdarzenie" (Add Incident). At the top, there are five tabs labeled "Krok 1" through "Krok 5", with "Krok 1" being the active step. The main content area is titled "Informacje ogólne" (General Information) and contains several input fields and buttons:

- Oznaczenie protokołu\*\*:** A text input field with the placeholder "Oznaczenie protokołu".
- Oznaczenie robocze\*\*:** A text input field with the placeholder "Oznaczenie robocze".
- Protokół kontroli\*:** A dropdown menu with a "+ wybierz" button, a "prześlij" button, and an "anuluj" button.
- Województwo\*:** A text input field.
- Rok\*\*:** A text input field.
- Miejscowość\*\*:** A text input field.
- Opis wypadku\*\*:** A large text area for describing the incident.
- Warunki atmosferyczne (pogodowe) podczas prowadzenia prac\*\*:** A text area for describing atmospheric conditions.
- Dokumentacja fotograficzna:** A checkbox.
- Liczba pracujących\*:** A text input field.
- Liczba pracujących(opis)\*\*:** A text area for describing the number of workers.

At the bottom left, there is a red "Anuluj" (Cancel) button. At the bottom right, there is a blue "Dalej" (Next) button with a right-pointing arrow.

Rys. 6.6 Widok panelu służącego do wprowadzania informacji ogólnych o wypadku (opracowanie własne)

W kroku 2 wprowadzane są informacje o osobie poszkodowanej, tzn.: płeć, wiek, obywatelstwo, status zatrudnienia, wykonywany zawód, staż pracy oraz informacje o przygotowaniu pracownika do wykonywania pracy (informacja o odbytych szkoleniach: szkolenie wstępne ogólne i stanowiskowe, szkolenie okresowe, orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do wykonywania prac na stanowisku pracy, posiadane dodatkowe świadectwa kwalifikacji). Widok panelu służącego do wprowadzania informacji o poszkodowanym przedstawiono na rysunku 6.7.

Rys. 6.7 Widok panelu służącego do wprowadzania informacji o poszkodowanym (opracowanie własne)

W kolejnym 3 i 4 kroku użytkownik wprowadza do IBD informacje dotyczące wypadku i jego przebiegu, a mianowicie: datę i godzinę wypadku, liczbę godzin przepracowanych przez poszkodowanego od podjęcia pracy do chwili wypadku, miejsce powstania wypadku, liczbę poszkodowanych, proces pracy, czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku, czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku, wydarzenie niezgodne z właściwym przebiegiem pracy, czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego, wydarzenie powodujące uraz, czynnik materialny będący źródłem urazu, rodzaj urazu, umiejscowienie urazu, skutek wypadku. Widok paneli przedstawiono na rysunku 6.8 oraz 6.9.



**Dodaj Zdarzenie**

Krok 1 Krok 2 **Krok 3** Krok 4 Krok 5

**Wypadek i jego przebieg**

Data wypadku\*:

Godzina wypadku: \*

Godziny przepracowane\*:

Godziny przepracowane(opis)\*\*:

Miejsce wypadku\*:

Miejsce wypadku(opis)\*\*:

Liczba poszkodowanych\*\*\*:

Proces pracy\*:

Proces pracy(opis)\*\*:

Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku\*:

Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku(opis)\*\*:

Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku\*:

Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku(opis)\*\*:

[← Wstecz](#) [→ Dalej](#)

Rys. 6.8 Widok panelu służącego do wprowadzania informacji dotyczących wypadku i jego przebiegu, część 1 z 2 (opracowanie własne)

**Dodaj Zdarzenie**

Krok 1 Krok 2 Krok 3 **Krok 4** Krok 5

**Wypadek i jego przebieg**

Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego\*:

Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego(opis)\*\*:

Czynnik materialny związany z odchyleniem\*:

Czynnik materialny związany z odchyleniem(opis)\*\*:

Wydarzenie powodujące uraz\*:

Wydarzenie powodujące uraz(opis)\*\*:

Czynnik materialny będący źródłem urazu\*:

Czynnik materialny będący źródłem urazu(opis)\*\*:

Rodzaj urazu\*:

Umiejscowienie urazu\*:

Umiejscowienie urazu(opis)\*\*:

Skutki wypadku\*:

[← Wstecz](#) [→ Dalej](#)

Rys. 6.9 Widok panelu służącego do wprowadzania informacji dotyczących wypadku i jego przebiegu, część 2 z 2 (opracowanie własne)

W ostatnim, 5 kroku, wprowadzane są przyczyny, które doprowadziły do zaistnienia wypadku przy pracy zgodnie z przyjętym podziałem na techniczne, organizacyjne i ludzkie. Widok panelu przedstawiono na rysunku 6.10.



**Dodaj Zdarzenie**

Krok 1 Krok 2 Krok 3 Krok 4 **Krok 5**

**Wypadek i jego przebieg**

Przyczyny wypadku		
Opis(ze Słownika)	Opis(uszczegółowienie z PK)	Kod
<b>Wady konstrukcyjne lub niewłaściwe rozwiązania techniczne i ergonomiczne czynnika materialnego</b>	-----	
Wady konstrukcyjne czynnika materialnego będące źródłem zagrożenia	<input type="text"/>	001
Niewłaściwa struktura przestrzenna czynnika materialnego	<input type="text"/>	002
Nieodpowiednia wytrzymałość czynnika materialnego	<input type="text"/>	003
Niewłaściwa stateczność czynnika materialnego	<input type="text"/>	004
Brak lub niewłaściwe urządzenia zabezpieczające	<input type="text"/>	005
Brak lub niewłaściwe środki ochrony zbiorowej	<input type="text"/>	006
Niewłaściwe elementy sterownicze	<input type="text"/>	007

**Zapisz**

[← Wstecz](#)

Rys. 6.10 Widok panelu służącego do wprowadzania przyczyn wypadku (opracowanie własne)

### 6.3 Przykłady wypadków wprowadzonych do IBD

Aby przedstawić sposób wprowadzania zdarzeń i korzystania z bazy danych przeanalizowano 6 różnych wypadków przy pracy. Ich zestawienie przedstawiono w tabeli 6.2.

Tabela 6.2 Zestawienie przykładowych wypadków przy pracy

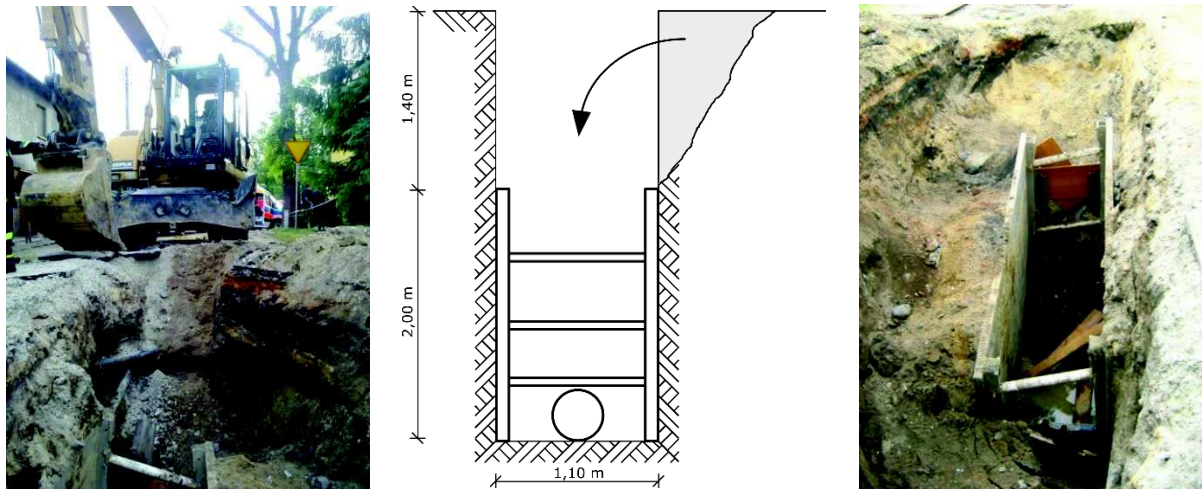
Nr	Data	Numer protokołu	Województwo	Wydarzenie powodujące uraz
1	06.06.2011 r.	16068-5303-K051-Pt/11	dolnośląskie	zasypanie poszkodowanego gruntem z wykopu
2	25.08.2011 r.	08062-5303-K031-Pt/11	lubelskie	uwięzienie poszkodowanego pod zawaloną ścianą
3	26.07.2013 r.	08062-5317-K027-Pt/13	lubelskie	upadek poszkodowanego z rusztowania
4	20.08.2013 r.	08058-5303-K035-Pt/13	lubelskie	poparzenie poszkodowanego w wyniku pożaru
5	05.08.2014 r.	16305-5303-K050-Pt/14	dolnośląskie	kontakt poszkodowanego z ostrzem piły tarczowej
6	25.10.2014 r.	08074-5303-K066-Pt/14	lubelskie	uderzenie poszkodowanego przez spadający obiekt

### 6.3.1 Wypadek 1: zasypanie poszkodowanego gruntem z wykopu

Wypadek miał miejsce podczas budowy sieci kanalizacji sanitarnej we wsi Karczyce, w województwie dolnośląskim. W dniu wypadku do pracy przystąpiło 5 pracowników. Trzy osoby były zatrudnione jako monterzy instalacji sanitarnych, jedna jako operator koparki i jedna jako kierowca samochodu ciężarowego. Nadzór nad pracą sprawował kierownik robót, który w czasie wypadku był nieobecny na budowie. Pracownicy przyjechali na budowę około godziny 10.

Około godziny 12:00 pracownicy obecni na budowie przystąpili do wykonywania zleconych prac związanych z wykonywaniem sieci kanalizacji sanitarnej. Prace rozpoczął operator koparki. W trakcie wykonywania wykopu, na głębokości około 1,2 m, pracownicy znaleźli taśmę sygnalizacyjną od istniejącej rury tłocznej kanalizacji. Do zabezpieczenia ścian wykopu przygotowana została obudowa o wysokości 2,7 m i szerokości 1,45 m. W związku z tym, że istniejąca rura znajdowała się w osi wykonywanego wykopu na głębokości 3,4 m, a szerokość dna wykopu wynosiła tylko 1,1 m, nie było możliwe włożenie do wykopu przygotowanej wcześniej obudowy. Z uwagi na gabaryty obudowa nie zmieściłaby się w wykopie. Zdecydowano więc o zastosowaniu mniejszej obudowy o wysokości 2,0 m i szerokości 1,1 m. Operator koparki wybierał ziemię z wykopu z wnętrza obudowy, która wbijała się coraz głębiej, aż do osiągnięcia głębokości 3,4 m. Należy zauważyć, że przy głębokości wykopu 3,4 m i wysokości obudowy 2,0 m zabezpieczała ona tylko niższą część wykopu. Skarpa wykopu położona powyżej obudowy o wysokości około 1,4 m nie była niczym zabezpieczona. Urobek częściowo był wywożony samochodem ciężarowym poza teren budowy, a część ziemi składowano przy krawędzi wykopu.

Po osiągnięciu głębokości 3,4 m do wykopu zszedł jeden z pracowników, który odnalazł koniec rury kanalizacji sanitarnej, do której należało montować kolejne odcinki. Następnie do wykopu zszedł drugi pracownik. W pracach wspomagał ich trzeci pracownik, który stał na rozporach obudowy i przy pomocy kawałka blachy powstrzymywał osuwanie się piasku z wyższej części skarpy do wykopu.



Rys. 6.11 Miejsce zasypania uszkodzonego gruntu  
(Protokół Kontroli 16068-5303-K051-Pt/11)

Około godziny 16 podczas wykonywania prac nastąpiło oberwanie się klina odłamu gruntu położonego powyżej obudowy i doszło do zasypania dwóch pracowników znajdujących się w wykopie. Poszkodowani ponieśli śmierć na miejscu. Sytuację miejsca wypadku przedstawiono na rysunku 6.11.

Na podstawie Protokołu Kontroli nr 16068-5303-K051-Pt/11 odtworzono proces wypadkowy identyfikując zdarzenia zgodnie z opisanym w punkcie 5 modelem i przyjętymi oznaczeniami, a mianowicie:

- miejsce powstania wypadku: teren budowy sieci kanalizacji sanitarnej –  $a_{021}$ ,
- proces pracy: prace ziemne związane z wykonaniem instalacji sanitarnej –  $b_{21}$ ,
- czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku: montaż rury kanalizacji sanitarnej –  $c_4$ ,
- czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku: wykop –  $d_{03}$ ,
- wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego: oberwanie się klina odłamu gruntu położonego powyżej obudowy, osunięcie się skarpy wykopu –  $e_3$ ,
- czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego: klin odłamu, grunt –  $f_{20}$ ,
- wydarzenie powodujące uraz: zasypanie uszkodzonych gruntem –  $g_2$ ,
- czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz: klin odłamu, grunt –  $h_{20}$ ,
- rodzaj urazu: śmierć poszkodowanych –  $u_{150}$ ,
- skutek wypadku: śmierć osób poszkodowanych –  $r_1$ .

### 6.3.2 Wypadek 2: uwięzienie uszkodzonego pod zawaloną ścianą

Wypadek miał miejsce podczas prac związanych z wyburzeniem budynku nieczynnej stacji transformatorowo-rozdzielczej usytuowanej na terenie zakładu produkcyjnego w Drzewcach w województwie lubelskim. Rozbiórkę realizowano metodą mechaniczną przy

użyciu lin stalowych i koparko-ładowarki. Ściany rozbieranego budynku były wykonane z cegły silikatowej, natomiast strop był żelbetowy. Brygada robocza składająca się z 4 osób przybyła na teren rozbiórki około godziny 10:00. Prowadzone prace polegały na nawierceniu w ścianach otworów, przez które pracownicy przewlekali liny stalowe. Koniec przełożonej liny blokowano za pomocą metalowego łomu. Drugi koniec liny zamocowany był do koparko-ładowarki, która przemieszczając się wyrywała kolejne kawałki ścian. Na rysunku 6.12 przedstawiono koparko-ładowarkę wykorzystywaną do wyburzenia ścian z przywiązaną do jej ramy liną stalową.

Około godziny 16:30 pracownicy zaplanowali ostatnie wyburzenie. Po zaczepieniu liny do ściany, ale przed podczepieniem jej do koparko-ładowarki, poszkodowany postanowił podejść do wyburzanego budynku w celu usunięcia poluzowanych cegieł. Po kilkukrotnym stuknięciu młotkiem w ścianę budynek zaczął się walić. Poszkodowany próbował uciekać ze strefy zagrożonej zawaleniem, jednak nie zdążył i elementy ściany go przygniotły. W wyniku poniesionych obrażeń poszkodowany zmarł. Rysunek 6.13 obrazuje miejsce wypadku.



Rys. 6.12 Koparko-ładowarka wykorzystywana do wyburzenia ścian z przywiązaną do jej ramy liną stalową (Protokół Kontroli 08062-5303-K031-Pt/11)



Rys. 6.13 Budynek stacji transformatorowo-rozdzielczej po jego zawaleniu się (Protokół Kontroli 08062-5303-K031-Pt/11)

Na podstawie Protokołu Kontroli nr 08062-5303-K031-Pt/11 odtworzono proces wypadkowy klasyfikując zdarzenia zgodnie z przyjętym modelem, a mianowicie:

- miejsce powstania wypadku: obiekt rozbierany, burzony –  $a_{022}$ ,
- proces pracy: prace rozbiórkowe i wyburzeniowe –  $b_{25}$ ,
- czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku: uderzenie młotkiem w burzoną ścianę –  $c_2$ ,
- czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku: ściana budynku nieczynnej stacji transformatorowo-rozdzielczej –  $d_{01}$ ,
- wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego: uderzenie poszkodowanego przez spadające elementy burzonej ściany –  $e_3$ ,
- czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego: ściana budynku nieczynnej stacji transformatorowo-rozdzielczej –  $f_{01}$ ,

- wydarzenie powodujące uraz: uwięzienie poszkodowanego pod zawaloną ścianą –  $g_6$ ,
- czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz: ściana budynku nieczynnej stacji transformatorowo-rozdzielczej –  $h_{01}$ ,
- rodzaj urazu: śmierć poszkodowanego –  $u_{150}$ ,
- skutek wypadku: śmierć osoby poszkodowanej –  $r_1$ .

### 6.3.3 Wypadek 3: upadek poszkodowanego z rusztowania

Wypadek miał miejsce podczas prac wykończeniowych hali sportowej w Biszczy w województwie lubelskim. Prace polegały na wykonaniu poprawek malarskich w budynku, które wykonywano z rusztowania jezdnego typu „warszawskiego”, złożonego z 14 elementów ramowych i dwóch podestów roboczych. Górny pomost roboczy, z którego spadł poszkodowany, znajdował się na wysokości około 4,5 m. Rusztowanie było posadowione na czterech kółkach, z których jedno posiadało hamulec.

Pomosty robocze wykonane były z desek i nie były dostosowane do tego typu rusztowania. Pomosty nie wypełniały całej płaszczyzny przekroju rusztowania oraz posiadały długość większą niż rozstaw ramek rusztowania. Górny pomost ustawiony był na 6. parze ramek, natomiast 7 para nie posiadała założonych barier ochronnych. Na rysunku 6.14 przedstawiono ogólny widok rusztowania z którego spadł poszkodowany.

Około godziny 10:30 poszkodowany pracując na górnym pomoście rusztowania, przemieszczając się wzdłuż pomostu, przeszedł na jego część znajdującą się poza obrysem rusztowania. W tym momencie doszło do przeważenia ciężaru pomostu przez ciężar poszkodowanego i pomost roboczy zaczął się przechylać. Poszkodowany stracił równowagę i spadł na drewnianą podłogę hali.

Na podstawie Protokołu Kontroli nr 08062-5317-K027-Pt/13 odtworzono proces wypadkowy klasyfikując zdarzenia zgodnie z przyjętym modelem, a mianowicie:

- miejsce powstania wypadku: obiekt w budowie –  $a_{021}$ ,
- proces pracy: budowa hali sportowej –  $b_{22}$ ,
- czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku: przemieszczanie się poszkodowanego wzdłuż pomostu roboczego –  $c_6$ ,
- czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku: rusztowanie jezdne typu „warszawskiego” –  $d_{02}$ ,
- wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego: upadek poszkodowanego z podestu roboczego –  $e_5$ ,





Rysunek 6.14 Ogólny widok rusztowania z którego spadł uszkodzony  
(Protokół Kontroli 08062-5317-K027-Pt/13)

- czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego: rusztowanie jezdne typu „warszawskiego” –  $f_{02}$ ,
- wydarzenie powodujące uraz: uderzenie uszkodzonego w drewnianą podłogę hali –  $g_3$ ,
- czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz: drewniana podłoga hali –  $h_{01}$ ,
- rodzaj urazu: uraz w wyniku upadku z wysokości –  $u_{130}$ ,
- skutek wypadku: lekkie uszkodzenie ciała –  $r_3$ .

#### 6.3.4 Wypadek 4: poparzenie uszkodzonego w wyniku pożaru

Wypadek miał miejsce podczas prac związanych z remontem i modernizacją stacji paliw w Lublinie w województwie lubelskim. Do wypadku doszło podczas prac spawalniczych prowadzonych w studzience nazbiornikowej zbiornika paliwa. Prace wykonywała trzyosobowa brygada. Około godziny 9:00 uszkodzony wykonywał prace w studzience nazbiornikowej zbiornika. Prace polegały na wymianie króćców na pokrywie zbiorników znajdujących się w studzienkach. Studzienka nazbiornikowa miała kształt sześciangu o wymiarach około 1,2x1,2x1,2 m. Górna pokrywa studzienki wykonana z blach stalowych, zgodnie z obowiązującymi przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy, była otwarta. Miejsce wypadku przedstawiono na rysunku 6.15.





Rys. 6.15 Miejsce wypadku (Protokół Kontroli 08058-5303-K035-Pt/13)

Poszkodowany wszedł do studzienki i przystąpił do spawania rur stalowych do pokrywy zbiornika za pomocą spawarki elektrycznej i elektrody w otulinie. W czasie spawania doszło do „wybuchu” i pożaru par produktów naftowych. Poszkodowany wyskoczył ze studzienki w spalonych spodniach i poparzonymi nogami. Zatrudnieni na budowie udzielili pomocy poszkodowanemu polewając poparzone nogi wodą i wezwali pogotowie ratunkowe i straż pożarną.

Bezpośrednią przyczyną wypadku było zapalenie się oparów produktów naftowych znajdujących się w zbiorniku. Pośrednią przyczyną było wykonywanie prac z otwartym ogniem na pokrywie zbiornika opróżnionego z paliwa bez absolutnej pewności, że w zbiorniku nie znajdują się resztki paliwa.

Na podstawie Protokołu Kontroli nr 08058-5303-K035-Pt/13 odtworzono proces wypadkowy klasyfikując zdarzenia zgodnie z przyjętym modelem, a mianowicie:

- miejsce powstania wypadku: obiekt remontowany –  $a_{022}$ ,
- proces pracy: naprawa pokrywy zbiornika –  $b_{24}$ ,
- czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku: spawanie rur stalowych do pokrywy zbiornika –  $c_2$ ,
- czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku: spawarka elektryczna –  $d_{07}$ ,
- wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego: wybuch i pożar par produktów naftowych –  $e_1$ ,
- czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego: studzienka nadzbiornikowa –  $f_{03}$ ,
- wydarzenie powodujące uraz: kontakt z płomieniem –  $g_1$ ,
- czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz: studzienka nadzbiornikowa –  $h_{03}$ ,
- rodzaj urazu: oparzenia ogniem lub środkami chemicznymi –  $u_{060}$ ,
- skutek wypadku: ciężkie uszkodzenie ciała –  $r_3$ .

### 6.3.5 Wypadek 5: kontakt uszkodzonego z ostrzem piły tarczowej

Wypadek miał miejsce podczas budowy budynku wielorodzinnego we Wrocławiu w województwie dolnośląskim. W dniu wypadku od godz. 7:00 rano uszkodzony wykonywał pracę polegającą na szalowaniu podciągów. Pracę tą wykonywał w zespole dwuosobowym. Około 13:15 uszkodzony otrzymał polecenie od współpracownika, aby przynieść brakujące deski w celu wykonania pełnych deskowań. Zgodnie z otrzymanym poleceniem uszkodzony miał za zadanie znaleźć odpowiednie deski lub w razie ich braku przeciąć je na piły tarczowej. W związku z ich brakiem uszkodzony rozpoczął przycinanie desek na piły tarczowej do cięcia drewna. Po przecięciu desek próbował lewą ręką wyłączyć piłę. Wyłącznik piły znajdował się pod jej stołem za nieosłoniętą tarczą piły. Uszkodzony pochylił się i włożył rękę pod stół. W tym momencie nastąpił kontakt ręki uszkodzonego z nieosłoniętą, obracającą się tarczą piły. Skutkiem zdarzenia była amputacja lewej ręki na poziomie nadgarstka. Na rysunku 6.16 przedstawiono miejsce wypadku.



Rys. 6.16 Miejsce wypadku (Protokół Kontroli: 16305-5303-K050-Pt/14)

Kontrola wykazała, że pracodawca nie posiadał dokumentacji techniczno-ruchowej przedmiotowej piły, a także brak było potwierdzenia przeprowadzenia wstępnej kontroli piły po jej zainstalowaniu na budowie. Kontrola wykazała również, że tarcza piły nie posiadała osłony tarczy znajdującej się pod stołem, a wyłącznik piły obracał się dookoła własnej osi. Nieprawidłowy stan techniczny piły tarczowej przedstawiono na rysunku 6.17.



Rys. 6.17 Nieprawidłowy stan techniczny piły tarczowej  
(Protokół Kontroli: 16305-5303-K050-Pt/14)

Na podstawie Protokołu Kontroli nr 16305-5303-K050-Pt/14 odtworzono proces wypadkowy klasyfikując zdarzenia zgodnie z przyjętym modelem, a mianowicie:

- miejsce powstania wypadku: teren budowy, obiekt w budowie –  $a_{021}$ ,
- proces pracy: budowanie budynku wielorodzinnego –  $b_{22}$ ,
- czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku: obsługiwanie piły tarczowej do cięcia drewna –  $c_1$ ,
- czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku: piła tarczowa do cięcia drewna –  $d_{10}$ ,
- wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego: poszkodowany włożył rękę w strefę zagrożenia –  $e_6$ ,
- czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego: piła tarczowa do cięcia drewna –  $f_{10}$ ,
- wydarzenie powodujące uraz: kontakt z ostrzem piły tarczowej –  $g_5$ ,
- czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz: piła tarczowa do cięcia drewna –  $h_{10}$ ,
- rodzaj urazu: amputacje ręki –  $u_{040}$ ,
- skutek wypadku: ciężkie uszkodzenie ciała –  $r_2$ .

### 6.3.6 Wypadek 6: uderzenie poszkodowanego przez spadający obiekt

Wypadek miał miejsce podczas modernizacji i rozbudowy magistrali wodociągowej miasta Lublin, w województwie lubelskim. W dniu wypadku pracownicy rozpoczęli pracę od godz. 7:00. Do czasu zaistnienia wypadku wykonywano prace ziemne polegające m.in. na zasypaniu na odcinku około 4 m rurociągu z użyciem koparki Zeppelin typ ZM15C przedstawionej na rysunku 6.18.



Rysunek 6.18 Koparka uczestnicząca w wypadku  
(Protokół Kontroli 08074-5303-K066-Pt/14)

Przy użyciu koparki i czterocięgnowego zawiesia łańcuchowego wyciągnięto z wykopu szalunek systemowy. Po zabraniu szalunku poszkodowany zbliżył się do łyżki koparki znajdującej się na pewnej wysokości, aby zdjąć z jej haka zawiesie łańcuchowe. W momencie,

kiedy uszkodzony znajdował się w zasięgu działania łyżki nastąpił jej upadek. Poszkodowany został uderzony opadającą wraz z wysięgnikiem łyżką koparki. Opadająca łyżka zatrzymała się na wysokości około 0,4 m nad poziomem terenu. Uderzenie uszkodzonego opadającą łyżką koparki doprowadziło do licznych obrażeń skutkujących jego śmiercią.

Świadkowie wypadku jednoznacznie wyjaśnili, że do upadku łyżki doszło wówczas gdy łyżka nie była obciążona ładunkiem. Upadek łyżki nastąpił w wyniku zmęczeniowego zniszczenia sworzni mocującej jeden z siłowników wysięgnika koparki. Siłownik ten wysunął się z mocowania i opadając uderzył w szybę kabiny niszcząc szybę. Sytuację przedstawiono na rysunku 6.19.



Rysunek 6.19 Stan techniczny koparki uczestniczącej w wypadku  
(Protokół Kontroli 08074-5303-K066-Pt/14)

Na podstawie Protokołu Kontroli nr 08074-5303-K066-Pt/14 odtworzono proces wypadkowy klasyfikując zdarzenia zgodnie z przyjętym modelem, a mianowicie:

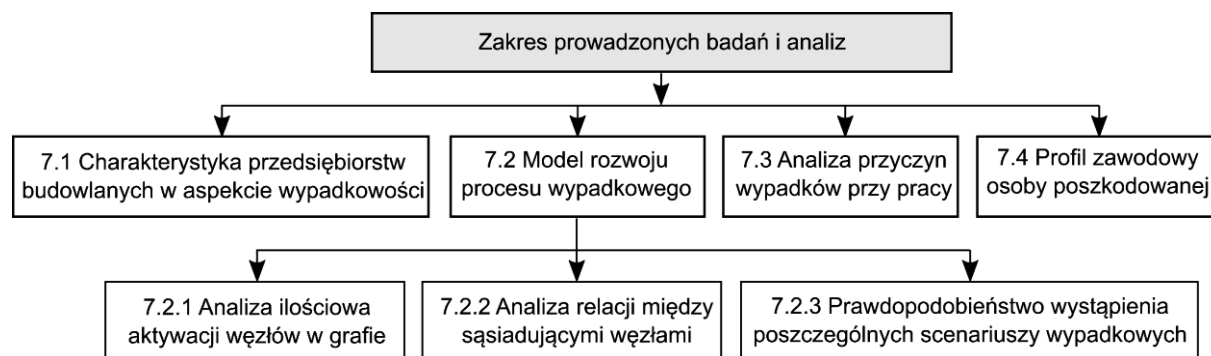
- miejsce powstania wypadku: obiekt remontowany –  $a_{022}$ ,
- proces pracy: modernizacja i rozbudowa magistrali wodociągowej –  $b_{24}$ ,
- czynność wykonywana przez uszkodzonego w chwili wypadku: zdejmowanie zawiesia montażowego z łyżki koparki –  $c_4$ ,
- czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez uszkodzonego w chwili wypadku: łańcuchowe zawiesie montażowe –  $d_{11}$ ,
- wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego: uderzenie uszkodzonego przez spadającą łyżkę koparki –  $e_3$ ,
- czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego: łyżka koparki wraz z wysięgnikiem –  $f_{12}$ ,
- wydarzenie powodujące uraz: uderzenie przez opadającą łyżkę koparki wraz z wysięgnikiem –  $g_4$ ,
- czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz: łyżka koparki wraz z wysięgnikiem –  $h_{12}$ ,
- rodzaj urazu: śmierć uszkodzonego –  $u_{150}$ ,
- skutek wypadku: śmierć osoby uszkodzonej –  $r_1$ .





## 7 Matematyczny opis wypadkowości w budownictwie

Wypadkowość jest „zjawiskiem ulegania pracowników wypadkom w pracy”. Oceniamy ją na podstawie informacji pozyskanych ze zbioru wypadków zaistniałych w określonym czasie. W dysertacji, przedział ten obejmuje lata od roku 2008 do roku 2014. Zakres tematyczny przeprowadzonej analizy przedstawiono na rysunku 7.1.



Rys. 7.1 Zakres prowadzonych badań i analiz (opracowanie własne)

### 7.1 Charakterystyka przedsiębiorstw budowlanych w aspekcie wypadkowości

*Ustawa z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej* (Dz.U. 2016 poz. 1829) (U8) wprowadza podział przedsiębiorstw ze względu na liczbę pracowników oraz osiągniętych rocznych obrotów netto ze sprzedaży towarów, wyrobów i usług oraz operacji finansowych. Wyróżnia się następujące wielkości przedsiębiorstw:

- mikroprzedsiębiorstwa – o liczbie pracujących do 9 osób oraz osiągające roczny obrót nieprzekraczający równowartości w złotych 2 milionów euro,
- małe przedsiębiorstwa – o liczbie pracujących od 10 do 49 osób oraz osiągające roczny obrót nieprzekraczający równowartości w złotych 10 milionów euro,
- średnie przedsiębiorstwa – o liczbie pracujących od 50 do 249 osób oraz osiągające roczny obrót nieprzekraczający równowartości w złotych 43 milionów euro,
- duże przedsiębiorstwa – o liczbie pracujących powyżej 249 osób oraz osiągające roczny obrót przekraczający równowartość w złotych 43 milionów euro.

Poza wyżej wymienionymi przedsiębiorstwami możliwa jest również jednoosobowa działalność gospodarcza, rozumiana jako samozatrudnienie.

W celu scharakteryzowania i porównania poszczególnych grup przedsiębiorstw pod względem wypadkowości obliczono wskaźnik uwzględniający procentowy udział osób poszkodowanych w wypadkach w danej grupie w stosunku do wszystkich poszkodowanych w budownictwie oraz procentowy udział osób zatrudnionych w tej grupie w stosunku do wszystkich zatrudnionych w przedsiębiorstwach budowlanych, zgodnie z poniższym wzorem:

$$w_p = \frac{u_w}{u_o}, \quad (7.1)$$



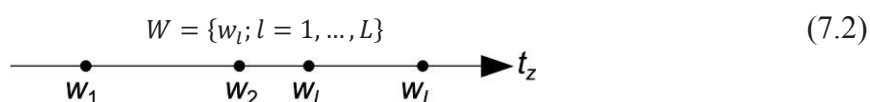
gdzie:

- $w_p$  – wskaźnik uwzględniający udział wypadków przy pracy w stosunku do zatrudnionych osób,
- $u_w$  – udział procentowy osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w analizowanej grupie przedsiębiorstw w stosunku do wszystkich poszkodowanych w budownictwie,
- $u_o$  – udział procentowy zatrudnionych osób w analizowanej grupie przedsiębiorstw w stosunku do wszystkich zatrudnionych w budownictwie.

Szczegółową charakterystykę przedsiębiorstw budowlanych w Polsce oraz strukturę wypadków w analizowanej grupie przedsiębiorstw zamieszczono w rozdziale 8.1.

## 7.2 Model rozwoju procesu wypadkowego

Wypadki zdarzają się w różnych miejscach oraz w różnych momentach czasu. Uporządkowane zgodnie z upływem czasu  $t_z$  tworzą nieskończony ciąg, który analizować można jako dyskretny proces wypadkowy, składający się z wielu pojedynczych wypadków, przedstawiony na rysunku 7.2.



Rys. 7.2 Dyskretny proces wypadkowy (opracowanie własne)

Każdy wypadek przy pracy  $w_l$  ( $l = 1, \dots, L$ ) przebiega według określonego scenariusza zapisanego w Protokole Kontroli. Uwzględniając wszystkie szczegóły modelu wypadku przy pracy zaproponowanym w rozdziale 5, opracowano model złożonego procesu wypadkowego przedstawiony na rysunku 7.3 w postaci grafu skierowanego  $Y$ .

Graf skierowany ( $Y$ ) zdefiniowany został jako uporządkowana para zbiorów  $N$  i  $K$ :

$$Y = \langle N, K \rangle, \quad (7.2)$$

gdzie:

- $N$  – jest dowolnym, niepustym zbiorem węzłów,
- $K$  – jest zbiorem możliwych, uporządkowanych par sąsiadujących węzłów  $N$  zwanych krawędziami skierowanymi lub łukami.

Relacje między poszczególnymi węzłami zostały przedstawione za pomocą łuków (krawędzi skierowanych). Łuki grafu łączą poszczególne węzły w sąsiadujących podzbiorach węzłów na zasadzie „każdy z każdym” i wynikają z możliwego teoretycznego następstwa kolejnych zdarzeń.

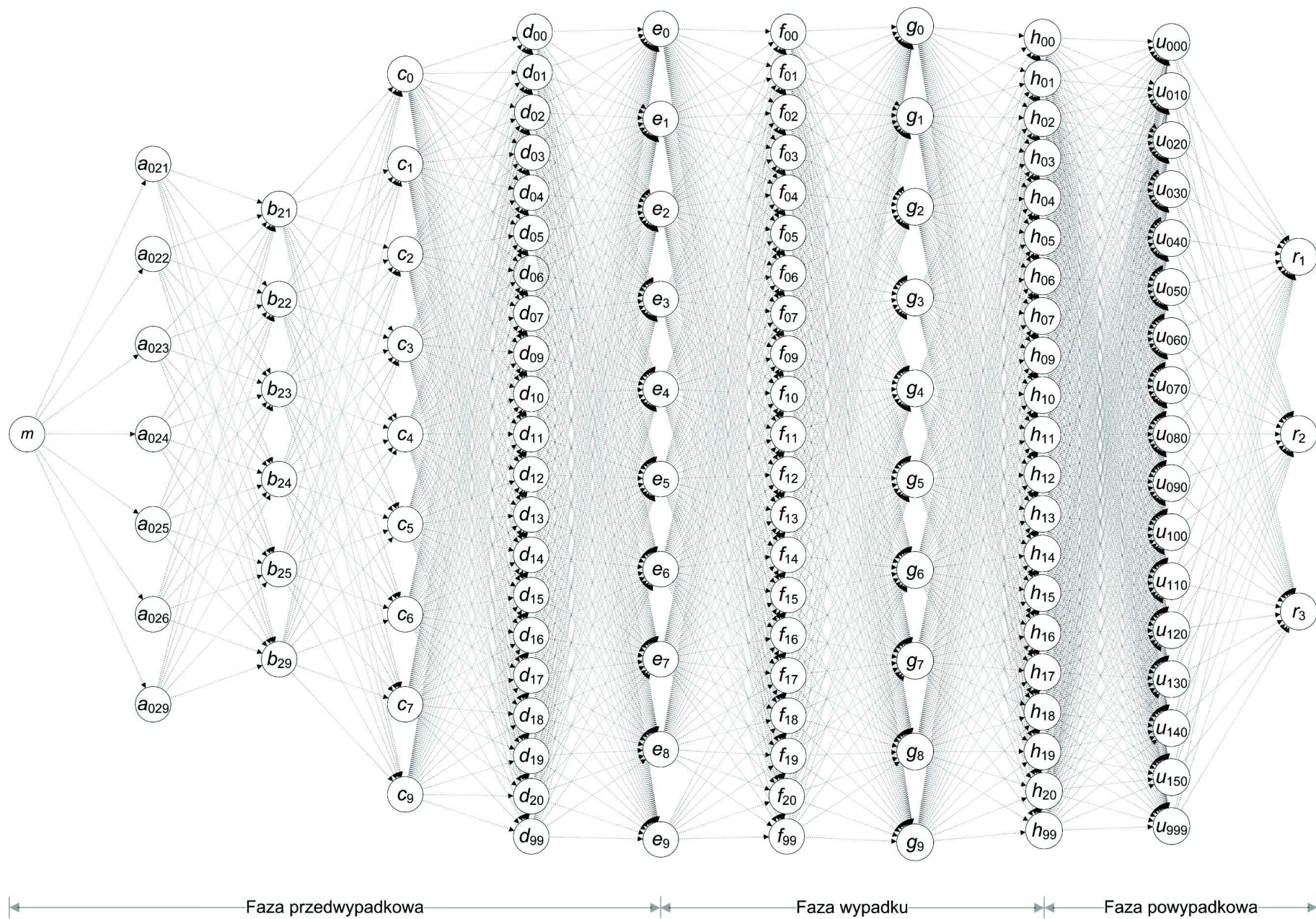
Zbiór  $N$  składa się z 11 podzbiorów obejmujących zdarzenia zakwalifikowane do poszczególnych grup:  $M, A, B, C, D, E, F, G, H, U, R$ , z których każda zawiera wybrane informacje szczegółowe dotyczące przebiegu wypadku omówione w rozdziale 5.1.

$$\begin{aligned}
N &= M \cup A \cup B \cup C \cup D \cup E \cup F \cup G \cup H \cup U \cup R \\
N &= m \cup a_i \cup b_j \cup c_k \cup d_n \cup e_o \cup f_p \cup g_q \cup h_s \cup u_v \cup r_x
\end{aligned}
\tag{7.3}$$

Zbiór  $K$  uporządkowanych par sąsiadujących zdarzeń (węzłów)  $N$  można zapisać w sposób następujący:

$$\begin{aligned}
K &= \{(M, A), (A, B), (B, C), (C, D), (D, E), (E, F), (F, G), (G, H), (H, U), (U, R)\} \\
K &= \{(m, a_i)(a_i, b_j), (b_j, c_k), (c_k, d_n), (d_n, e_o), (e_o, f_p), (f_p, g_q), (g_q, h_s), (h_s, u_v), (u_v, r_x)\}
\end{aligned}
\tag{7.4}$$

Przedstawiony na rysunku 7.3 model ma uniwersalny charakter i zawiera wszystkie węzły i relacje jakie mogą wystąpić w dowolnym wypadku, który może się zdarzyć w dowolnej sekcji gospodarki narodowej. Model ten należy dostosować do branży budowlanej poprzez odrzucenie tych węzłów i relacji, które nie występują w wypadkach przy pracy w budownictwie. W tym celu należy przeprowadzić analizę ilościową aktywacji węzłów i relacji w grafie dla odpowiednio licznego zbioru wypadków przy pracy w budownictwie.



Rys. 7.3 Model rozwoju sytuacji wypadkowej (opracowanie własne)



### 7.2.1 Analiza ilościowa aktywacji węzłów w grafie

W pierwszym etapie analizy, celem prowadzonych badań jest określenie liczby aktywacji poszczególnych węzłów w zaproponowanym na rysunku 7.3. modelu grafu skierowanego. Każdy wypadek opisuje tylko jeden atrybut ze zbiorów od  $M$  do  $R$ . Węzeł  $M$  oznacza hipotetyczne źródło generowania wszystkich wypadków. Każde ze zbiorów od  $M$  do  $R$  zapisać można w postaci następujących wektorów:

$$M = [m], \quad A = \begin{bmatrix} a_{021} \\ a_{022} \\ a_{023} \\ a_{024} \\ a_{025} \\ a_{026} \\ a_{029} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_{21} \\ b_{22} \\ b_{23} \\ b_{24} \\ b_{25} \\ b_{29} \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_9 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} d_{00} \\ d_{01} \\ d_{02} \\ d_{03} \\ d_{04} \\ d_{05} \\ d_{06} \\ d_{07} \\ d_{09} \\ d_{10} \\ d_{11} \\ d_{12} \\ d_{13} \\ d_{14} \\ d_{15} \\ d_{16} \\ d_{17} \\ d_{18} \\ d_{19} \\ d_{20} \\ d_{99} \end{bmatrix}, \quad (7.3)$$

$$\begin{aligned}
E &= \begin{bmatrix} e_0 \\ e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ e_6 \\ e_7 \\ e_8 \\ e_9 \end{bmatrix}, &
F &= \begin{bmatrix} f_{00} \\ f_{01} \\ f_{02} \\ f_{03} \\ f_{04} \\ f_{05} \\ f_{06} \\ f_{07} \\ f_{09} \\ f_{10} \\ f_{11} \\ f_{12} \\ f_{13} \\ f_{14} \\ f_{15} \\ f_{16} \\ f_{17} \\ f_{18} \\ f_{19} \\ f_{20} \\ f_{99} \end{bmatrix}, &
G &= \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \\ g_5 \\ g_6 \\ g_7 \\ g_8 \\ g_9 \end{bmatrix}, &
H &= \begin{bmatrix} h_{00} \\ h_{01} \\ h_{02} \\ h_{03} \\ h_{04} \\ h_{05} \\ h_{06} \\ h_{07} \\ h_{09} \\ h_{10} \\ h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{14} \\ h_{15} \\ h_{16} \\ h_{17} \\ h_{18} \\ h_{19} \\ h_{20} \\ h_{99} \end{bmatrix}, &
U &= \begin{bmatrix} u_{000} \\ u_{010} \\ u_{020} \\ u_{030} \\ u_{040} \\ u_{050} \\ u_{060} \\ u_{070} \\ u_{080} \\ u_{090} \\ u_{100} \\ u_{110} \\ u_{120} \\ u_{130} \\ u_{140} \\ u_{150} \\ u_{999} \end{bmatrix}, &
R &= \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix}. \quad (7.4)
\end{aligned}$$

Występowanie lub brak, w przebiegu wypadku, określonego atrybutu zakodowano systemem zero-jedynkowym. Wartość 1 oznacza, że zdefiniowany atrybut występuje. Wartość 0 oznacza, że zdefiniowany atrybut nie występuje. I tak np. wektory B i C, dla przykładowego wypadku, można opisać następująco:

$$\begin{aligned}
B &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, &
C &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (7.5)
\end{aligned}$$

gdzie:  $b_{22} = 1, c_6 = 1,$

co oznacza, że wypadek zdarzył się podczas budowy budynku ( $b_{22}$ ), w czasie ręcznych prac transportowych ( $c_6$ ).

Informacje o atrybutach wszystkich węzłów właściwych dla analizowanego wypadku  $w_l$  zapisać można w formie dwu wymiarowej tablicy  $W_L = [w]_{L_N}^{L_K}$  o liczbie kolumn  $L_K$  i liczbie wierszy  $L_N$ , której komórki mają wartości 0 lub 1, przy czym:

$$L_K = 11, \quad (7.6)$$

$$L_N = \max\{|M|, |A|, |B|, |C|, |D|, |E|, |F|, |G|, |H|, |U|, |R|\}, \quad (7.7)$$

gdzie:  $|M|, |A|, \dots, |R|$  oznaczają liczności poszczególnych zbiorów  $M, A, \dots, R$ .

Ponieważ liczba atrybutów w poszczególnych grupach węzłów jest różna zaproponowano macierz  $W_L$ , w której już na wejściu wprowadzono komórki zerowe.

$$W_L = [w] = \begin{array}{c|cccccccccccccccccccc} m & a_{021} & b_{21} & c_0 & d_{00} & e_0 & f_{00} & g_0 & h_{00} & u_{000} & r_1 \\ 0 & a_{022} & b_{22} & c_1 & d_{01} & e_1 & f_{01} & g_1 & h_{01} & u_{010} & r_2 \\ 0 & a_{023} & b_{23} & c_2 & d_{02} & e_2 & f_{02} & g_2 & h_{02} & u_{020} & r_3 \\ 0 & a_{024} & b_{24} & c_3 & d_{03} & e_3 & f_{03} & g_3 & h_{03} & u_{030} & 0 \\ 0 & a_{025} & b_{25} & c_4 & d_{04} & e_4 & f_{04} & g_4 & h_{04} & u_{040} & 0 \\ 0 & a_{026} & b_{29} & c_5 & d_{05} & e_5 & f_{05} & g_5 & h_{05} & u_{050} & 0 \\ 0 & a_{029} & 0 & c_6 & d_{06} & e_6 & f_{06} & g_6 & h_{06} & u_{060} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_7 & d_{07} & e_7 & f_{07} & g_7 & h_{07} & u_{070} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_9 & d_{09} & e_8 & f_{09} & g_8 & h_{09} & u_{070} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{10} & e_9 & f_{10} & g_9 & h_{10} & u_{080} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{11} & 0 & f_{11} & 0 & h_{11} & u_{090} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{12} & 0 & f_{12} & 0 & h_{12} & u_{100} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{13} & 0 & f_{13} & 0 & h_{13} & u_{110} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & f_{14} & 0 & h_{14} & u_{120} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & f_{15} & 0 & h_{15} & u_{130} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{16} & 0 & f_{16} & 0 & h_{16} & u_{140} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{17} & 0 & f_{17} & 0 & h_{17} & u_{150} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{18} & 0 & f_{18} & 0 & h_{18} & u_{999} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{19} & 0 & f_{19} & 0 & h_{19} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{20} & 0 & f_{20} & 0 & h_{20} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{99} & 0 & f_{99} & 0 & h_{99} & 0 & 0 \end{array} \quad (7.8)$$

Podstawiając do komórek macierzy wartości 0 lub 1 otrzymamy macierz zero-jedynkową, która charakteryzuje wszystkie węzły występujące w pierwszym wypadku  $w_1$ .



$$W_1 = [w_1] = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7.9)$$

Przebieg każdego następnego wypadku  $w_{l+1}$  można opisać kolejną tablicą o identycznych rozmiarach jak macierz poprzednia (7.9). Zbiorcze informacje o aktywacji poszczególnych węzłów w złożonym procesie wypadkowym składającym się z  $L$  kolejnych wypadków uzyskamy poprzez dodawanie kolejnych macierzy.

$$W_L = [w_1] + \dots + [w_l] + \dots + [w_L] \quad (7.10)$$

Szczegółową analizę krotności aktywacji poszczególnych węzłów w grafie zamieszczono w rozdziale 8.2.

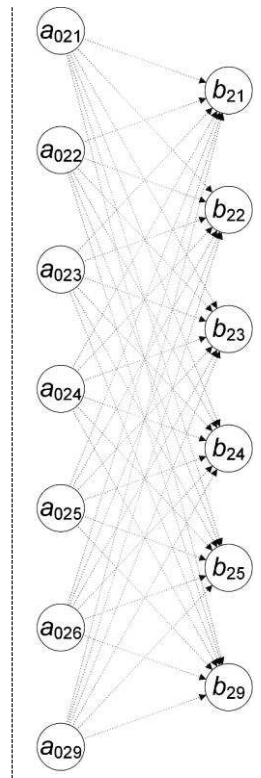
### 7.2.2 Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami

W modelu przedstawionym na rysunku 7.3 sąsiadujące węzły, reprezentujące zdefiniowane w procesie wypadkowym zdarzenia, połączone są określonymi relacjami (łukami). Liczba aktywacji poszczególnych połączeń ilustruje jak często, w procesie symulującym przebieg analizowanych wypadków, aktywne było konkretne połączenie. Na rysunku 7.4 przedstawiono przykładowo możliwe relacje zachodzące między zdarzeniami  $A = \{a_i; i = 021, 022, \dots, 026, 029\}$ , a  $B = \{b_j; j = 21, 22, \dots, 25, 29\}$ .

Dla każdej grupy sąsiadujących węzłów (np.  $A$  i  $B$ ,  $B$  i  $C$ , itd.) utworzono macierze relacji. Przykładowo macierz relacji dla węzłów  $A$  i  $B$  przedstawiono w postaci formuły 7.11.

$$K_{L(a_i, b_j)} = \begin{bmatrix} a_{021} - b_{21} & a_{021} - b_{22} & \cdots & a_{021} - b_{29} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{023} - b_{21} & a_{023} - b_{22} & \cdots & a_{023} - b_{29} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{029} - b_{21} & a_{029} - b_{22} & \cdots & a_{029} - b_{29} \end{bmatrix} \quad (7.11)$$

Liczba wierszy w macierzy odpowiada liczbie zdefiniowanych atrybutów w grupie  $A$ , natomiast liczba kolumn odpowiada liczbie zdefiniowanych atrybutów w grupie  $B$ .



Rys. 7.4 Możliwe relacje zachodzące między zdarzeniami  $A$  i  $B$  (opracowanie własne)

Aktywność połączenia między sąsiadującymi węzłami zakodować można również systemem zero-jedynkowym. Wartość 1 oznacza, że w danym wypadku aktywna była określona relacja. I tak np. macierz relacji dla węzłów  $A$  i  $B$ , dla przykładowego wypadku, można opisać następująco:

$$K_{a_i, b_j} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (7.12)$$

gdzie:  $a_{021} - b_{22} = 1$ ,

co oznacza, że wypadek zdarzył się na terenie budowy ( $a_{021}$ ) nowego budynku ( $b_{22}$ ).

Zbiorcze informacje o aktywacji poszczególnych relacji w złożonym procesie wypadkowym składającym się z  $I$  kolejnych wypadków uzyskamy poprzez dodawanie kolejnych macierzy.

$$K_{L(a_i, b_j)} = [K_{w_1}] + \dots + [K_{w_l}] + \dots + [K_{w_L}] \quad (7.13)$$

Szczegółową analizę relacji między sąsiadującymi węzłami w grafie zamieszczono w rozdziale 8.3.

### 7.2.3 Prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych scenariuszy wypadkowych

Wiedza na temat liczby aktywacji poszczególnych węzłów oraz relacji zachodzących między węzłami jest podstawą wyznaczenia:

- ścieżki krytycznej w grafie,
- prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy wypadkowych.

Ścieżkę krytyczną tworzy ciąg relacji o największym prawdopodobieństwie aktywacji. Prawdopodobieństwo to wyliczyć można na podstawie wzoru:

$$P_{(\varphi-\psi)} = \frac{N_{(\varphi-\psi)}}{M} \cdot 100\%, \quad (7.14)$$

gdzie:

$P_{(\varphi-\psi)}$  – prawdopodobieństwo wystąpienia relacji  $\varphi - \psi$ ,

$N_{(\varphi-\psi)}$  – liczba aktywacji relacji  $\varphi - \psi$ ,

$M$  – zbiór wszystkich analizowanych wypadków,

$\varphi$  – symbol i kod węzła poprzedzającego w relacji,

$\psi$  – symbol i kod węzła następującego w relacji.

W zaproponowanym modelu każdy scenariusz wypadkowy opisuje inna droga prowadząca od węzła  $M$  do węzła  $R$ . Poszukiwaną funkcją celu jest funkcja opisująca taki przebieg zdarzeń w hipotetycznym wypadku, dla którego możliwe jest uzyskanie maksymalnej wartości prawdopodobieństwa wystąpienia określonego scenariusza. Poszukiwaną funkcję celu można przedstawić w sposób następujący:

$$P(K) = P(M \cap A \cap B \cap C \cap D \cap E \cap F \cap G \cap H \cap U \cap R) \rightarrow \max \quad (7.15)$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza  $P(K)$  można przedstawić za pomocą wzoru na prawdopodobieństwo zdarzeń warunkowych zdarzeń zależnych (Hebda, 2005):

$$\begin{aligned} P(K) &= P(M \cap A \cap B \cap C \cap D \cap E \cap F \cap G \cap H \cap U \cap R) = \dots = \\ &= P(A|M) \cdot P(B|M \cap A) \cdot P(C|M \cap A \cap B) \cdot P(D|M \cap A \cap B \cap C) \cdot \\ &\quad P(E|M \cap A \cap B \cap C \cap D) \cdot P(F|M \cap A \cap B \cap C \cap D \cap E) \cdot \\ &\quad P(G|M \cap A \cap B \cap C \cap D \cap E \cap F) \cdot P(H|M \cap A \cap B \cap C \cap D \cap E \cap F \cap G) \\ &\quad \cdot P(U|M \cap A \cap B \cap C \cap D \cap E \cap F \cap G \cap H) \cdot \\ &\quad P(R|M \cap A \cap B \cap C \cap D \cap E \cap F \cap G \cap H \cap U) \end{aligned} \quad (7.16)$$

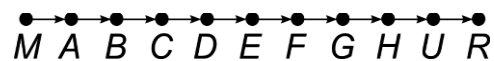
Uzyskana na podstawie powyższego wzoru wartość prawdopodobieństwa pozwoli na zidentyfikowanie najbardziej prawdopodobnych scenariuszy wypadkowych w budownictwie prowadzących od węzła *M* do węzła *R*. Modyfikując powyższy wzór można uzyskać wartość prawdopodobieństwa wystąpienia wybranego fragmentu danego scenariusza prowadzącego od węzła *M* do wybranego węzła końcowego. Wyniki analizy dotyczącej wyznaczenia ścieżek krytycznych oraz prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy wypadkowych zamieszczono w rozdziale 8.4.

#### 7.2.4 Weryfikacja modelu

Weryfikacja modelu polega na porównaniu wyników otrzymanych z modelu z wynikami otrzymanymi z modelu wzorcowego lub systemu rzeczywistego. Na podstawie analizy literatury nie stwierdzono istnienia innego modelu skonstruowanego w celu zbadania zjawiska wypadkowości jako procesu, który tworzy ciąg wypadków zachodzących w dyskretnych momentach czasu na różnych, pod względem lokalizacji i realizowanych robót, budowach. Dlatego też weryfikacja modelu polega na jego porównaniu z systemem rzeczywistym.

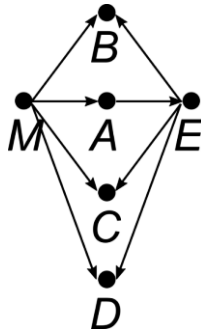
Weryfikację przeprowadzono w dwóch etapach:

- Pierwszy etap dotyczył weryfikacji modelu pojedynczego wypadku przy pracy. Na tym etapie sprawdzono zgodność struktury modelu z rzeczywistym przebiegiem wypadku. Analizowany model jest modelem graficznym w postaci prostego nie rozgałęzionego grafu skierowanego. Wszystkie zdarzenia wyszczególnione w tym grafie zostały połączone ze sobą szeregowo. Schemat połączenia szeregowego przedstawia rysunek 7.5.



Rys. 7.5 Schemat połączenia szeregowego (opracowanie własne)

Kolejność zdarzeń powinna być ustalona tak aby każde zdarzenie wyszczególnione w przebiegu wypadku (pozorne lub rzeczywiste) było przyczyną zdarzenia następującego i skutkiem zdarzenia poprzedzającego. Jednoznacznie zdeterminowane położenie, w modelu wypadku, mają zdarzenia: *M*, *A*, *E*, *G*, *U*, *R*. Ich lokalizacja wynika z rzeczywistego następstwa zdarzeń w przebiegu każdego wypadku. Przedmiotem dyskusji jest lokalizacja węzłów *B*, *C*, *D*, *F*, *H*. Połączenie równoległe węzłów przedstawione na rysunku 7.6. ma zasadniczą wadę. Daje ono możliwość wyboru jednej z równoległych ścieżek w czasie symulacji wypadku. Wyniki otrzymane z takiej symulacji mogłyby być obarczone błędem polegającym na tym, że nie byłyby zarejestrowane wszystkie interesujące informacje. Dlatego też wszystkie wyszczególnione węzły połączone zostały szeregowo z uwzględnieniem przyczynowo-skutkowych zależności między zdarzeniami.



Rys. 7.6 Schemat połączenia równoległego (opracowanie własne)

- W etapie drugim przeprowadzono weryfikację modelu złożonego procesu wypadkowego analizowanego jako ciąg wypadków zachodzących w dyskretnych momentach czasu. W tym przypadku sprawdzono zgodność struktury modelu z systemem rzeczywistym oraz zgodność algorytmiczną. Podstawą budowy tego modelu był model pojedynczego wypadku, zaproponowany w etapie pierwszym. Ponieważ jednak różne wypadki przebiegają wg różnych scenariuszy, model został rozbudowany tak aby można było symulować przebieg różnych wypadków. W doborze odpowiedniej struktury powiązań między zdarzeniami uwzględniono możliwość równoległych powiązań. Taki typ powiązania daje możliwość wyboru dowolnej ścieżki w grafie, a tym samym modelowania przebiegu ciągu wypadków, które mogą się zdarzyć w różnych okolicznościach i warunkach prowadzenia robót budowlanych.

Zastosowane w dysertacji algorytmy obliczeniowe są jednoznaczne i oparte są na rachunku macierzowym oraz rachunku prawdopodobieństwa. Kilkukrotnie powtarzane obliczenia dla tego samego zbioru wypadków dają identyczne wyniki liczbowe oraz taki sam przebieg ścieżki w grafie.

### 7.3 Analiza przyczyn wypadków przy pracy

Każdy wypadek przy pracy spowodowany jest co najmniej kilkoma przyczynami i wywołuje określone urazy w organizmie osoby poszkodowanej. Na potrzeby prowadzonych badań przyjęto definicję przyczyny wypadku. Przyczynami wypadku są wszelkie braki i nieprawidłowości związane z: czynnikami materialnymi, ogólną organizacją pracy, organizacją stanowiska pracy i pracownikiem, w tym również z jego nieprawidłowym zachowaniem.

Na użytek opracowanej metodyki przyjęto klasyfikację zaproponowaną przez Europejski Urząd Statystyczny Unii Europejskiej (EUROSTAT) wyróżniającą 8 grup rodzajowych przyczyn wypadków przy pracy P, a mianowicie:

- $P_1$  – niewłaściwy stan czynnika materialnego,
- $P_2$  – niewłaściwa ogólna organizacja pracy,
- $P_3$  – niewłaściwa organizacja stanowiska pracy,
- $P_4$  – brak odpowiednich czynników materialnych lub niewłaściwe posługiwanie się tymi czynnikami,
- $P_5$  – nieużywanie sprzętu ochronnego przez pracownika,
- $P_6$  – niewłaściwe samowolne zachowanie się pracownika,

$P_7$  – stan psychofizyczny pracownika niezapewniający bezpiecznego wykonania pracy,

$P_8$  – nieprawidłowe zachowanie się pracownika.

Zbiór przyczyn wypadków przy pracy można zapisać:

$$P = \{P_g: g = 1, \dots, 8\}, \quad (7.17)$$

gdzie:

$P$  – zbiór przyczyn analizowanych wypadków,

$P_g$  – grupa rodzajowa przyczyn ( $g = 1, \dots, 8$ ).

Przyjęto także, jedną z najbardziej rozpowszechnionych i stosowanych w badaniu wypadków przy pracy klasyfikację przyczyn wypadków, jaką jest tzw. metoda TOL. Zakłada ona, że każdy wypadek jest wynikiem trzech rodzajów przyczyn: technicznych ( $T$ ), organizacyjnych ( $O$ ) i ludzkich ( $L$ ). Tak więc, zbiór  $P$  wszystkich przyczyn wypadków przy pracy jest sumą podzbioru  $T$  stanowiącego przyczyny techniczne, podzbioru  $O$  stanowiącego przyczyny organizacyjne i podzbioru  $L$  stanowiącego przyczyny ludzkie.

$$P = T \cup O \cup L \quad (7.18)$$

Na zbiory przyczyn technicznych, organizacyjnych i ludzkich składają się przyczyny z wymienionych wyżej grup rodzajowych, a mianowicie:

$$T = \{P_g: g = 1\}, \quad O = \{P_g: g = 2, 3\}, \quad L = \{P_g: g = 4, \dots, 8\}. \quad (7.19)$$

Ponadto, w każdym z wymienionych zbiorów  $T$ ,  $O$ ,  $L$  wyszczególniono kilka lub kilkanaście przyczyn szczegółowych:

$$T = \{t_\alpha: \alpha = 1, \dots, A\}, \quad O = \{o_\beta: \beta = 1, \dots, B\}, \quad L = \{l_\gamma: \gamma = 1, \dots, \Gamma\}, \quad (7.20)$$

gdzie:

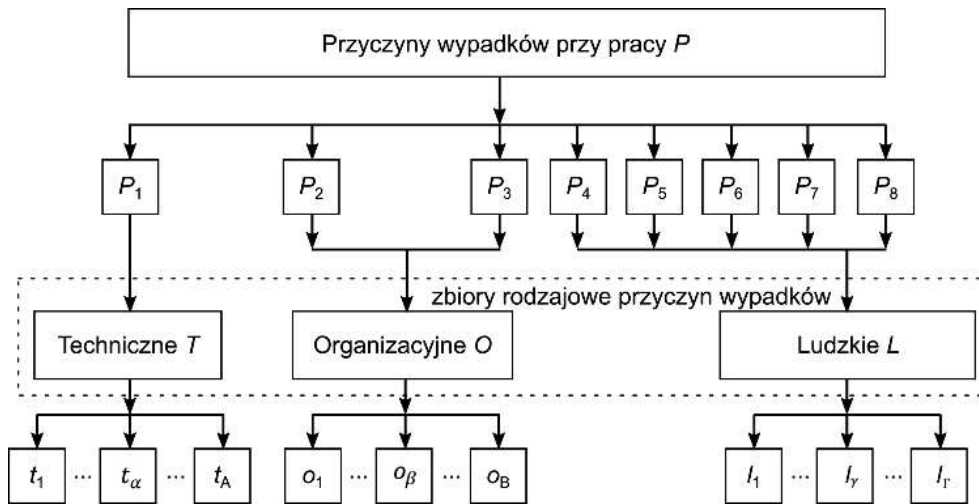
$t_\alpha$  – przyczyna szczegółowa w zbiorze  $T$ , ( $\alpha = 1, \dots, A$ ),

$o_\beta$  – przyczyna szczegółowa w zbiorze  $O$ , ( $\beta = 1, \dots, B$ ),

$l_\gamma$  – przyczyna szczegółowa w zbiorze  $L$ , ( $\gamma = 1, \dots, \Gamma$ ).

Każda przyczyna, zidentyfikowana podczas badania wypadku, kwalifikowana jest do odpowiedniego podzbioru przyczyn szczegółowych:  $t_\alpha$ , ( $\alpha = 1, \dots, A$ ) lub  $o_\beta$ , ( $\beta = 1, \dots, B$ ), lub  $l_\gamma$ , ( $\gamma = 1, \dots, \Gamma$ ). Schemat klasyfikacji przyczyn wypadków wg metody TOL przedstawiono na rysunku 7.7.





Rys. 7.7 Schemat klasyfikacji przyczyn wypadków wg metody TOL (opracowanie własne)

W celu wyłonienia przyczyn o największym znaczeniu zastosowano analizę Pareto-Lorenza z wykorzystaniem analizy ABC (Chu i in., 2008; Dhoka i Choudary, 2013). Zaproponowana metodyka obliczeń jest uniwersalna, co oznacza, że ma zastosowanie w analizie każdej z trzech grup rodzajowych przyczyn wypadków  $T$ ,  $O$ ,  $L$ . Procedura prowadzonej analizy jest następująca:

- zdefiniowanie poszczególnych przyczyn szczegółowych i ich liczności w analizowanej grupie rodzajowej. Informacje te przedstawić można w postaci ciągu uporządkowanych par liczb  $(p_x, a_x)$ , gdzie  $p_x$  ( $x = 1, \dots, X$ ) oznacza zidentyfikowaną przyczynę szczegółową natomiast  $a_x$  informuje o liczbie wystąpień badanej przyczyny w analizowanym podzbiorze  $T$  lub  $O$  lub  $L$ ,
- uporządkowanie malejąco ciągu par liczb  $(p_x, a_x)$  opisujących analizowane przyczyny. Miejsce pary w uporządkowanym ciągu wyznacza liczba  $a_x$ , wystąpień cechy  $p_x$  w podzbiorze  $T$  lub  $O$  lub  $L$ , wg zasady:

$$\text{jeżeli } a_{x+1} \geq a_x, \text{ to } p_{x+1} < p_x, \quad (7.21)$$

- wyznaczenie udziału procentowego  $u_x$  wystąpień przyczyny  $p_x$  w sumie wszystkich badanych przyczyn wg wzoru:

$$u_x = \frac{a_x}{\sum_{1-x}^{x-X} a_x} \cdot 100\%, \quad (7.22)$$

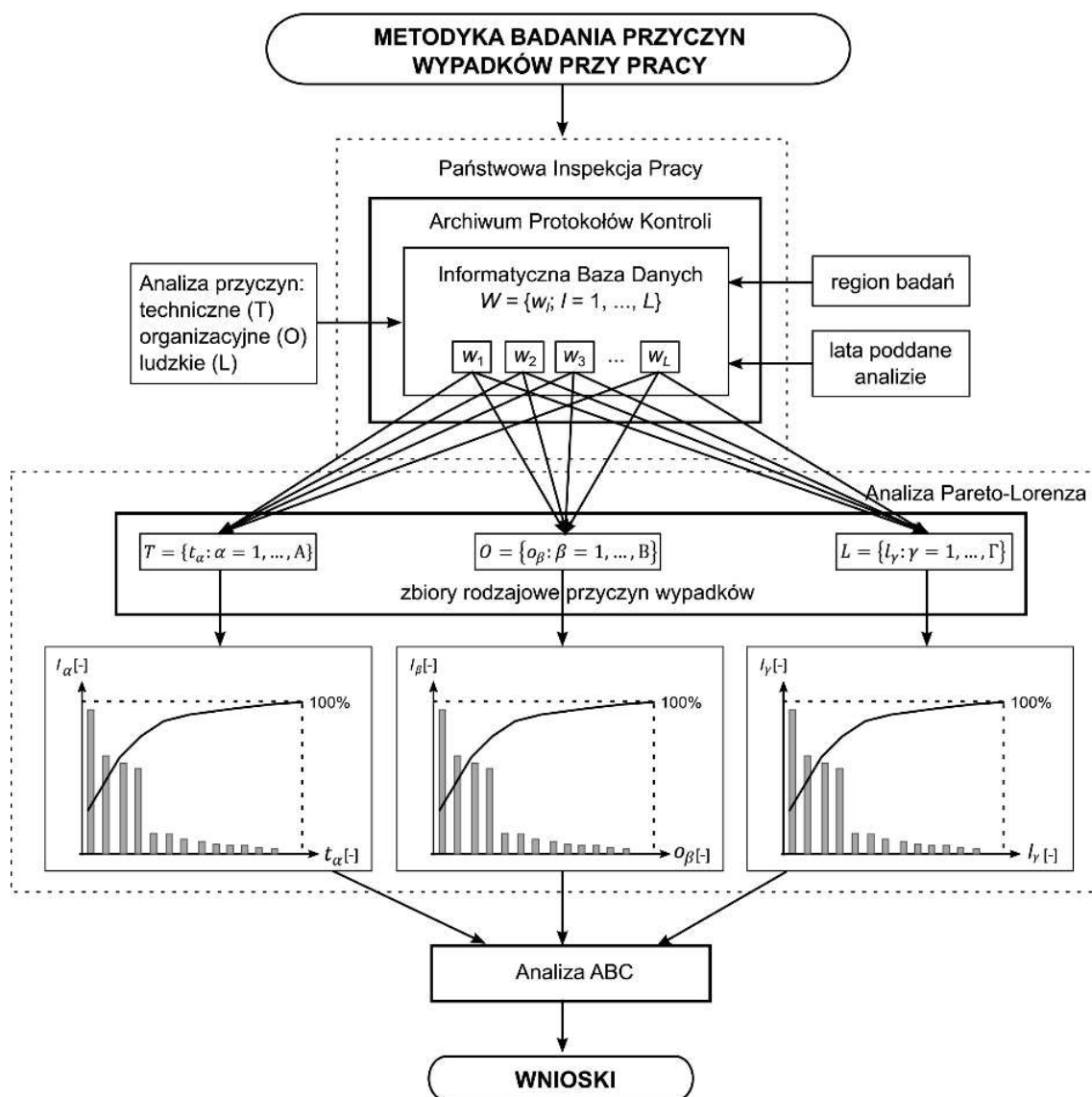
- wyznaczenie procentu skumulowanego sumy kolejnych przyczyn zgodnie z formułą:

$$S_x = \sum_{1-x}^x u_x \quad x = 1, \dots, X, \quad (7.23)$$

- określenie przynależności poszczególnych przyczyn do jednej z klas ważności. W celu klasyfikacji przyczyn wg stopnia ich wpływu na powstawanie wypadku zastosowano analizę ABC (López-Soto i in., 2017). Zgodnie z metodą ABC należy dokonać podziału przyczyn znajdujących się w zbiorze na trzy podgrupy. Przyjęto, że:

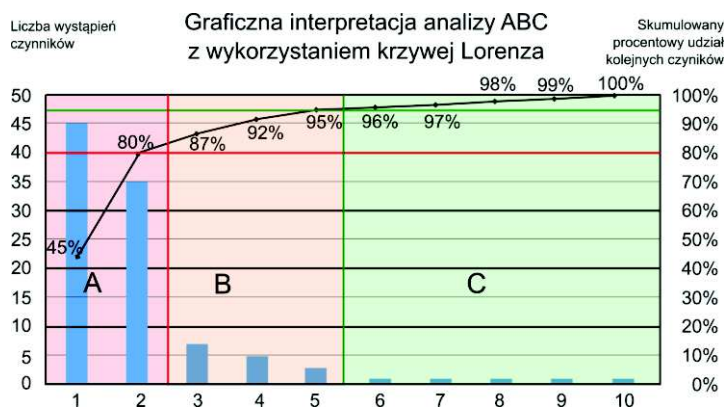
- ✓ zbiór przyczyn bardzo istotnych, oznaczony jako A, tworzą przyczyny, które stanowią 80% wszystkich przyczyn przynależnych do danej grupy rodzajowej przyczyn,
- ✓ zbiór przyczyn istotnych, oznaczony jako B, tworzą przyczyny, które stanowią 15% wszystkich przyczyn przynależnych do danej grupy rodzajowej przyczyn,
- ✓ zbiór przyczyn mało istotnych, oznaczony jako C, tworzą przyczyny, których udział wynosi 5% w zbiorze zidentyfikowanych przyczyn.

Schemat graficzny zaproponowanej metodyki badań przedstawiono na rysunku 7.9.



Rys. 7.8 Metodyka klasyfikacji i oceny ważności przyczyn wypadków przy pracy (opracowanie własne)

Na rysunku 7.9 przedstawiono graficzną interpretację analizy ABC przy wykorzystaniu krzywej Lorenza.



Rys. 7.9 Graficzna interpretacja analizy ABC z wykorzystaniem krzywej Lorenza (opracowanie własne)

Szczegółową analizę przyczyn i skutków wypadków zamieszczono w rozdziale 8.5.

#### 7.4 Profil zawodowy osoby poszkodowanej

W Protokołach Kontroli każdej osobie  $o_l$  ( $l = 1, \dots, L$ ) poszkodowanej w wypadku przy pracy przypisane są indywidualne cechy, takie jak:

- status zatrudnienia w sensie prawnym,
- zawód wykonywany przez osobę poszkodowaną,
- staż pracy,
- wiek poszkodowanego,
- przygotowanie pracownika do wykonywania obowiązków na stanowisku pracy, które obejmuje: szkolenie wstępne, tzn. instruktaż ogólny i stanowiskowy, szkolenie okresowe, badania lekarskie.

Wektor cech ogólnych każdego pracownika przedstawić można następująco:

$$o_l = [v_l, z_l, s_l, y_l, p_{1,l}, p_{2,l}, p_{3,l}, p_{4,l}], l = 1, \dots, L, \quad (7.23)$$

gdzie:

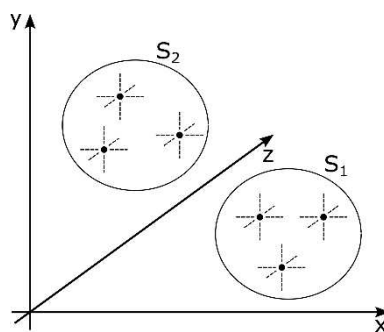
- $o_l$  –  $l$ -ta osoba poszkodowana w wypadku przy pracy,
- $v_l$  – forma zatrudnienia  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy,
- $z_l$  – zawód wykonywany przez  $l$ -tą osobę poszkodowaną w wypadku przy pracy,
- $s_l$  – staż pracy  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy,
- $y_l$  – wiek  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy,
- $p_{1,l}$  – przygotowanie do pracy  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie instruktazu ogólnego,
- $p_{2,l}$  – przygotowanie do pracy  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie instruktazu stanowiskowego,
- $p_{3,l}$  – przygotowanie do pracy  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie szkolenia okresowego,
- $p_{4,l}$  – przygotowanie do pracy  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w zakresie badań lekarskich.

Cechy te, analizowane w dużej masie osób poszkodowanych, pozwolą stworzyć profil zawodowy pracownika najczęściej ulegającego wypadkom przy pracy w budownictwie. Zebrane informacje na temat wszystkich osób poszkodowanych w wypadkach przedstawić można w postaci następującej macierzy danych:

$$O = \begin{bmatrix} v_1 & z_1 & s_1 & y_1 & p_{1,1} & p_{2,1} & p_{3,1} & p_{4,1} \\ v_2 & z_2 & s_2 & y_2 & p_{1,2} & p_{2,2} & p_{3,2} & p_{4,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_l & z_l & s_l & y_l & p_{1,l} & p_{2,l} & p_{3,l} & p_{4,l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_L & z_L & s_L & y_L & p_{1,L} & p_{2,L} & p_{3,L} & p_{4,L} \end{bmatrix} \quad (7.24)$$

Każdy wiersz macierzy  $O$  zawiera dane dotyczące jednej poszkodowanej osoby, natomiast każda kolumna macierzy zawiera zestaw danych dotyczących jednej wyszczególnionej cechy wspólnej dla wszystkich poszkodowanych w wypadkach pracowników. Każda z wymienionych cech ( $v_l, z_l, s_l, y_l, p_{1,l}, p_{2,l}, p_{3,l}, p_{4,l}$ ) opisujących pracownika budowlanego przybiera pewną wartość liczbową z określonego przedziału lub jest opisana słownie. I tak, zmienne jakościowe dotyczą: formy zatrudnienia osoby poszkodowanej ( $v_l$ ), zawodu ( $z_l$ ), przygotowania pracownika do pracy ( $p_{1,l} - p_{4,l}$ ), natomiast zmienne ilościowe to staż pracy ( $s_l$ ) oraz wiek poszkodowanego ( $y_l$ ).

Do zdefiniowania profilu zawodowego pracownika najczęściej ulegającego wypadkom przy pracy w budownictwie zastosowano jedną z metod eksploracji danych, a mianowicie: analizę skupień. Zastosowanie tej metody pozwala na znalezienie w dużym zbiorze obiektów, z których każdy opisany jest zestawem atrybutów, grup obiektów, które są do siebie zbliżone, a więc podobne (Stanisz, 2007). Ideą metody jest więc podział zbioru obiektów na kilka grup, przy czym obiekty należące do danej grupy mają podobne cechy. Należy zauważyć, że analiza skupień wykrywa struktury i podobieństwa w zbiorze danych, jednak nie wyjaśnia dlaczego one występują. Przykładowo na rysunku 7.10 przedstawiono podział obiektów na skupienia w przestrzeni trójwymiarowej.



Rys. 7.10 Podział obiektów na skupienia w przestrzeni trójwymiarowej (opracowanie własne)

Istnieje wiele algorytmów podziału obiektów na skupienia. Najczęściej stosuje się metody hierarchiczne oraz niehierarchiczne (Krzyśko i in, 2008). W dysertacji wykorzystano grupowanie metodą *k-średnich*, która należy do metod niehierarchicznych. W metodzie tej, w efekcie podziału otrzymuje się skupienia, które żadne nie jest podskupieniem innego skupienia. W metodzie *k-średnich* zakładamy liczbę skupień lub obliczamy ją wykorzystując

algorytm *v-krotnego sprawdzianu krzyżowego* (Koronacki i Ćwik, 2008). Algorytm ten przenosi obiekty do różnych skupień mając na celu minimalizację zmienności wewnątrz skupień i maksymalizację zmienności między skupieniami.

Metoda zastosowana do analizy danych osobowych osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy pozwala na grupowanie poszkodowanych ze względu na zbliżone cechy osobowe. Zgodnie ze wzorem 7.24 każda osoba poszkodowana w wypadku stanowi obiekt  $o_l$ ; ( $l = 1, \dots, L$ ) opisany za pomocą 8 zmiennych ( $v_l, z_l, s_l, y_l, p_{1,l}, p_{2,l}, p_{3,l}, p_{4,l}$ ). Zmienne  $s_l, y_l$  stanowią zmienne ilościowe, natomiast  $v_l, z_l, p_{1,l}, p_{2,l}, p_{3,l}, p_{4,l}$  należą do zmiennych jakościowych. W analizowanym zjawisku mamy 8-wymiarową przestrzeń ( $R^8$ ), w której ulokowane są obiekty  $o_l$ .

Zmienne ilościowe określone są za pomocą różnych wielkości. Np. zmienna  $s_l$  – staż pracy  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy określona jest liczbą dni, natomiast  $y_l$  – wiek  $l$ -tej osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy określony jest liczbą lat. Aby możliwe było porównywanie zmiennych ilościowych dane należy doprowadzić do porównywalnych wielkości. W tym celu zmienne poddane zostały standaryzacji. I tak przykładowo dla stażu pracy standaryzację przeprowadzono zgodnie z wzorem:

$$s_l^{st} = \frac{s_l - \mu_s}{\sigma_s} \quad (7.25)$$

gdzie:

- $s_l^{st}$  – zmienna standaryzowana,
- $s_l$  – zmienna niestandaryzowana,
- $\mu_s$  – wartość średnia z populacji zmiennej  $s_l$ ,
- $\sigma_s$  – odchylenie standardowe populacji zmiennej  $s_l$ .

Celem przeprowadzonej analizy jest podział zbioru wszystkich obiektów (osób poszkodowanych w wypadkach) na skupienia (grupy). Do poszczególnych skupień będą należały obiekty znajdujące się blisko siebie w 8-wymiarowej przestrzeni ( $R^8$ ). Poszczególne skupienia ( $S_1, S_2, \dots, S_k$ ) stanowią względem siebie zbiory rozłączne, których część wspólna jest zbiorem pustym:

$$S_1 \cap S_2 \cap \dots \cap S_k = \emptyset. \quad (7.26)$$

Aby określić podobieństwo między parami obiektów wprowadza się miarę odmienności (lub podobieństwa). Zakłada się, że im mniejsza jest wartość odmienności, tym bardziej podobne są do siebie porównywane obiekty. W analizowanym przypadku każdemu obiektowi przypisywany jest wektor cech, którego składowe dla zmiennych ilościowych tworzą liczby, natomiast dla zmiennych jakościowych interpretowane są jako etykiety. Jeżeli np. interesującą zmienną jest informacja o poddaniu poszkodowanego instruktazowi ogólnemu (zmienna jakościowa), to może ona przyjmować wartości: 0 – brak informacji, 1 – gdy poszkodowany nie został poddany obowiązkowemu szkoleniu, 2 – gdy poszkodowany został poddany instruktazowi.

W sytuacji, w której mamy do czynienia z danymi mieszanymi, tzn. część zmiennych ma charakter jakościowy, a część – ilościowy, a taka sytuacja występuje w prowadzonej analizie,

najbardziej popularną i stosowaną miarą odmienności i podobieństwa są współczynniki Gowera (Wierzchoń i Kłopotek, 2015).

Miara podobieństwa zaproponowana przez Gowera dla obiektów o zmiennych ilościowych i jakościowych jest ważoną sumą cząstkowych współczynników odmienności  $\delta(l, l + 1)$  wyznaczanych dla każdej zmiennej w obiektach  $o_l$  i  $o_{l+1}$ , gdzie:

- $x_l$  – kolejne współrzędne analizowanego obiektu określonego zmiennymi  $v_l, z_l, s_l, y_l, p_{1,l}, p_{2,l}, p_{3,l}, p_{4,l}$ ,
- $x_{l+1}$  – kolejne współrzędne analizowanego obiektu określonego zmiennymi  $v_{l+1}, z_{l+1}, s_{l+1}, y_{l+1}, p_{1,l+1}, p_{2,l+1}, p_{3,l+1}, p_{4,l+1}$ .

Dla zmiennej jakościowej współczynnik odmienności przyjmuje wartości:

- $\delta(l, l + 1) = 1$ , gdy jej wartość w obu obiektach jest różna, tzn.  $x_l \neq x_{l+1}$ ,
- $\delta(l, l + 1) = 0$ , gdy jej wartość w obu obiektach jest równa, tzn.  $x_l = x_{l+1}$ .

Jeżeli natomiast mamy do czynienia ze zmienną ilościową o wartościach z przedziału  $[x_{o_l}^{min}, x_{o_l}^{max}]$ , to współczynnik odmienności obliczamy zgodnie ze wzorem:

$$\delta(l, l + 1) = \frac{|x_l - x_{l+1}|}{x_{o_l}^{max} - x_{o_l}^{min}} \quad (7.27)$$

Ostatecznie miara podobieństwa Gowera przyjmuje postać:

$$d(x_l, x_{l+1}) = \frac{\sum_{l=v_l}^{p_{4,l}} \omega(l, l+1) \cdot \delta(l, l+1)}{\sum_{l=v_l}^{p_{4,l}} \omega(l, l+1)}, \quad (7.28)$$

gdzie:

$d(x_l, x_{l+1})$  – miara podobieństwa Gowera,

$\delta(l, l + 1)$  – współczynnik odmienności,

$\omega(l, l + 1)$  – waga, która przyjmuje wartość 1, gdy porównanie zmiennych jest możliwe, tzn. wartości są znane, oraz równa 0, gdy nie zaobserwowano jednej z wartości  $x_l, x_{l+1}$ , tzn. wartość współczynnika odmienności nie jest znana.

W dysertacji do przeprowadzenia obliczeń wykorzystano program *STATISTICA.13* z użyciem narzędzia służącego do segmentacji i grupowania, a mianowicie – analizy skupień.

Szczegółową analizę profilu zawodowego osoby poszkodowanej zamieszczono w rozdziale 8.6.





## 8 Obliczenia i analiza wyników

Dane do analizy pozyskano z 461 Protokołów Kontroli. Dokumentacja dotyczyła 435 wypadków indywidualnych oraz 26 wypadków zbiorowych. Wśród wypadków zbiorowych zidentyfikowano:

- 20 wypadków, w których poszkodowanych zostało dwóch pracowników,
- 4 wypadki, w których poszkodowanych zostało trzech pracowników,
- 1 wypadek, w którym poszkodowanych zostało czterech pracowników,
- 1 wypadek, w którym poszkodowanych zostało dziewięciu pracowników.

Łączna liczba osób poszkodowanych w przeanalizowanych wypadkach przy pracy wyniosła 500. W przypadku 15 osób, biorących udział w wypadkach zbiorowych, brak jest kompletnych informacji o poszkodowanych. W 6 Protokołach Kontroli wypadków zbiorowych inspektorzy pracy skupili się tylko na opisie jednego poszkodowanego i związanego z nim przebiegu zdarzenia. W związku z tym do Informatycznej Bazy Danych wprowadzono próbę obejmującą 485 poszkodowanych. Dla lepszej jasności i przejrzystości prowadzonych analiz przyjęto, że jeden wypadek odpowiada jednej poszkodowanej osobie. W tabeli 8.1 zamieszczono dane dotyczące liczby analizowanych wypadków z podziałem na lata i województwa.

Tabela 8.1 Zestawienie danych poddanych analizie

Województwo	Rok	Liczba wypadków [-]	Liczba poszkodowanych [-]		Liczba wypadków w odniesieniu do liczby poszkodowanych [-]				
			Ogółem	wprowadzonych do IBD	Liczba poszkodowanych				
					1	2	3	4	9
kujawsko-pomorskie	2008	16	16	16	16	0	0	0	0
	2009	14	23	15	12	1	0	0	1
	2010	8	8	8	8	0	0	0	0
	2011	16	18	17	14	2	0	0	0
	2012	7	9	9	6	0	1	0	0
	2013	11	11	11	11	0	0	0	0
	2014	12	13	13	11	1	0	0	0
	<b>SUMA</b>	<b>84</b>	<b>98</b>	<b>89</b>	<b>78</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
śląskie	2008	18	18	18	18	0	0	0	0
	2009	9	10	10	8	1	0	0	0
	2010	11	11	11	11	0	0	0	0
	2011	10	11	11	9	1	0	0	0
	2012	39	42	41	37	1	1	0	0
	2013	9	9	9	9	0	0	0	0
	2014	17	17	17	17	0	0	0	0
	<b>SUMA</b>	<b>113</b>	<b>118</b>	<b>117</b>	<b>109</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
lubelskie	2008	9	9	9	9	0	0	0	0
	2009	15	15	15	15	0	0	0	0
	2010	7	8	8	6	1	0	0	0

	2011	7	7	7	7	0	0	0	0
	2012	9	9	9	9	0	0	0	0
	2013	11	11	11	11	0	0	0	0
	2014	5	6	5	4	1	0	0	0
	<b>SUMA</b>	<b>63</b>	<b>65</b>	<b>64</b>	<b>61</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
dolnośląskie	2008	28	28	28	28	0	0	0	0
	2009	27	27	27	27	0	0	0	0
	2010	19	23	23	16	2	1	0	0
	2011	26	28	28	24	2	0	0	0
	2012	22	23	23	21	1	0	0	0
	2013	19	21	21	18	0	1	0	0
	2014	21	25	21	19	1	0	1	0
	<b>SUMA</b>	<b>162</b>	<b>175</b>	<b>171</b>	<b>153</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
lubuskie	2008	5	6	6	4	1	0	0	0
	2009	6	6	6	6	0	0	0	0
	2010	7	8	8	6	1	0	0	0
	2011	6	6	6	6	0	0	0	0
	2012	2	2	2	2	0	0	0	0
	2013	7	8	8	6	1	0	0	0
	2014	6	8	8	4	2	0	0	0
	<b>SUMA</b>	<b>39</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>SUMA</b>	<b>461</b>	<b>500</b>	<b>485</b>	<b>435</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	

Zgromadzone dane o wypadkach przy pracy poddano szczegółowej analizie.

## 8.1 Charakterystyka przedsiębiorstw budowlanych

### 8.1.1 Ogólna charakterystyka przedsiębiorstw budowlanych w Polsce

W tabeli 8.2 przedstawiono dane statystyczne dotyczące: liczby przedsiębiorstw budowlanych poszczególnych wielkości zarejestrowanych w Polsce w 2015 roku, liczby osób pracujących w tych przedsiębiorstwach oraz liczby osób poszkodowanych w śmiertelnych, ciężkich i lekkich wypadkach przy pracy oraz ogółem.

Tabela 8.2 Liczba przedsiębiorstw budowlanych, zatrudnionych osób oraz wypadków przy pracy w zależności od wielkości przedsiębiorstwa w 2015 roku  
(Główny Urząd Statystyczny, 2016a)

Wielkość przedsiębiorstwa (liczba pracowników)	Liczba przedsiębiorstw [-]	Liczba zatrudnionych [-]	Liczba osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy [-]			
			śmiertelnych	ciężkich	lekkich	ogółem
mikroprzedsiębiorstwa (1-9)	235 628	487 442	24	21	662	707
małe przedsiębiorstwa (10-49)	7 066	144 006	20	38	1 660	1 718
średnie przedsiębiorstwa (50-249)	1 274	121 160	17	19	2 046	2 082
duże przedsiębiorstwa (powyżej 250)	135	89 051	8	6	1 255	1 269
Ogółem	244 103	841 659	69	84	5 623	5 776

Z kolei, w tabeli 8.3 przedstawiono: udziały procentowe przedsiębiorstw poszczególnych wielkości w ogólnej liczbie przedsiębiorstw budowlanych zarejestrowanych w Polsce, udziały procentowe osób pracujących w przedsiębiorstwach określonej wielkości w ogólnej liczbie osób pracujących w budownictwie w Polsce oraz strukturę wypadków śmiertelnych, ciężkich, lekkich i ogółem w przedsiębiorstwach poszczególnych wielkości.

Tabela 8.3 Udziały procentowe przedsiębiorstw budowlanych, zatrudnionych osób oraz wypadków przy pracy w zależności od wielkości przedsiębiorstwa w 2015 roku  
(Główny Urząd Statystyczny, 2016a)

Wielkość przedsiębiorstwa (liczba pracowników)	Udział procentowy przedsiębiorstw [%]	Udział procentowy zatrudnionych osób $u_o$ [%]	Udział procentowy wypadków przy pracy $u_w$ [%]			
			śmiertelnych	ciężkich	lekkich	ogółem
mikroprzedsiębiorstwa (1-9)	96,5	57,9	34,8	25,0	11,8	12,3
małe przedsiębiorstwa (10-49)	2,9	17,1	29,0	45,3	29,5	29,7
średnie przedsiębiorstwa (50-249)	0,5	14,4	24,6	22,6	36,4	36,0
duże przedsiębiorstwa (powyżej 250)	0,1	10,6	11,6	7,1	22,3	22,0
Ogółem	100	100	100	100	100	100

Z danych zawartych w tabelach 8.2 i 8.3 wynika, że mikroprzedsiębiorstwa stanowią prawie 96,5% wszystkich przedsiębiorstw budowlanych w Polsce, a małe przedsiębiorstwa 2,9%. Łączna liczba osób zatrudnionych w mikro i małych przedsiębiorstwach stanowi aż 75% osób zatrudnionych we wszystkich firmach budowlanych w Polsce. W omawianych przedsiębiorstwach budowlanych w 2015 roku w całej Polsce doszło do 103 wypadków przy pracy o skutkach śmiertelnych oraz ciężkich, co stanowi 67% wszystkich wypadków w tej grupie przedsiębiorstw.

Wg danych statystycznych, najwięcej osób ulega wypadkom o skutkach śmiertelnych w mikroprzedsiębiorstwach. Liczba wypadków śmiertelnych w tej grupie przedsiębiorstw wyniosła 24, co stanowi 34,8% wszystkich wypadków śmiertelnych we wszystkich rodzajach przedsiębiorstw. Największa liczba wypadków ciężkich wystąpiła w małych przedsiębiorstwach, w których uległo wypadkowi 38 osób, co stanowi 45,3% wszystkich osób poszkodowanych w polskim budownictwie.

W tabeli 8.4 zamieszczono obliczone wg formuły 7.1 wskaźniki charakteryzujące przedsiębiorstwa budowlane w aspekcie wypadkowości osiągnięte w 2015 roku.

Tabela 8.4 Wskaźniki  $w_p$  osiągnięte w 2015 roku (opracowanie własne)

Wielkość przedsiębiorstwa (liczba pracowników)	Wskaźnik uwzględniający procentowy udział wypadków przy pracy w stosunku do zatrudnionych osób $w_p$ [-]			
	śmiertelnych	ciężkich	lekkich	ogółem
mikroprzedsiębiorstwa (1-9)	0,60	0,43	0,20	0,21
małe przedsiębiorstwa (10-49)	1,69	<b>2,64</b>	1,73	1,74
średnie przedsiębiorstwa (50-249)	<b>1,71</b>	1,57	<b>2,53</b>	<b>2,50</b>
duże przedsiębiorstwa (powyżej 250)	1,10	0,68	2,11	2,08

Z przeprowadzonej analizy wynika, że najniższe wskaźniki  $w_p$  uwzględniające udział wypadków przy pracy w stosunku do zatrudnionych osób uzyskały mikroprzedsiębiorstwa. Przeprowadzona analiza wykazała, że pomimo utartej w branży budowlanej opinii, mikroprzedsiębiorstwa oraz małe firmy budowlane nie przyczyniają się w głównej mierze do generowania wypadków w budownictwie. Należy zauważyć, że to średnie przedsiębiorstwa przyczyniają się znacząco do wzrostu wypadkowości w budownictwie. Dla tej grupy przedsiębiorstw uzyskano najwyższe wskaźniki charakteryzujące wypadkowość zarówno dla wypadków śmiertelnych, lekkich jak i ogółem. Podobne wyniki analiz uzyskali w swoich badaniach López Arquillos i in. (2012).

### 8.1.2 Struktura wypadków w analizowanej grupie przedsiębiorstw

Na podstawie analizy Protokołów Kontroli, stwierdzono następującą strukturę wypadków ze względu na wielkość przedsiębiorstw, w których się one zdarzyły:

- 2 osoby poszkodowane prowadziły własną działalność gospodarczą, co stanowiło 0,4% wszystkich osób poszkodowanych,
- 231 osób poszkodowanych zatrudnionych było w mikroprzedsiębiorstwach zatrudniających nie więcej niż 9 osób, co stanowiło 47,6% wszystkich osób poszkodowanych,

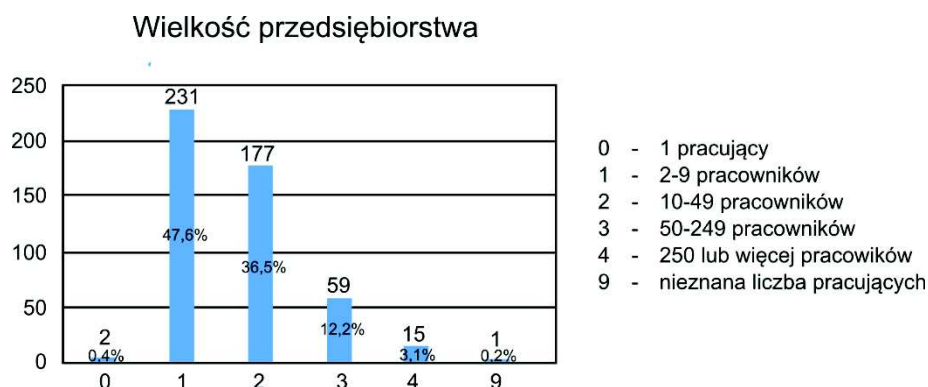
- 177 osób poszkodowanych zatrudnionych było w małych przedsiębiorstwach zatrudniających nie więcej niż 50 osób, co stanowiło 36,5% wszystkich osób poszkodowanych,
- 59 osób poszkodowanych zatrudnionych było w średnich przedsiębiorstwach zatrudniających nie więcej niż 250 osób, co stanowiło 12,2% wszystkich osób poszkodowanych,
- 15 osób poszkodowanych zatrudnionych było w dużych firmach budowlanych zatrudniających więcej niż 250 osób, co stanowiło 3,1% wszystkich osób poszkodowanych.

Powyższe dane liczbowe zamieszczono w tabeli 8.5.

Tabela 8.5 Struktura wypadków w przedsiębiorstwach budowlanych

Wielkość przedsiębiorstwa (liczba pracowników)	Liczba osób poszkodowanych	Udział procentowy osób poszkodowanych [%]
samo zatrudnienie	2	0,4
mikroprzedsiębiorstwa (2-9)	231	47,6
małe przedsiębiorstwa (10-49)	177	36,5
średnie przedsiębiorstwa (50-249)	59	12,2
duże przedsiębiorstwa (powyżej 250)	15	3,1
nieznana liczba pracujących	1	0,2
Ogółem	485	100,0

Na rys. 8.1 przedstawiono wykres liczby osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w przedsiębiorstwach budowlanych o różnych wielkościach.

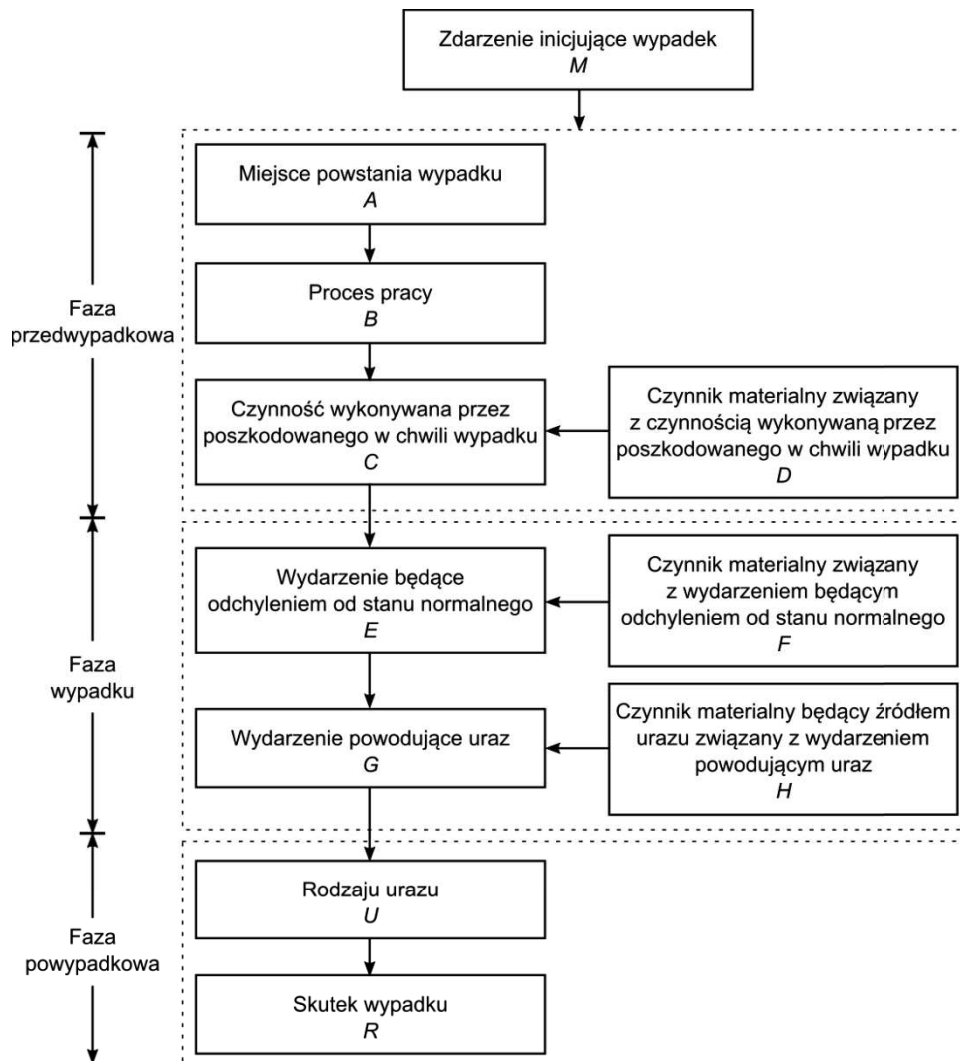


Rys. 8.1 Liczba osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w przedsiębiorstwach budowlanych o różnych wielkościach (opracowanie własne)



## 8.2 Analiza ilościowa aktywacji węzłów w grafie

Przeprowadzono symulację złożonego procesu wypadkowego obejmującego lata od 2008 do 2014 roku. W analizowanym złożonym procesie wypadkowym poszkodowanych zostało 485 osób. Na podstawie przeprowadzonej symulacji przeprowadzono identyfikację aktywnych węzłów w grafie oraz aktywnych relacji między węzłami. Następnie zaktualizowano zaproponowany model w taki sposób aby przedstawiał rzeczywistą sytuację w budownictwie. Analizę ilościową aktywacji węzłów w poszczególnych grupach przeprowadzono zgodnie z kolejnością przedstawioną na rysunku 8.2.



Rys. 8.2 Schemat procesu wypadkowego (opracowanie własne)

### 8.2.1 Miejsce powstania wypadku „A”

W tabeli 8.6 zamieszczono dane liczbowe dotyczące miejsc, w których poszkodowany przebywał w chwili wypadku. Stwierdzono, że analizowane wypadki zdarzyły się w czasie budowy nowych obiektów, w czasie robót remontowych, modernizacyjnych i wyburzeniowych oraz podczas realizacji obiektów pod ziemią i ponad wodą. Zidentyfikowane miejsca powstania wypadku uszeregowano pod kątem liczności ich wystąpienia. W tabeli zamieszczono również

oznaczenia kodowe, liczbę występujących zdarzeń związanych z danym miejscem, procentowy udział poszczególnych miejsc we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych miejsc.

Tabela 8.6 Dane liczbowe dotyczące miejsc, w których zdarzył się wypadek

Miejsce powstania wypadku <i>A</i>	oznaczenie kodowe $a_i$	liczba osób poszkodowanych	udział w %	skumulowany udział w %
obiekt w budowie	$a_{021}$	287	59,2	59,2
obiekt rozbierany, burzony, remontowany	$a_{022}$	193	39,8	99,0
teren budowy pod ziemią	$a_{024}$	4	0,8	99,8
teren budowy na wodzie, ponad wodą	$a_{025}$	1	0,2	100,0

Analiza miejsc powstania wypadków pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- najczęściej wypadków przy pracy zdarzyło się na terenie budowy nowych obiektów, m.in.: budynków mieszkalnych jednorodzinnych i wielorodzinnych, budynków niemieszkalnych takich jak hotele i budynki zakwaterowania turystycznego, budynków biurowych, handlowo-usługowych, przemysłowych i magazynowych, a także obiektów inżynierii lądowej, tzn. infrastruktury transportu, rurociągów linii telekomunikacyjnych oraz elektroenergetycznych. Podczas realizacji takich obiektów zostało poszkodowanych 287 osób, co stanowiło 59,2% wszystkich poszkodowanych w analizowanych wypadkach,
- drugim, pod względem liczby osób poszkodowanych, miejscem powstawania wypadków są obiekty poddawane remontom, rozbiórkom oraz wyburzeniom. Były to m.in.: budynki mieszkalne oraz kultu religijnego, budynki przemysłowe, a także obiekty inżynierii lądowej. Liczba osób poszkodowanych w czasie realizacji wymienionych robót wyniosła 193, co stanowiło 39,8% wszystkich osób poszkodowanych w analizowanych wypadkach,
- 1,0 % osób zostało poszkodowanych w czasie budowy obiektów inżynierii lądowej zlokalizowanych pod ziemią lub ponad wodą, m.in. w czasie budowy mostów.

### 8.2.2 Proces pracy „B”

W tabeli 8.7 zamieszczono dane liczbowe dotyczące procesów pracy, w czasie których doszło do wypadku. Zidentyfikowane procesy uszeregowano od maksimum do minimum. Zamieszczono również oznaczenia kodowe, liczbę zidentyfikowanych procesów, procentowy udział poszczególnych procesów we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych procesów.

Tabela 8.7 Dane liczbowe dotyczące procesów pracy w czasie których doszło do wypadku

Proces pracy $B$	oznaczenie kodowe $b_j$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
budowanie nowych budynków	$b_{22}$	222	46,8	46,8
przebudowywanie, naprawa, rozbudowywanie, konserwacja obiektów budowlanych i infrastruktury	$b_{24}$	171	35,3	81,0
wydobycie i prace ziemne	$b_{21}$	44	9,1	90,1
budowanie infrastruktury, np. dróg, mostów, tam, portów, itp.	$b_{23}$	30	6,2	96,3
prace rozbiórkowe i wyburzeniowe	$b_{25}$	18	3,7	100,0

Analiza wypadków pod kątem procesów pracy, w czasie których doszło do wypadku była podstawą sformułowania następujących wniosków:

- najczęściej wypadków zdarzyło się podczas realizacji nowych budynków. W czasie robót budowlanych poszkodowanych zostało 222 osób co stanowiło 46,8 % wszystkich poszkodowanych w analizowanych wypadkach,
- kolejnymi procesami pracy, w czasie których doszło do wypadku, są procesy związane z przebudową, naprawą, rozbudową lub konserwacją obiektów budowlanych i infrastruktury. W czasie takich procesów poszkodowanych zostało 171 osób, co stanowiło 35,3% wszystkich poszkodowanych w analizowanych wypadkach,
- w czasie wydobywania i prac ziemnych poszkodowanych zostało 44 osób, co stanowiło 9,1 %, wszystkich poszkodowanych,
- w czasie budowy infrastruktury, np. dróg, mostów, tam, portów i itp. poszkodowanych zostało 30 osób co stanowiło 6,2% wszystkich poszkodowanych,
- w czasie robót rozbiórkowych i wyburzeniowych poszkodowanych zostało 18 osób, co stanowiło 3,7%, wszystkich poszkodowanych.

### 8.2.3 Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku „C”

W tabeli 8.8 przedstawiono dane liczbowe dotyczące poszczególnych czynności wykonywanych przez poszkodowanych w sposób zamierzony, bezpośrednio przed wypadkiem. Czynności uszeregowano od maksimum do minimum. Zamieszczono również oznaczenia kodowe, liczbę zidentyfikowanych czynności, procentowy udział poszczególnych czynności we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych czynności.

Tabela 8.8 Dane liczbowe dotyczące czynności wykonywanych przez poszkodowanych w chwili wypadku

Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku $C$	oznaczenie kodowe $c_k$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
poruszanie się	$c_6$	186	38,4	38,4
operowanie przedmiotami	$c_4$	127	26,2	64,5
prace narzędziami ręcznymi	$c_2$	83	17,1	81,6
transport ręczny	$c_5$	57	11,8	93,4
obsługiwanie maszyn	$c_1$	15	3,1	96,5
obecność	$c_7$	10	2,1	98,6
jazda środkami transportu / obsługa ruchomych maszyn i urządzeń	$c_3$	7	1,4	100,0

Z danych zamieszczonych w tabeli wynikają następujące wnioski:

- najczęściej wypadki zdarzały się podczas przemieszczania się pracowników po placu budowy. W czasie tej czynności wypadkom uległo 186 osób, co stanowiło 38,4% wszystkich poszkodowanych. Do tej grupy czynności wlicza się m.in.: chodzenie, bieganie, wchodzenie na kondygnację lub schodzenie pracownika z innej kondygnacji, wchodzenie do pomieszczenia lub wychodzenie z pomieszczeń, skakanie, podskakiwanie, wstawanie, siadanie, ruchy wykonywane w miejscu i itp.,
- w czasie operowania przedmiotami, np. wyrobami budowlanymi, wypadkom uległo 127 osób co stanowiło 26,2% wszystkich poszkodowanych. Czynność ta obejmuje: branie do, chwytanie, trzymanie i umieszczanie w poziomie, wiązanie, opasywanie, owijanie, odrywanie, rozpinanie, rozwiązywanie, ściskanie, skręcanie, rozkręcanie, wyginanie, mocowanie, zawieszanie, unoszenie, rzucanie, odrzucanie, wlewanie, wypełnianie płynem, podlewanie, wylewanie i itp.,
- kolejną czynnością, w czasie której doszło do wypadku była praca narzędziami ręcznymi niezmechanizowanymi oraz zmechanizowanymi, np. narzędziami do cięcia, piłowania, zgrzewania, malowania, wiercenia, itp. W czasie takich czynności wypadkom uległy 83 osoby, co stanowiło 17,1% wszystkich poszkodowanych,
- podczas transportu ręcznego uległo wypadkom 57 osób, co stanowiło 11,8% badanej populacji wypadków,
- w czasie obsługiwanie maszyn budowlanych poszkodowanych zostało 15 osób, co stanowiło 3,1% badanej populacji,
- pozostałe 3,5% wypadków zdarzyło się w czasie jazdy środkami transportu oraz wykonywania innych nie zidentyfikowanych czynności.

#### 8.2.4 Czynniki materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku „D”

Przez czynnik materialny należy rozumieć: realizowane obiekty budowlane i ich elementy, maszyny, urządzenia, narzędzia lub inne obiekty używane przez poszkodowanego w chwili, gdy uległ on wypadkowi, a także wyroby budowlane, odpady budowlane, elementy środowiska naturalnego, w których roboty są realizowane oraz towarzyszące im zjawiska fizyczne.

W tabeli 8.9 zamieszczono dane liczbowe dotyczące czynników materialnych związanych z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku. Zidentyfikowane czynniki uszeregowano od maksimum do minimum pod kątem liczby wystąpień. Zamieszczono oznaczenia kodowe, liczbę zidentyfikowanych czynników, procentowy udział poszczególnych czynników we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych czynników.

Tabela 8.9 Dane liczbowe dotyczące czynników materialnych związanych z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku

Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>D</i>	oznaczenie kodowe $d_n$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się nad poziomem gruntu	$d_{02}$	250	51,5	51,5
materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn	$d_{14}$	57	11,8	63,3
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu	$d_{03}$	45	9,3	72,6
narzędzia ręczne bez napędu	$d_{06}$	31	6,4	79,0
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu	$d_{01}$	22	4,5	83,5
narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie	$d_{07}$	21	4,3	87,8
czynnik materialny nie występuje	$d_{00}$	13	2,7	90,5
maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania	$d_{11}$	10	2,1	92,6
pojazdy drogowe	$d_{12}$	8	1,6	94,2
urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii	$d_{05}$	7	1,4	95,6
maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne	$d_{10}$	7	1,4	97,1
Maszyny, wyposażenie – przenośne lub ruchome	$d_{09}$	5	1,0	98,1
systemy dostaw, dystrybucji i odprowadzania gazów, cieczy i ciał stałych, sieci rur i instalacje	$d_{04}$	3	0,6	98,8
urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem	$d_{16}$	2	0,4	99,2
odpady	$d_{19}$	2	0,4	99,6
inne pojazdy transportowe	$d_{13}$	1	0,2	99,8
zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego	$d_{20}$	1	0,2	100,0

Analiza udziału czynników materialnych związanych z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku była podstawą sformułowania następujących wniosków:

- przede wszystkim, czynnikami materialnymi związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku były budynki i ich elementy znajdujące się nad poziomem gruntu. Do tej grupy czynników wlicza się m.in.: dachy, tarasy, schody, a także drabiny stałe oraz przenośne, rusztowania stałe, przestawne, przejezdne, ruchome pomosty, podnoszone platformy, kosze robocze, itp., W czasie przebywania na tych elementach wypadkowi uległo 250 osób, co stanowiło 51,5% wszystkich poszkodowanych,
- kolejną grupą czynników materialnych związanych z czynnościami, przy których zdarzył się wypadek były wyroby budowlane, elementy montażowe, ładunki przemieszczane przez zmechanizowane urządzenia transportujące, ładunki przemieszczane ręcznie, itp. Czynniki te związane były z wypadkiem 57 osób, co stanowiło 11,8% wszystkich poszkodowanych,

- budynki, konstrukcje i ich elementy oraz powierzchnie znajdujące się poniżej poziomu terenu stanowiły czynnik materialny, który związany był z czynnością wykonywaną przez 45 poszkodowanych osób. Czynnik ten wystąpił w 9,3% badanej populacji. Do tych czynników materialnych zaliczamy m.in. wykopy, studnie, obiekty podziemne, tunele, itp.,
- kolejną grupę stanowiły: narzędzia ręczne bez napędu: narzędzia do cięcia, przecinania, malowania, wiercenia, skręcania, przykręcania, szlifowania, chwytania, wydobywania materiałów i prac ziemnych, itp. Narzędzia te używane były przez 31 osób, co stanowiło 6,4% wszystkich poszkodowanych,
- budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu stanowiły czynnik materialny związany z pracą 22 poszkodowanych osób, co stanowiło 4,5% wszystkich poszkodowanych,
- narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie wystąpiły u 21 osób, co stanowiło 4,3% badanej populacji,
- maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania stanowiły czynnik materialny, który wystąpił u 10 osób, co stanowiło 2,1% wszystkich poszkodowanych,
- pojazdy drogowe związane były z wypadkami 8 osób, co stanowiło 1,6% wszystkich poszkodowanych,
- z wypadkami przy pracy pozostałych 4,4% wszystkich osób poszkodowanych związane były takie czynniki jak: urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii; maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne oraz przenośne lub ruchome, systemy dostaw, dystrybucji i odprowadzania gazów, cieczy i ciał stałych, sieci rur i instalacje, urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem, odpady, zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego.

### **8.2.5 Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego „E”**

Przez wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego rozumie się wydarzenie, które nie jest zgodne z właściwym przebiegiem procesu pracy, które wywołało wypadek. Wydarzeniami takimi są najczęściej: poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby, załamanie się czynnika materialnego, wybuch, pożar i wiele innych.

W tabeli 8.10 przedstawiono dane liczbowe dotyczące poszczególnych wydarzeń będących odchyleniem od stanu normalnego niezgodnych z właściwym przebiegiem procesu pracy, które wywołały wypadek. Wydarzenia te uszeregowano od maksimum do minimum. Zamieszczono oznaczenia kodowe, liczbę wystąpień poszczególnych wydarzeń, procentowy udział poszczególnych wydarzeń we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych wydarzeń.



Tabela 8.10 Dane liczbowe dotyczące poszczególnych wydarzeń będących odchyleniem od stanu normalnego

Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E$	oznaczenie kodowe $e_o$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby	$e_5$	222	48,5	45,8
uszkodzenie, rozerwanie, pęknięcie, ześlizgnięcie, upadek, załamanie się czynnika materialnego	$e_3$	152	31,3	77,1
utrata kontroli nad maszyną, środkami transportu, transportowanym ładunkiem, narzędziem, obiektem	$e_4$	56	11,5	88,7
odchylenie związane z elektrycznością, wybuchem, pożarem	$e_1$	17	3,5	92,2
wstrząs, strach, przemoc, atak, zagrożenie, obecność	$e_8$	17	3,5	95,7
ruchy ciała bez wysiłku fizycznego, prowadzące na ogół do urazów zewnętrznych	$e_6$	12	2,5	98,1
odchylenie związane z wyrzutem, wyciekami, emisją substancji szkodliwych	$e_2$	5	1,0	99,2
ruchy ciała związane z wysiłkiem fizycznym, prowadzące na ogół do urazów wewnętrznych	$e_7$	4	0,8	100,0

Z danych zamieszczonych w tabeli wynikają następujące wnioski:

- najczęściej do wypadku dochodzi w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się i upadku osoby na tym samym poziomie lub upadku osoby z wysokości na niższy poziom. Takim wydarzeniom uległo 222 osób, co stanowiło 48,5% wszystkich poszkodowanych,
- kolejnym wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego było uszkodzenie, rozerwanie, pęknięcie, ześlizgnięcie, upadek lub załamanie się czynnika materialnego. Do tej grupy wydarzeń wlicza się m.in.: uszkodzenie materiału w miejscu łączenia, załamanie się czynnika materialnego powodujące uderzenie poszkodowanego przez spadający element z góry, załamanie się czynnika materialnego powodujące wciągnięcie poszkodowanego w dół, itp., Takie wydarzenia spowodowały wypadek 152 osób, co stanowiło 31,3% wszystkich poszkodowanych,
- utrata kontroli nad maszyną budowlaną, środkami transportu, transportowanym ładunkiem, narzędziem lub obiektem spowodowała wypadek 56 osób, co stanowiło 11,5% wszystkich poszkodowanych,
- w wyniku nieprawidłowości związanych z elektrycznością na placu budowy, wybuchu i pożaru wypadkom uległo 17 osób, co stanowiło 3,5% badanej populacji osób poszkodowanych w wypadkach,
- wstrząs, strach, przemoc, atak lub inne zagrożenie spowodowały że poszkodowanych w wypadkach zostało 17 osób, co stanowiło 3,5% badanej populacji,
- pozostałe 4,3% wypadków związane było z takim wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego jak: wykonywanie gwałtownych ruchów ciała prowadzących do urazów zewnętrznych, wykonywanie ruchów ciała związanych z wysiłkiem fizycznym prowadzących do urazów wewnętrznych, oraz wyrzut, wyciek lub emisja substancji szkodliwych.

### 8.2.6 Czynniki materialny związane z odchyleniem od stanu normalnego „F”

W tabeli 8.11 zamieszczono dane liczbowe dotyczące czynników materialnych związanych z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego. Zidentyfikowane

czynniki uszeregowano od maksimum do minimum pod kątem liczby wystąpień. Zamieszczono również oznaczenia kodowe, procentowy udział poszczególnych czynników we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych czynników.

Tabela 8.11 Dane liczbowe dotyczące czynników materialnych związanych z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego

Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$	oznaczenie kodowe $f_p$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się nad poziomem gruntu	$f_{02}$	269	55,5	55,5
materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn	$f_{14}$	41	8,5	63,9
zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego	$f_{20}$	33	6,8	70,7
pojazdy drogowe	$f_{12}$	28	5,8	76,5
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu	$f_{01}$	18	3,7	80,2
narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie	$f_{07}$	16	3,3	83,5
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu	$f_{03}$	12	2,5	86,0
urządzenia do wytwarzania, przewarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii	$f_{05}$	10	2,1	88,0
narzędzia ręczne bez napędu	$f_{06}$	9	1,9	89,9
odpady	$f_{19}$	9	1,9	91,8
maszyny, wyposażenie – przenośne lub ruchome	$f_{09}$	8	1,6	93,4
czynnik materialny nie występuje	$f_{00}$	7	1,4	94,8
maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne	$f_{10}$	7	1,4	96,3
systemy dostaw, dystrybucji i odprowadzania gazów, cieczy i ciał stałych, sieci rur i instalacje	$f_{04}$	5	1,0	97,3
maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania	$f_{11}$	5	1,0	8,4
substancje chemiczne, promieniotwórcze, wybuchowe, biologiczne	$f_{15}$	3	0,6	99,0
urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem	$f_{16}$	2	0,4	99,4
ludzie i inne organizmy żywe	$f_{18}$	2	0,4	99,8
inne pojazdy transportowe	$f_{13}$	1	0,2	100,0

Analiza wypadków pod kątem czynników materialnych używanych przez poszkodowanego w chwili gdy doszło do odchylenia od stanu normalnego w przebiegu procesu pracy była podstawą sformułowania następujących wniosków:

- najczęściej czynnikiem materialnym związanym z odchyleniem od stanu normalnego były budynki, konstrukcje i ich elementy oraz powierzchnie znajdujące się nad poziomem gruntu. Czynnik ten wystąpił u 269 osób, co stanowiło 55,5% wszystkich poszkodowanych,
- kolejną grupę czynników stanowiły: wyroby budowlane oraz części maszyn. Czynniki te wystąpiły podczas wypadków 41 osób, co stanowiło 8,5% wszystkich poszkodowanych,
- zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego stanowiły czynniki materialne podczas wypadków 33 osób, co stanowiło 6,8% wszystkich osób poszkodowanych. Do tej grupy czynników wlicza się w szczególności grunt składowany na placu budowy,

- kolejną grupę czynników stanowiły pojazdy drogowe oraz ciężkie pojazdy transportowe. Czynniki te wystąpiły podczas wypadków 28 osób, co stanowiło 5,8% wszystkich poszkodowanych,
- budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu związane były z wypadkami 18 osób, co stanowiło 3,7% badanej populacji wypadków. Do tych czynników zaliczamy m.in. budynki i ich elementy takie jak drzwi, ściany, okna, podłogi na poziomie gruntu, itp.,
- następnymi czynnikami były narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie przez poszkodowanego. Czynniki te wystąpiły u 16 osób, co stanowiło 3,3% wszystkich poszkodowanych,
- kolejnymi czynnikami były budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdowały się poniżej poziomu gruntu. Kontakt z tymi czynnikami wystąpił u 12 osób, co stanowiło 2,5% badanej populacji,
- urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii stanowiły czynnik materialny u 10 osób, co stanowiło 2,1% wszystkich poszkodowanych,
- narzędzia ręczne bez napędu stanowiły czynnik materialny, który używany był przez 9 osób, co stanowiło 1,9% wszystkich poszkodowanych,
- odpady stanowiły czynnik materialny u 9 osób, co stanowiło 1,9% wszystkich poszkodowanych,
- maszyny i wyposażenie przenośne lub ruchome były czynnikiem materialnym w chwili wypadku 8 osób, co stanowiło 1,6% badanej populacji wypadków,
- z wypadkami przy pracy pozostałych 6,6% wszystkich osób poszkodowanych związane były takie czynniki jak: maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne; systemy dostaw, dystrybucji i odprowadzania gazów, cieczy i ciał stałych, sieci rur i instalacje; maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania; substancje chemiczne, promieniotwórcze, wybuchowe, biologiczne; urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem; ludzie i inne organizmy żywe; inne pojazdy transportowe.

### **8.2.7 Wydarzenie powodujące uraz „G”**

Skutkiem odchylenia od stanu normalnego w przebiegu procesów pracy są wydarzenia powodujące uraz. W tabeli 8.12 zamieszczono dane liczbowe dotyczące wydarzeń powodujących uraz. Zidentyfikowane wydarzenia uszeregowano od maksimum do minimum pod kątem liczby wystąpień. Zamieszczono również oznaczenia kodowe, procentowy udział poszczególnych wydarzeń we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych wydarzeń.

Tabela 8.12 Dane liczbowe dotyczące poszczególnych wydarzeń powodujących uraz

Wydarzenie powodujące uraz $G$	oznaczenie kodowe $g_q$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
zderzenie z, uderzenie w nieruchomy obiekt	$g_3$	283	58,4	58,4
uderzenie przez obiekt w ruchu	$g_4$	60	12,4	70,7
uwięzienie, zmiżdżenie	$g_6$	44	9,1	79,8
tonięcie, zakopanie, zamknięcie	$g_2$	33	6,8	86,6
kontakt z przedmiotem ostrym, szorstkim, chropowatym	$g_5$	31	6,4	93,0
kontakt z prądem elektrycznym, temperaturą, niebezpiecznymi substancjami i preparatami chemicznymi	$g_1$	26	5,4	98,4
obciążenie fizyczne lub psychiczne	$g_7$	5	1,0	99,4
przejaw agresji ze strony człowieka lub zwierzęcia	$g_8$	3	0,6	100,0

Analiza wydarzeń powodujących uraz pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- najczęściej do urazów dochodzi w wyniku zderzenia z lub uderzenia w nieruchomy obiekt. Do takich wydarzeń doszło u 283 osób, co stanowiło 58,4% wszystkich poszkodowanych,
- uderzenie przez obiekt w ruchu stanowiło wydarzenie powodujące uraz u 60 osób, co stanowiło 12,4% badanej populacji wypadków. Do tej grupy wydarzeń wlicza się m.in.: uderzenie przez wyrzucony, spadający, kołyszący się, obracający się, poruszający się, transportowany obiekt, np. wyroby budowlane,
- kolejnym wydarzeniem powodującym uraz było przygniecenie poszkodowanego czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem. W czasie takiego wydarzenia wypadkom uległy 44 osoby, co stanowiło 9,1% wszystkich poszkodowanych. Wydarzenie to obejmuje m.in.: uwięzienie poszkodowanego pod gruzem rozbieranego budynku, zmiżdżenie kończyny poszkodowanego przez spadający materiał budowlany, itp.,
- wydarzenie związane z utonięciem, zakopaniem lub zasypaniem pracownika wystąpiło u 33 osób, co stanowiło 6,8% badanej populacji,
- następnym wydarzeniem powodującym uraz był kontakt z przedmiotem ostrym, szorstkim lub chropowatym. W czasie takiego wydarzenia wypadkom uległo 31 osób, co stanowiło 6,4% wszystkich poszkodowanych,
- pozostałe 7,0% wypadków związane było z takim wydarzeniem powodującym uraz jak: kontakt z prądem elektrycznym, temperaturą, niebezpiecznymi substancjami i preparatami chemicznymi; obciążenie fizyczne lub psychiczne; przejaw agresji ze strony człowieka lub zwierzęcia.

### 8.2.8 Czynniki materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz „H”

Źródłem urazu jest kontakt osoby z czynnikiem materialnym. W tabeli 8.13 zamieszczono dane liczbowe dotyczące czynników materialnych będących źródłem urazu, związanych z wydarzeniem powodującym uraz. Zidentyfikowane czynniki uszeregowano od maksimum do minimum pod kątem liczby wystąpień. Zamieszczono również oznaczenia

kodowe, liczbę zidentyfikowanych czynników, procentowy udział poszczególnych czynników we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych czynników.

Tabela 8.13 Dane liczbowe dotyczące wydarzeń powodujących uraz

Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$	oznaczenie kodowe $h_s$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu	$h_{01}$	257	53,0	53,0
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się nad poziomem gruntu	$h_{02}$	43	8,9	61,9
zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego	$h_{20}$	35	7,2	69,1
materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn	$h_{14}$	33	6,8	75,9
pojazdy drogowe	$h_{12}$	31	6,4	82,3
narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie	$h_{07}$	16	3,3	85,6
odpady	$h_{19}$	14	2,9	88,5
urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii	$h_{05}$	10	2,1	90,5
budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu	$h_{03}$	9	1,9	92,4
narzędzia ręczne bez napędu	$h_{06}$	9	1,9	94,2
maszyny, wyposażenie – przenośne lub ruchome	$h_{09}$	8	1,6	95,9
systemy dostaw, dystrybucji i odprowadzania gazów, cieczy i ciał stałych, sieci rur i instalacje	$h_{04}$	5	1,0	96,9
maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne	$h_{10}$	5	1,0	97,9
substancje chemiczne, promieniotwórcze, wybuchowe, biologiczne	$h_{15}$	3	0,6	98,6
maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania	$h_{11}$	2	0,4	99,0
ludzie i inne organizmy żywe	$h_{18}$	2	0,4	99,4
czynnik materialny nie występuje	$h_{00}$	1	0,2	99,6
inne pojazdy transportowe	$h_{13}$	1	0,2	99,8
urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem	$h_{16}$	1	0,2	100,0

Analiza wypadków pod kątem czynników będących źródłem urazu, związanych z wydarzeniem powodującym uraz, była podstawą sformułowania następujących wniosków:

- najczęściej występującym czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu były budynki, konstrukcje i ich elementy oraz powierzchnie znajdujące się na poziomie gruntu. Czynnik ten wystąpił u 257 osób, co stanowiło 53,0% wszystkich poszkodowanych,
- budynki, konstrukcje i ich elementy oraz powierzchnie znajdujące się nad poziomem gruntu były źródłem urazu u 43 osób, co stanowiło 8,9% badanej populacji wypadków,
- następnymi czynnikami były zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego, w szczególności grunt składowany na placu budowy. Czynniki te wystąpiły u 35 osób, co stanowiło 7,2% badanej populacji,
- materiały, przedmioty, wyroby oraz części maszyn stanowiły czynnik materialny będący źródłem urazu, który wystąpił u 33 osób, co stanowiło 6,8% wszystkich poszkodowanych,

- kolejnymi czynnikami były pojazdy drogowe oraz ciężkie pojazdy transportowe. Czynniki te wystąpiły u 31 osób, co stanowiło 6,4% badanej populacji wypadków,
- następnymi czynnikami były narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie przez poszkodowanego. Czynniki te wystąpiły u 16 osób, co stanowiło 3,3% badanej populacji,
- odpady stanowiły czynnik materialny będący źródłem urazu u 14 osób, co stanowiło 2,9% wszystkich poszkodowanych,
- kolejnymi czynnikami materialnymi będącymi źródłem urazów były urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii. Kontakt z tymi czynnikami wystąpił u 10 osób, co stanowiło 2,1% badanej populacji wypadków,
- budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu stanowiły czynnik materialny, który wystąpił u 9 osób, co stanowiło 1,9% wszystkich poszkodowanych. Takie same charakterystyki liczbowe, tzn. liczba osób poszkodowanych oraz procentowy udział osób poszkodowanych w analizowanej grupie, wystąpiły dla kolejnego czynnika materialnego jakim były narzędzia ręczne bez napędu,
- pozostałe 5,8% wypadków związanych było z takimi czynnikami będącymi źródłem urazów jak: maszyny i wyposażenie przenośne lub ruchome; systemy dostaw, dystrybucji i odprowadzania gazów, cieczy i ciał stałych, sieci rur i instalacje; maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne; substancje chemiczne, promieniotwórcze, wybuchowe, biologiczne; maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania; ludzie i inne organizmy żywe; inne pojazdy transportowe; urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem.

### 8.2.9 Rodzaj urazu „U”

Urazem jest uszkodzenie tkanek ciała lub narządów człowieka wskutek działania czynnika zewnętrznego. Rodzaj urazu określają fizyczne skutki wypadku przy pracy dla poszkodowanego. W tabeli 8.14 przedstawiono dane liczbowe dotyczące urazów, do których doszło w wyniku wydarzenia będącego źródłem urazu, uszeregowanych od maksimum do minimum. Zamieszczono również oznaczenia kodowe, liczbę zidentyfikowanych rodzajów urazów, procentowy udział poszczególnych rodzajów urazów we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych rodzajów urazów.



Tabela 8.14 Dane liczbowe dotyczące urazów

Rodzaj urazu $U$	oznaczenie kodowe $u_p$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
śmierć poszkodowanego	$u_{150}$	178	36,7	36,7
złamania kości	$u_{020}$	107	22,1	58,8
uraz w wyniku upadku z wysokości	$u_{130}$	84	17,3	76,1
amputacje urazowe	$u_{040}$	32	6,6	82,7
urazy wewnętrzne	$u_{050}$	31	6,4	89,1
uraz w wyniku zasypania ziemią	$u_{140}$	13	2,7	91,8
rany i powierzchniowe rany	$u_{010}$	10	2,1	93,8
liczne urazy	$u_{120}$	9	1,9	95,7
oparzenia ogniem lub środkami chemicznymi, oparzenia wodą lub parą, odmrożenia	$u_{060}$	8	1,6	97,3
wstrząsy (ostra reakcja na stres, wstrząs urazowy)	$u_{110}$	4	0,8	98,1
przemieszczenia, zwichnięcia, skręcenia i naderwania	$u_{030}$	3	0,6	98,8
zatrucia, zakażenia	$u_{070}$	2	0,4	99,2
skutki ekstremalnych temperatur, oświetlenia oraz promieniowania	$u_{100}$	2	0,4	99,6
rodzaj urazu nieznan lub nieokreślony	$u_{000}$	1	0,2	99,8
tonięcie, duszenie z powodu braku tlenu	$u_{080}$	1	0,2	100,0

Z danych zamieszczonych w tabeli wynikają następujące wnioski:

- śmierć poszkodowanego wystąpiła w przypadku 178 osób poszkodowanych, co stanowiło 36,7% wszystkich poszkodowanych,
- kolejnym rodzajem urazu były złamania kości. Do złamań kości doszło u 107 osób, co stanowiło 22,1% badanej populacji wypadków,
- urazy spowodowane w wyniku upadku z wysokości wystąpiły w przypadku 84 osób, co stanowiło 17,7% badanej populacji,
- kolejnym rodzajem urazów były amputacje kończyn, które wystąpiły u 32 osób, co stanowiło 6,6% wszystkich poszkodowanych,
- urazy narządów wewnętrznych stwierdzono u 31 osób, co stanowiło 6,6% badanej populacji wypadków,
- następnym rodzajem urazów były urazy wywołane zasypaniem ziemią, które stwierdzono u 13 osób, co stanowiło 2,7% badanej populacji,
- rany powierzchniowe stwierdzono u 10 osób, co stanowiło 2,1% wszystkich poszkodowanych,
- rozległe urazy obejmujące więcej niż pojedyncze uszkodzenie ciała lub narządów, umożliwiające klasyfikację urazu do większej liczby urazów wystąpiły u 9 osób, co stanowiło 1,9% badanej populacji wypadków,
- pozostałe 4,3% wypadków związane było z takimi rodzajami urazów jak: oparzenia ogniem lub środkami chemicznymi, oparzenia wodą lub parą, odmrożenia; wstrząsy; przemieszczenia, zwichnięcia, skręcenia i naderwania; zatrucia, zakażenia; skutki ekstremalnych temperatur, oświetlenia oraz promieniowania; tonięcie, duszenie z powodu braku tlenu.

### 8.2.10 Skutek wypadku „R”

Skutkiem urazu może być: lekkie uszkodzenie ciała, ciężkie uszkodzenie ciała, bądź śmierć osoby poszkodowanej. W tabeli 8.15 zamieszczono dane liczbowe dotyczące skutków wypadków. Zidentyfikowane skutki wypadków uszeregowano od maksimum do minimum. Zamieszczono również oznaczenia kodowe, liczbę zidentyfikowanych skutków wypadków, procentowy udział poszczególnych skutków wypadków we wszystkich analizowanych wypadkach oraz skumulowany procentowy udział kolejno uszeregowanych skutków wypadków.

Tabela 8.15 Dane liczbowe dotyczące skutków wypadków

Skutek wypadku R	oznaczenie kodowe $r_x$	lb. os.	udział w %	skum. udział w %
wypadek ciężki	$r_2$	297	61,2	61,2
wypadek śmiertelny	$r_1$	178	36,7	97,9
wypadek lekki	$r_3$	10	2,1	100,0

Analiza skutków wypadków pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- w analizowanym zbiorze wypadków największą liczbę stanowiły wypadki, które spowodowały u poszkodowanych ciężkie uszkodzenie ciała. Wypadkom o ciężkich skutkach uległo 297 osób, co stanowiło 61,2% wszystkich poszkodowanych. Ciężkie uszkodzenie ciała obejmuje m.in.: utratę wzroku, słuchu, mowy, zdolności rozrodczej lub inne uszkodzenie ciała albo rozstrój zdrowia, naruszający podstawowe funkcje organizmu, a także chorobę nieuleczalną lub zagrażającą życiu, trwałą chorobę psychiczną, całkowitą lub częściową niezdolność do pracy w zawodzie albo trwałe, istotne zezwolenie lub zniekształcenie ciała,
- kolejnym skutkiem wypadków była śmierć osoby poszkodowanej. Wypadkom śmiertelnym uległo 178 osób, co stanowiło 36,7% badanej populacji wypadków,
- pozostałe 2,1% analizowanych wypadków nie miało znamion ani wypadku śmiertelnego ani ciężkiego i zostało zakwalifikowanych do wypadków lekkich.

Należy nadmienić, że uzyskana dla zbioru 485 wypadków struktura ich skutków nie odpowiada rzeczywistej strukturze wypadków, w której zdecydowana część to wypadki lekkie. Spowodowane jest to tym, że zgodnie z obowiązującymi przepisami (U3) obowiązek zgłaszania wypadków do PIP dotyczy wypadków śmiertelnych, ciężkich i zbiorowych, natomiast nie ma takiego obowiązku jeżeli chodzi o wypadki lekkie.

### 8.2.11 Macierz aktywacji węzłów w grafie

Przeprowadzona, w trakcie symulacji złożonego procesu wypadkowego składającego się z 485 wypadków, analiza aktywacji poszczególnych węzłów pozwoliła utworzyć macierz aktywacji węzłów  $W$  opisaną formułą 8.1. Wartości zerowe w macierzy wskazują węzły, które nigdy nie były aktywne. Węzły takie można usunąć z ogólnego modelu wypadku zaproponowanego w rozdziale 7.2. Przyjęto również podział węzłów aktywnych na trzy kategorie, a mianowicie: węzły bardzo istotne, które uaktywnione zostały w 80%

analizowanych wypadków, węzły istotne, które uaktywnione zostały w 15% wypadków oraz węzły mało istotne, które uaktywnione były tylko w 5% badanych wypadków. Procentowy udział węzłów bardzo istotnych, istotnych oraz mało istotnych przyjęto na podstawie (Chu i in., 2008; Dhoka i Choudary, 2013; López-Soto i in., 2017). Aby nie komplikować i nadmiernie rozbudować struktury modelu, węzły mało istotne połączone w jeden węzeł i nazwano go „Inne” w domyśle zdarzenia.

$$W = [w] = \begin{matrix} 485 & 287 & 44 & 0 & 13 & 0 & 7 & 0 & 1 & 1 & 178 \\ 0 & 193 & 222 & 15 & 22 & 17 & 18 & 26 & 257 & 10 & 297 \\ 0 & 0 & 30 & 83 & 250 & 5 & 269 & 33 & 43 & 107 & 10 \\ 0 & 4 & 171 & 7 & 45 & 152 & 12 & 283 & 9 & 3 & 0 \\ 0 & 1 & 18 & 127 & 3 & 56 & 5 & 60 & 5 & 32 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 57 & 7 & 222 & 10 & 31 & 10 & 31 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 186 & 31 & 12 & 9 & 44 & 9 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 21 & 4 & 16 & 5 & 16 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 17 & 8 & 3 & 8 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 7 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 5 & 0 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 28 & 0 & 31 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 57 & 0 & 41 & 0 & 33 & 84 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 3 & 13 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 & 178 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 9 & 0 & 14 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 33 & 0 & 35 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \quad (8.1)$$

W tabeli 8.16 zamieszczono zbiorcze informacje dotyczące aktywnych węzłów zidentyfikowanych w analizowanych zbiorach wypadków z podziałem na węzły bardzo istotne oraz węzły istotne.

Tabela 8.16 Zbiorcze zestawienie wyników analizy przebiegu wypadku

Bardzo istotne	Istotne
Miejsce powstania wypadku $A = \{a_i; i = 021, 022\}$	
$a_{021}$ - obiekt w budowie, $a_{022}$ - obiekt rozbierany, burzony, remontowany.	-
Proces pracy $B = \{b_j; j = 21, 22, 23, 24\}$	
$b_{22}$ – budowanie nowych budynków, $b_{24}$ – przebudowywanie, naprawa, rozbudowywanie, konserwacja obiektów budowlanych i infrastruktury.	$b_{21}$ – wydobywanie i prace ziemne, $b_{23}$ – budowanie infrastruktury, np. dróg, mostów, tam, portów, itp.

Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku $C = \{c_k; k = 1, 2, 4, 5, 6\}$	
$c_2$ – prace narzędziami ręcznymi, $c_4$ – operowanie przedmiotami, $c_6$ – poruszanie się.	$c_1$ – obsługiwane maszyn, $c_5$ – transport ręczny.

Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku $D = \{d_l; l = 00, 01, 02, 03, 06, 07, 11, 12, 14\}$	
$d_{02}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się nad poziomem gruntu, $d_{03}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu, $d_{06}$ – narzędzia ręczne bez napędu, $d_{14}$ – materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn.	$d_{00}$ – czynnik materialny nie występuje, $d_{01}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu, $d_{07}$ – narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie, $d_{11}$ – maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania, $d_{12}$ – pojazdy drogowe.

Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E = \{e_o; o = 1, 3, 4, 5, 8\}$	
$e_3$ – uszkodzenie, rozerwanie, pęknięcie, ześlizgnięcie, upadek, załamanie się czynnika materialnego, $e_5$ – poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby.	$e_1$ – odchylenie związane z elektrycznością, wybuchem, pożarem, $e_4$ – utrata kontroli nad maszyną, środkami transportu, transportowanym ładunkiem, narzędziem, obiektem, $e_8$ – wstrząs, strach, przemoc, atak, zagrożenie, obecność.

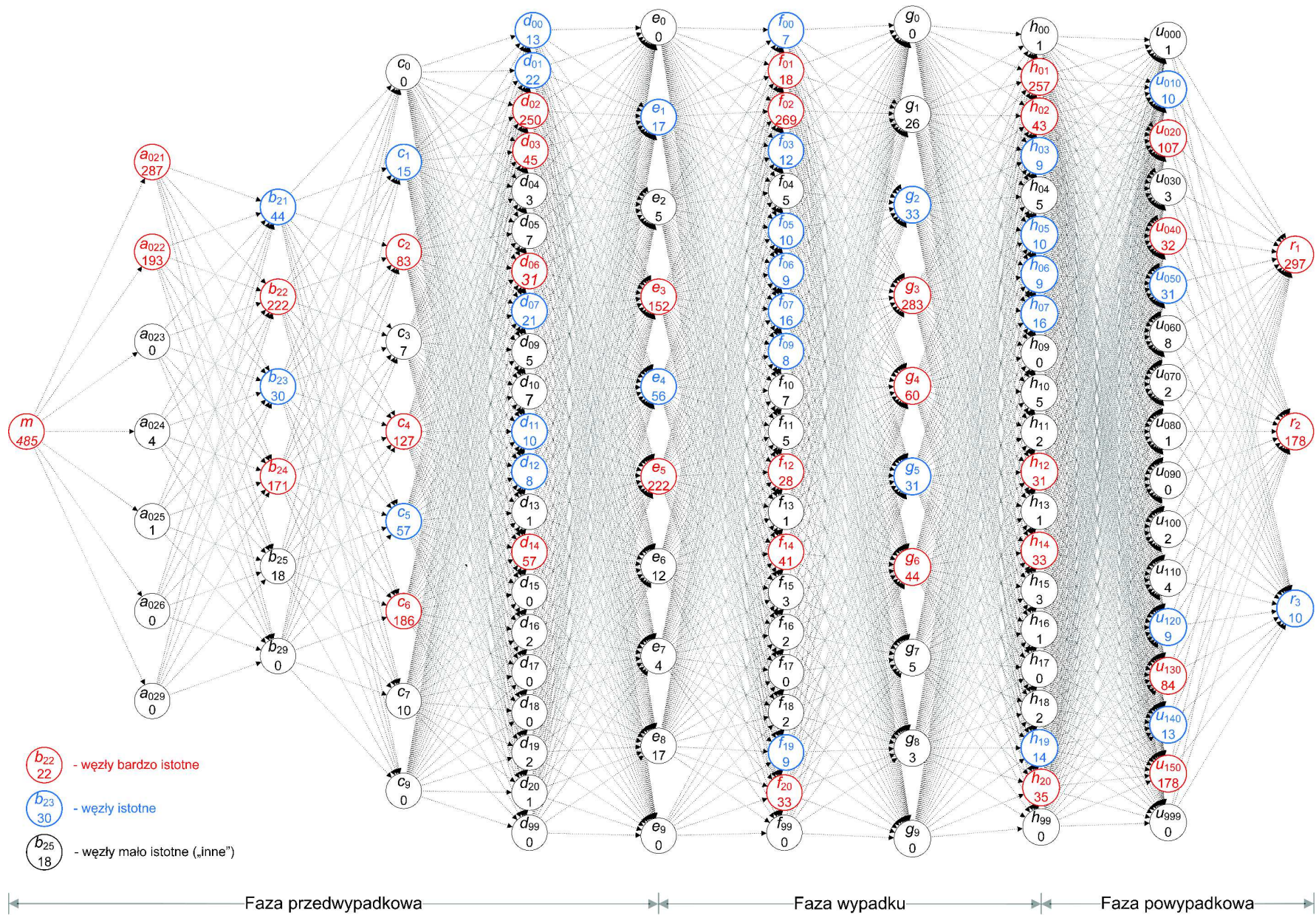
Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F = \{f_p; p = 00, 01, 02, 03, 05, 06, 07, 09, 12, 14, 19, 20\}$	
$f_{02}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się nad poziomem gruntu, $f_{12}$ – pojazdy drogowe, $f_{14}$ – materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn, $f_{20}$ – zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego.	$f_{01}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu, $f_{03}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu, $f_{05}$ – urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii, $f_{06}$ – narzędzia ręczne bez napędu, $f_{07}$ – narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie, $f_{09}$ – maszyny, wyposażenie – przenośne lub ruchome, $f_{19}$ – odpady.

Wydarzenie powodujące uraz $G = \{g_q; q = 2, 3, 4, 5, 6\}$	
$g_3$ – zderzenie z, uderzenie w nieruchomy obiekt, $g_4$ – uderzenie przez obiekt w ruchu, $g_6$ – uwięzienie, zmiżdżenie.	$g_2$ – tonięcie, zakopanie, zamknięcie, $g_5$ – kontakt z przedmiotem ostrym, szorstkim, chropowatym.

Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H = \{h_s; s = 01, 02, 03, 05, 06, 0, 12, 14, 19, 20\}$	
$h_{01}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu, $h_{02}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się nad poziomem gruntu, $h_{12}$ – pojazdy drogowe, $h_{14}$ – materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn, $h_{20}$ – zjawiska fizyczne i elementy środowiska naturalnego.	$h_{03}$ – budynki, konstrukcje i ich elementy gdy ich powierzchnie znajdują się poniżej poziomu gruntu, $h_{05}$ – urządzenia do wytwarzania, przetwarzania, magazynowania, przesyłania i rozdzielania energii, $h_{06}$ – narzędzia ręczne bez napędu, $h_{07}$ – narzędzia zmechanizowane trzymane w ręku lub prowadzone ręcznie, $h_{19}$ – odpady.
Rodzaj urazu $U = \{u_v; v = 010, 020, 040, 050, 120, 130, 140, 150\}$	
$u_{020}$ – złamania kości, $u_{130}$ – uraz w wyniku upadku z wysokości, $u_{150}$ – śmierć poszkodowanego.	$u_{010}$ – rany i powierzchniowe rany, $u_{040}$ – amputacje urazowe, $u_{050}$ – urazy wewnętrzne, $u_{120}$ – liczne urazy, $u_{140}$ – uraz w wyniku zasypania ziemią.
Skutek wypadku $R = \{r_x; x = 1, 2, 3\}$	
$r_1$ – wypadek śmiertelny, $r_2$ – wypadek ciężki.	$r_3$ – wypadek lekki.

Na rysunku 8.3 zamieszczono model rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie z zaznaczonymi węzłami bardzo istotnymi, istotnymi oraz mało istotnymi.





Rys. 8.3 Model rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie z zaznaczonymi bardzo istotnymi i istotnymi węzłami (opracowanie własne)



### 8.2.12 Wnioski

Analiza ilościowa węzłów w grafie pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- Liczba aktywacji poszczególnych węzłów w grafie wskazuje dużą zmienność. W zbiorze 485 analizowanych wypadków znajdują się węzły, które aktywowane były wielokrotnie oraz takie, które nigdy nie były aktywowane.
- Najczęściej wypadki zdarzają się na terenie budowy nowych obiektów ( $a_{021}$ ) przy czym:
  - ✓ podstawowym rodzajem pracy wykonywanej przez poszkodowanego jest budowanie budynków ( $b_{22}$ ). Węzeł ten aktywowany był 287 razy,
  - ✓ podstawową czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku jest poruszanie się pracownika po terenie budowy ( $c_6$ ). Węzeł ten aktywowany był 222 razy,
  - ✓ budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $d_{02}$ ) stanowiły najczęściej występujący czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego. Węzeł ten aktywowany był 186 razy,
  - ✓ najczęściej występującym wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego było poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby na tym samym poziomie lub upadek osoby z wysokości na niższy poziom ( $e_5$ ). Węzeł ten aktywowany był 222 razy,
  - ✓ budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $f_{02}$ ) stanowiły najczęściej występujący czynnik materialny związany z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego. Węzeł ten aktywowany był 269 razy,
  - ✓ najczęściej występującym wydarzeniem powodującym uraz u poszkodowanego było zderzenie z lub uderzenie pionowo w nieruchomy obiekt ( $g_3$ ). Węzeł ten aktywowany był 283 razy,
  - ✓ budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu ( $h_{01}$ ) stanowiły najczęściej występujący czynnik materialny będący źródłem urazu. Węzeł ten aktywowany był 257 razy,
  - ✓ w analizowanych wypadkach najczęstszym rodzajem urazu jakiego doznała osoba poszkodowana był uraz prowadzący do śmierci ( $u_{150}$ ). Węzeł ten aktywowany był 178 razy,
  - ✓ uwzględniając klasyfikację skutków wypadków na lekkie, ciężkie i śmiertelne najczęściej wystąpiły wypadki o skutkach ciężkich ( $r_2$ ). Węzeł ten aktywowany był 297 razy.
- Zmienna liczba aktywacji poszczególnych węzłów wskazuje, że w wypadkowości w budownictwie występują określone tendencje, które będzie można zbadać.

### 8.3 Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami

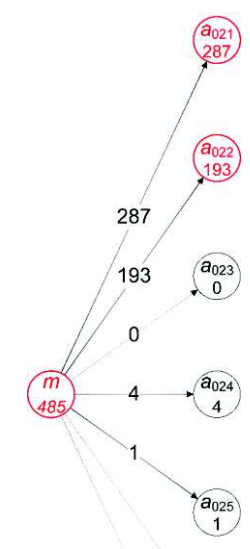
Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami została przeprowadzona zgodnie z przedstawionym w rozdziale 7.3 matematycznym modelem zjawiska. W kolejnych punktach zamieszczono tabelaryczne zestawienia otrzymanych wyników dla kolejno następujących po sobie par węzłów.

#### 8.3.1 Relacje między źródłem wypadku a miejsce wypadku

W tabeli 8.17 zamieszczono zbiorcze informacje dotyczące relacji między pozornym zdarzeniem inicjującym wypadek a miejscem powstania wypadku. Na rysunku 8.4 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $M$  i  $A$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.

Tabela 8.17 Macierz relacji między źródłem wypadku a miejscem powstania wypadku

	Miejsce powstania wypadku $A$							
	$a_{021}$	$a_{022}$	$a_{023}$	$a_{024}$	$a_{025}$	$a_{026}$	$a_{029}$	$\Sigma$
Hipotetyczne źródło wypadku $M$	287	193	0	4	1	0	0	485



Rys. 8.4 Relacje między źródłem wypadku a miejscem powstania wypadku (opracowanie własne)

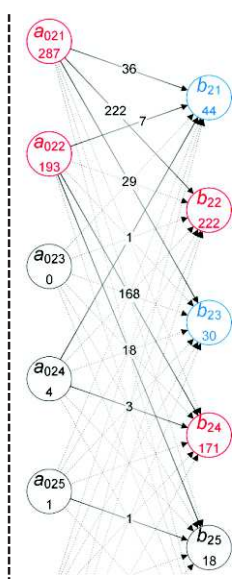
Analiza zależności wykazała, że:

- relacja  $m - a_{021}$  uruchamiana była najczęściej, co oznacza że najwięcej wypadków przy pracy zdarzyło się na terenie budowy nowych obiektów. Podczas realizacji takich obiektów zostało uszkodzonych 287 osób,
- drugą pod względem częstości uruchamiania była relacja  $m - a_{022}$  co oznacza, że kolejnym częstym miejscem powstawania wypadków, były obiekty poddawane remontom, rozbiórkom oraz wyburzeniom. Liczba osób uszkodzonych w czasie realizacji wymienionych robót wyniosła 193,

- w czasie realizacji robót budowlanych pod ziemią zdarzyły się 4 wypadki (relacja  $m - a_{024}$ ), natomiast nad wodą zdarzył się jeden wypadek (relacja  $m - a_{025}$  wypadek podczas budowy mostu w Legnicy).

### 8.3.2 Relacje między miejscem wypadku a wykonywanym procesem pracy

Na rysunku 8.5 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $A$  i  $B$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami. W tabeli 8.18 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji, które wystąpiły między miejscem powstania wypadku a procesem pracy wykonywanym przez poszkodowanego w chwili wypadku.



Rys. 8.5 Relacje między miejscem powstania wypadku a procesem pracy (opracowanie własne)

Tabela 8.18 Macierz relacji między miejscem powstania wypadku a procesem pracy

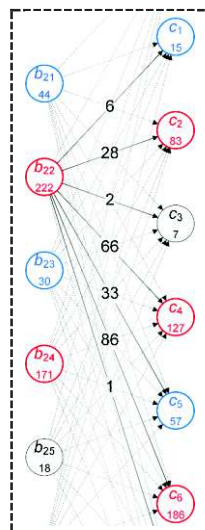
		Proces pracy $B$						$\Sigma$
		$b_{21}$	$b_{22}$	$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{25}$	$b_{29}$	
Miejsce powstania wypadku $A$	$a_{021}$	36	222	29	0	0	0	287
	$a_{022}$	7	0	0	168	18	0	193
	$a_{023}$	0	0	0	0	0	0	0
	$a_{024}$	1	0	0	3	0	0	4
	$a_{025}$	0	0	1	0	0	0	1
	$a_{026}$	0	0	0	0	0	0	0
	$a_{029}$	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	44	222	30	171	18	0	485

Analiza zależności wykazała, że:

- najczęściej uruchamianą relacją była relacja  $a_{021} - b_{22}$  łącząca miejsce budowy nowych obiektów budowlanych z procesem pracy polegającym na budowaniu tychże obiektów. Kolejna relacja ( $a_{021} - b_{21}$ ) łącząca miejsce budowy nowych obiektów z procesem pracy polegającym na wydobywaniu i pracach ziemnych uruchomiona była 36 razy, natomiast relacja ( $a_{021} - b_{23}$ ) łącząca miejsce budowy nowych obiektów z budową infrastruktury i obiektów inżynierii lądowej uruchomiona była 29 razy,
- relacja ( $a_{022} - b_{24}$ ) łącząca miejsce realizacji robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych z procesem pracy, którym były roboty związane z przebudową, naprawą, konserwacją obiektów budowlanych i infrastruktury uruchomiona była 168 razy. 18 razy uruchomiona była relacja ( $a_{022} - b_{25}$ ) łącząca miejsce robót remontowych z procesem pracy polegającym na rozbiórce i wyburzaniu, natomiast 7 razy uruchomiona była relacja ( $a_{022} - b_{21}$ ) łącząca miejsce robót remontowych z procesem pracy polegającym na wydobywaniu i pracach ziemnych,
- relacja ( $a_{024} - b_{21}$ ) uruchomiona była tylko jeden raz, relacja ( $a_{024} - b_{24}$ ) – 3 razy, natomiast relacja ( $a_{025} - b_{23}$ ) również 1 raz,
- pozostałe relacje zaznaczone w macierzy nie były uruchamiane.

### 8.3.3 Relacje między procesem pracy a czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku

Na rysunku 8.6 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami *B* i *C*. W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.



Rys. 8.6 Relacje między miejscem powstania wypadku a czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku (opracowanie własne)

W tabeli 8.19 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji między procesem pracy a czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili gdy doszło do wypadku.

Tabela 8.19 Macierz relacji między procesem pracy a czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku

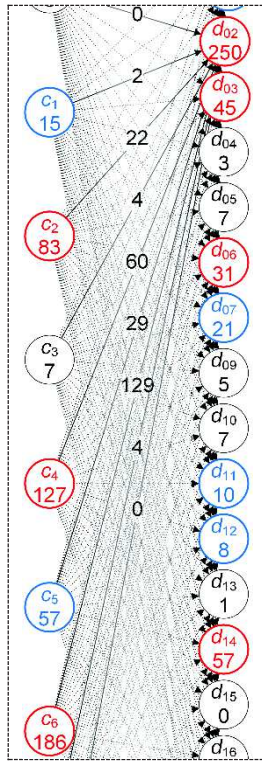
		Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku C									
		$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_9$	$\Sigma$
Proces pracy B	$b_{21}$	0	0	9	1	5	3	21	5	0	44
	$b_{22}$	0	6	28	2	66	33	86	1	0	222
	$b_{23}$	0	4	5	0	9	4	8	0	0	30
	$b_{24}$	0	4	33	4	41	15	70	4	0	171
	$b_{25}$	0	1	8	0	6	2	1	0	0	18
	$b_{29}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	0	15	83	7	127	57	186	10	0	485	

Analiza zależności wykazała, że:

- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $b_{22}$  z węzłami  $c_k$ . Spośród 222 osób poszkodowanych, w czasie budowy nowych budynków ( $b_{22}$ ):
  - ✓ 86 osób przemieszczało się po placu budowy ( $c_6$ ),
  - ✓ 66 osób poszkodowanych zajmowało się czynnością, którą było operowanie przedmiotami ( $c_4$ ),
  - ✓ 33 osoby zajmowały się transportem ręcznym ( $c_5$ ),
  - ✓ 28 osób posługiwało się narzędziami ręcznymi ( $c_2$ ),
  - ✓ 6 osób obsługiwało maszyny ( $c_1$ ),
  - ✓ 2 osoby jechało środkami transportu ( $c_3$ ),
  - ✓ oraz dla jednej osoby stwierdzono obecność poszkodowanego w miejscu, w którym doszło do wypadku ( $c_7$ ),
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania były relacje typu  $b_{24} - c_k$ . Spośród 171 osób, które uległy wypadkowi w czasie remontu, rozbiórki lub wyburzania ( $b_{24}$ ):
  - ✓ 70 osób przemieszczało się po placu budowy ( $c_6$ ),
  - ✓ 41 osób poszkodowanych zajmowało się czynnością, którą było operowanie przedmiotami ( $c_4$ ),
  - ✓ 33 osoby posługiwały się narzędziami ręcznymi ( $c_2$ ),
  - ✓ 15 osób zajmowało się transportem ręcznym ( $c_5$ ),
  - ✓ po 4 osoby obsługiwały maszyny ( $c_1$ ), jechało środkami transportu ( $c_3$ ) oraz były obecne w miejscu w którym doszło do wypadku ( $c_7$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $b_j$  z węzłem  $c_k$  zaobserwowano 92 razy. Wszystkie zaznaczone są w tablicy 8.19.

### 8.3.4 Relacje między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym

Na rysunku 8.7 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami C i D. W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.



Rys. 8.7 Relacje między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym (opracowanie własne)

W tabelach 8.20 i 8.21 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji jakie wystąpiły między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku ( $c_k$ ) a towarzyszącą jej czynnikiem materialnym ( $d_n$ ).

Tabela 8.20 Macierz relacji między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym – cz. 1/2

		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku $D$									
		$d_{00}$	$d_{01}$	$d_{02}$	$d_{03}$	$d_{04}$	$d_{05}$	$d_{06}$	$d_{07}$	$d_{09}$	$d_{10}$
Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku $C$	$c_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$c_1$	1	0	2	1	0	0	1	1	2	3
	$c_2$	0	1	22	7	0	0	28	19	0	2
	$c_3$	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
	$c_4$	0	4	<b>60</b>	3	2	3	2	0	0	1
	$c_5$	0	3	29	3	1	3	0	1	3	1
	$c_6$	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>129</b>	<b>27</b>	0	0	0	0	0	0
	$c_7$	1	0	4	4	0	1	0	0	0	0
	$c_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$		13	22	250	45	3	7	31	21	5



Tabela 8.21 Macierz relacji między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym – cz. 2/2

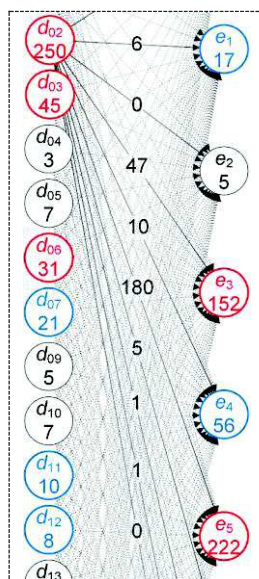
		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku $D$											
		$d_{11}$	$d_{12}$	$d_{13}$	$d_{14}$	$d_{15}$	$d_{16}$	$d_{17}$	$d_{18}$	$d_{19}$	$d_{20}$	$d_{99}$	$\Sigma$
Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku $C$	$c_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$c_1$	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	$c_2$	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	83
	$c_3$	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	$c_4$	7	3	0	<b>40</b>	0	0	0	0	2	0	0	<b>127</b>
	$c_5$	0	0	0	12	0	0	0	0	0	1	0	57
	$c_6$	0	<b>1</b>	0	<b>3</b>	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	<b>186</b>
	$c_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	$c_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	10	8	1	57	0	2	0	0	2	1	0	485

Analiza zależności wykazała, że:

- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $c_6$  z węzłami typu  $d_n$ . 186 osób uległo wypadkowi w czasie przemieszczania się po terenie budowy ( $c_6$ ), przy czym czynnikami materialnymi związanymi z tą czynnością były:
  - ✓ w przypadku 129 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $d_{02}$ ),
  - ✓ w przypadku 27 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się poniżej poziomu gruntu ( $d_{03}$ ),
  - ✓ w przypadku 14 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu ( $d_{01}$ ),
  - ✓ w przypadku 11 osób nie zidentyfikowano żadnego czynnika materialnego ( $d_{00}$ ),
  - ✓ w przypadku 3 osób - wyroby budowlane, części maszyn ( $d_{14}$ ),
  - ✓ w przypadku 1 osoby - pojazdy drogowe ( $d_{12}$ ),
  - ✓ w przypadku 1 osoby - urządzenia i wyposażenie związane z bezpieczeństwem ( $d_{16}$ ),
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania się były relacje typu  $c_4 - d_n$ . 127 osób uległo wypadkowi w czasie operowania przedmiotami ( $c_4$ ), przy czym dla:
  - ✓ 60 osób były to - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $d_{02}$ ),
  - ✓ 40 osób - wyroby budowlane, części maszyn ( $d_{14}$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $c_k$  z węzłem  $d_l$  zaobserwowano 172 razy. Wszystkie zaznaczone są w tablicy 8.20 i 8.21.

### 8.3.5 Relacje między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego

Na rysunku 8.8 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $D$  i  $E$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.



Rys. 8.8 Relacje między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego (opracowanie własne)

W tabeli 8.22 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku ( $d_n$ ) a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego ( $e_o$ ).

Analiza zależności wykazała, że:

- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $d_{02}$  z węzłami typu  $e_o$ . Spośród 250 osób poszkodowanych, dla których czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $d_{02}$ ), wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego było:
  - ✓ w przypadku 180 osób - poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby poszkodowanej ( $e_5$ ),
  - ✓ w przypadku 47 osób - uszkodzenie, rozerwanie, pęknięcie, ześlizgnięcie, upadek, załamanie się czynnika materialnego ( $e_3$ ),
  - ✓ w przypadku 10 osób - utrata kontroli nad maszyną, środkami transportu, transportowanymi ładunkami, narzędziami, obiektami ( $e_4$ ),
  - ✓ w przypadku 6 osób - odchylenie związane z elektrycznością, wybuchem, pożarem ( $e_1$ ),
  - ✓ w przypadku 5 osób - ruchy ciała poszkodowanego bez wysiłku fizycznego ( $e_6$ ),

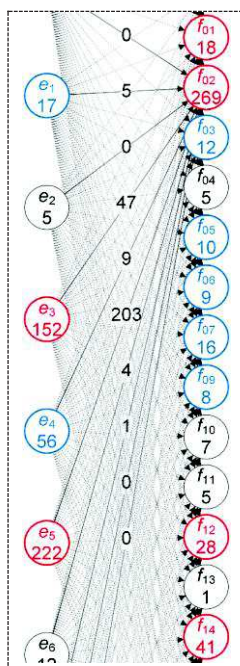
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania się były relacje typu  $d_{14} - e_0$ . 57 osób uległo wypadkowi w wyniku kontaktu z materiałami, przedmiotami, wyrobami, częściami maszyn ( $d_{14}$ ), przy czym wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego było:
  - ✓ dla 26 osób - uszkodzenie, rozerwanie, pęknięcie, ześlizgnięcie, upadek, załamanie się czynnika materialnego ( $e_3$ ),
  - ✓ dla 20 osób - poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby poszkodowanej ( $e_5$ ),
  - ✓ dla 7 osób utrata kontroli nad maszyną, środkami transportu, transportowanym ładunkiem, narzędziem, obiektem ( $e_4$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $d_n$  z węzłem  $e_0$  zaobserwowano 178 razy. Wszystkie zaznaczone są w tabelicy 8.22.

Tabela 8.22 Macierz relacji między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego

		Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E$										$\Sigma$
		$e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	
Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku $D$	$d_{00}$	0	1	0	2	3	1	2	0	4	0	13
	$d_{01}$	0	0	0	9	2	7	0	0	4	0	22
	<b><math>d_{02}</math></b>	0	<b>6</b>	0	<b>47</b>	<b>10</b>	<b>180</b>	<b>5</b>	1	1	0	<b>250</b>
	$d_{03}$	0	2	3	34	4	1	0	0	1	0	45
	$d_{04}$	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3
	$d_{05}$	0	5	0	1	0	1	0	0	0	0	7
	$d_{06}$	0	1	1	14	7	4	0	1	3	0	31
	$d_{07}$	0	1	0	6	11	2	1	0	0	0	21
	$d_{09}$	0	0	0	0	3	1	0	1	1	0	5
	$d_{10}$	0	0	0	1	1	2	2	0	1	0	7
	$d_{11}$	0	0	0	5	3	0	1	1	0	0	10
	$d_{12}$	0	0	0	2	5	1	0	0	0	0	8
	$d_{13}$	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	<b><math>d_{14}</math></b>	0	1	0	<b>26</b>	<b>7</b>	<b>20</b>	1	0	2	0	<b>57</b>
	$d_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$d_{16}$	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	$d_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$d_{18}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$d_{19}$	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
	$d_{20}$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
$d_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
$\Sigma$	0	17	5	152	56	222	12	4	17	0	485	

### 8.3.6 Relacje między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym

Na rysunku 8.9 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $E$  i  $F$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami



Rys. 8.9 Relacje między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym (opracowanie własne)

W tabelach 8.23 i 8.24 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji jakie wystąpiły między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego ( $e_o$ ) a czynnikiem materialnym z nim związanym ( $f_p$ ).

Tabela 8.23 Macierz relacji między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym – cz. 1/2

		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$									
		$f_{00}$	$f_{01}$	$f_{02}$	$f_{03}$	$f_{04}$	$f_{05}$	$f_{06}$	$f_{07}$	$f_{09}$	$f_{10}$
Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E$	$e_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_1$	0	0	5	2	0	9	0	0	0	0
	$e_2$	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	$e_3$	0	10	<b>47</b>	4	4	1	3	4	2	1
	$e_4$	0	0	9	0	1	0	4	11	3	2
	$e_5$	1	<b>7</b>	<b>203</b>	<b>2</b>	0	0	0	0	1	<b>2</b>
	$e_6$	2	0	4	0	0	0	1	1	1	2
	$e_7$	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	$e_8$	4	1	0	1	0	0	0	0	1	0
	$e_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	7	18	269	12	5	10	9	16	8	7	

Tabela 8.24 Macierz relacji między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym – cz. 2/2

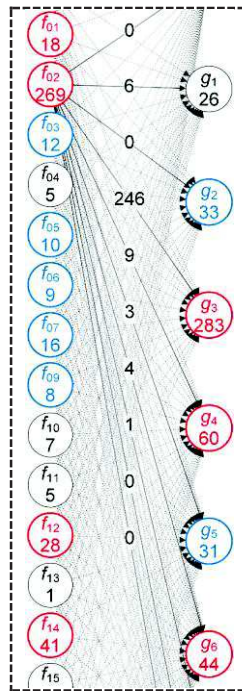
		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$											$\Sigma$
		$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$	$f_{16}$	$f_{17}$	$f_{18}$	$f_{19}$	$f_{20}$	$f_{99}$	
Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E$	$e_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_1$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	17
	$e_2$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	5
	$e_3$	2	4	0	<b>29</b>	0	2	0	2	7	<b>60</b>	0	<b>152</b>
	$e_4$	2	13	0	8	1	0	0	0	2	0	0	56
	$e_5$	0	1	1	<b>3</b>	0	0	0	0	0	1	0	<b>222</b>
	$e_6$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	12
	$e_7$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
	$e_8$	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
	$e_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	5	28	1	41	3	2	0	2	9	33	0	485	

Analiza zależności wykazała, że:

- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $e_5$  z węzłami typu  $f_p$ . 222 osoby uległy wypadkowi w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się, upadku osoby ( $e_5$ ), przy czym czynnikami materialnymi związanymi z tym wydarzeniem były:
  - ✓ w przypadku 203 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $f_{02}$ ),
  - ✓ w przypadku 7 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu ( $f_{01}$ ),
  - ✓ w przypadku 3 osób - wyroby budowlane, części maszyn ( $f_{14}$ ),
  - ✓ w przypadku 2 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się poniżej poziomu gruntu ( $f_{03}$ ),
  - ✓ w przypadku 2 osób - maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne ( $f_{10}$ ),
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania się były relacje typu  $e_3 - f_p$ . 152 osoby uległy wypadkowi w wyniku uszkodzenia, rozerwania, pęknięcia, ześlizgnięcia, upadku, załamania się czynnika materialnego ( $e_3$ ), przy czym dla:
  - ✓ 60 osób były to - elementy środowiska naturalnego ( $f_{20}$ ),
  - ✓ 47 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $f_{02}$ ),
  - ✓ 29 osób - wyroby budowlane, części maszyn ( $f_{14}$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $e_o$  a węzłem  $f_p$  zaobserwowano 111 razy. Wszystkie zaznaczone są w tablicy 8.23 i 8.24.

### 8.3.7 Relacje między czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a wydarzeniem powodującym uraz

Na rysunku 8.10 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $F$  i  $G$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.



Rys. 8.10 Relacje między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem powodującym uraz (opracowanie własne)

W tabeli 8.25 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji między czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego ( $f_p$ ) a wydarzeniem powodującym uraz ( $g_q$ ).

Analiza zależności wykazała, że:

- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $f_{02}$  z węzłami typu  $g_q$ . Spośród 296 osób poszkodowanych, dla których czynnikiem materialnym związanym z odchyleniem od stanu normalnego były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $f_{02}$ ), wydarzeniem powodującym uraz było:
  - ✓ w przypadku 246 osób - zderzenie z lub uderzenie w nieruchomy obiekt ( $g_3$ ),
  - ✓ w przypadku 9 osób - uderzenie przez obiekt w ruchu ( $g_4$ ),
  - ✓ w przypadku 6 osób - kontakt z prądem elektrycznym, temperaturą, niebezpiecznymi substancjami i preparatami chemicznymi ( $g_1$ ),
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania się były relacje typu  $f_{14} - g_q$ . 41 osób uległo wypadkowi w wyniku kontaktu z wyrobami budowlanymi lub częściami maszyn ( $f_{14}$ ), przy czym wydarzeniem powodującym urazu było:
  - ✓ dla 17 osób - uderzenie przez obiekt w ruchu ( $g_4$ ),
  - ✓ dla 12 osób - zderzenie z lub uderzenie w nieruchomy obiekt ( $g_3$ ),
  - ✓ dla 8 osób - uwięzienie, zmiażdżenie ( $g_6$ ),
  - ✓ dla 4 osób - kontakt z przedmiotem ostrym, szorstkim, chropowatym ( $g_5$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $f_p$  z węzłem  $g_q$  zaobserwowano 148 razy. Wszystkie zaznaczone są w tablicy 8.25.

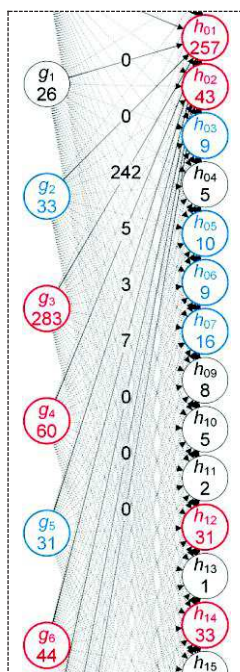


Tabela 8.25 Macierz relacji między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem powodującym uraz

		Wydarzenie powodujące uraz $G$										
		$g_0$	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$g_5$	$g_6$	$g_7$	$g_8$	$g_9$	$\Sigma$
Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$	$f_{00}$	0	0	0	1	3	0	2	1	0	0	7
	$f_{01}$	0	0	0	7	5	0	6	0	0	0	18
	$f_{02}$	0	<b>6</b>	0	<b>246</b>	<b>9</b>	3	4	1	0	0	<b>269</b>
	$f_{03}$	0	8	1	1	1	0	1	0	0	0	12
	$f_{04}$	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	5
	$f_{05}$	0	9	0	1	0	0	0	0	0	0	10
	$f_{06}$	0	0	0	1	3	4	0	1	0	0	9
	$f_{07}$	0	0	0	0	1	14	1	0	0	0	16
	$f_{09}$	0	0	0	2	2	1	3	0	0	0	8
	$f_{10}$	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	7
	$f_{11}$	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	5
	$f_{12}$	0	0	0	2	8	0	14	1	3	0	28
	$f_{13}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	$f_{14}$	0	0	0	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	0	0	0	<b>41</b>
	$f_{15}$	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	$f_{16}$	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	$f_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$f_{18}$	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	$f_{19}$	0	0	3	1	2	0	3	0	0	0	9
	$f_{20}$	0	0	29	1	1	0	1	1	0	0	33
	$f_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	0	26	33	283	60	31	44	5	3	0	485	

### 8.3.8 Relacje między wydarzeniem powodującym uraz a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu

Na rysunku 8.11 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $G$  i  $H$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.



Rys. 8.11 Relacje między wydarzeniem powodującym uraz a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu (opracowanie własne)

W tabelach 8.26 i 8.27 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji jakie wystąpiły między wydarzeniem powodującym uraz ( $g_q$ ), a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu ( $h_s$ ).

Tabela 8.26 Macierz relacji między wydarzeniem powodującym uraz a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu – cz. 1/2

		Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$									
		$h_{00}$	$h_{01}$	$h_{02}$	$h_{03}$	$h_{04}$	$h_{05}$	$h_{06}$	$h_{07}$	$h_{09}$	$h_{10}$
Wydarzenie powodujące uraz $G$	$g_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_1$	0	0	5	7	0	10	0	0	0	0
	$g_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_3$	0	<b>242</b>	<b>28</b>	2	1	0	0	0	0	0
	$g_4$	0	<b>5</b>	<b>6</b>	0	4	0	3	2	4	0
	$g_5$	0	3	0	0	0	0	6	13	1	5
	$g_6$	0	7	3	0	0	0	0	1	3	0
	$g_7$	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	$g_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	1	257	43	9	5	10	9	16	8	5

Tabela 8.27 Macierz relacji między wydarzeniem powodującym uraz a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu – cz. 2/2

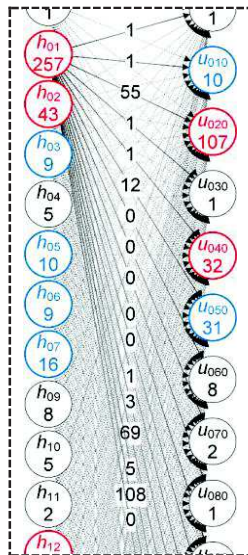
		Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$											
		$h_{11}$	$h_{12}$	$h_{13}$	$h_{14}$	$h_{15}$	$h_{16}$	$h_{17}$	$h_{18}$	$h_{19}$	$h_{20}$	$h_{99}$	$\Sigma$
Wydarzenie powodujące uraz $G$	$g_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_1$	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	26
	$g_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	3	30	0	33
	$g_3$	0	1	0	2	0	1	0	0	5	1	0	283
	$g_4$	2	11	0	18	0	0	0	2	2	1	0	60
	$g_5$	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	31
	$g_6$	0	15	1	9	0	0	0	0	4	1	0	44
	$g_7$	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	5
	$g_8$	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	$g_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	2	31	1	33	3	1	0	2	14	35	0	485

Analiza zależności wykazała, że:

- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $g_3$  z węzłami typu  $h_s$ . 283 osoby uległy wypadkowi w wyniku zderzenia z lub uderzenia w nieruchomy obiekt ( $g_3$ ), przy czym czynnikami materialnymi związanymi z tym wydarzeniem były:
  - ✓ w przypadku 242 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu ( $h_{01}$ ),
  - ✓ w przypadku 28 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $h_{02}$ ),
  - ✓ w przypadku 5 osób - odpady ( $h_{19}$ ),
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania się były relacje typu  $g_4 - h_s$ . 60 osób uległo wypadkowi w wyniku uderzenia przez obiekt w ruchu ( $g_4$ ) przy czym dla:
  - ✓ 18 osób czynnikiem materialnym były - wyroby budowlane, części maszyn ( $h_{14}$ ),
  - ✓ 11 osób - pojazdy drogowe ( $h_{12}$ ),
  - ✓ 6 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $h_{02}$ ),
  - ✓ 5 osób - budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu ( $h_{01}$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $g_q$  z węzłem  $h_s$  zaobserwowano 142 razy. Wszystkie zaznaczone są w tablicy 8.26 i 8.27.

### 8.3.9 Relacje między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu a rodzajem urazu

Na rysunku 8.12 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $H$  i  $U$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.



Rys. 8.12 Relacje między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu a rodzajem urazu (opracowanie własne)

W tabelach 8.28 i 8.29 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu ( $h_s$ ), a rodzajem urazu ( $u_v$ ).

Tabela 8.28 Macierz relacji między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu a rodzajem urazu – cz. 1/2

		Rodzaj urazu $U$									
		$u_{000}$	$u_{010}$	$u_{020}$	$u_{030}$	$u_{040}$	$u_{050}$	$u_{060}$	$u_{070}$	$u_{080}$	$u_{090}$
Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$	$h_{00}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b><math>h_{01}</math></b>	1	1	<b>55</b>	1	1	12	0	0	0	0
	<b><math>h_{02}</math></b>	0	0	<b>17</b>	1	1	2	0	0	0	0
	$h_{03}$	0	0	1	0	0	0	1	2	1	0
	$h_{04}$	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{05}$	0	1	0	0	0	1	4	0	0	0
	$h_{06}$	0	2	3	0	3	1	0	0	0	0
	$h_{07}$	0	3	2	0	10	0	0	0	0	0
	$h_{09}$	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
	$h_{10}$	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0
	$h_{11}$	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	$h_{12}$	0	0	5	0	7	4	2	0	0	0
	$h_{13}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{14}$	0	1	10	1	3	8	0	0	0	0
	$h_{15}$	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0
	$h_{16}$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{18}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{19}$	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0
	$h_{20}$	0	0	5	0	0	1	1	0	0	0
	$h_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	1	10	107	3	32	31	8	2	1	0	

Tabela 8.29 Macierz relacji między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu a rodzajem urazu – cz. 2/2

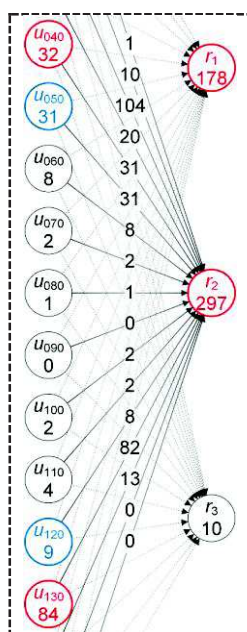
		Rodzaj urazu $U$							$\Sigma$
		$u_{100}$	$u_{110}$	$u_{120}$	$u_{130}$	$u_{140}$	$u_{150}$	$u_{999}$	
Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$	$h_{00}$	0	0	0	0	0	1	0	1
	$h_{01}$	0	1	3	<b>69</b>	5	<b>108</b>	0	<b>257</b>
	$h_{02}$	2	0	2	<b>11</b>	0	7	0	<b>43</b>
	$h_{03}$	0	0	0	0	0	4	0	9
	$h_{04}$	0	0	0	1	0	2	0	5
	$h_{05}$	0	0	0	0	0	4	0	10
	$h_{06}$	0	0	0	0	0	0	0	9
	$h_{07}$	0	0	0	1	0	0	0	16
	$h_{09}$	0	0	1	0	0	4	0	8
	$h_{10}$	0	0	0	0	0	0	0	5
	$h_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	2
	$h_{12}$	0	1	2	0	0	12	0	31
	$h_{13}$	0	0	0	0	0	1	0	1
	$h_{14}$	0	2	1	1	0	6	0	33
	$h_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	3
	$h_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	1
	$h_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{18}$	0	0	0	0	0	1	0	2
	$h_{19}$	0	0	0	1	0	8	0	14
	$h_{20}$	0	0	0	0	8	20	0	35
$h_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	
$\Sigma$		2	4	9	84	13	178	0	485

Analiza zależności wykazała, że:

- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $h_{01}$  z węzłami typu  $u_v$ . Spośród 257 osób poszkodowanych, dla których czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu ( $h_{01}$ ), najczęstszym rodzajem urazu był:
  - ✓ w przypadku 108 osób - zgon poszkodowanego ( $u_{150}$ ),
  - ✓ w przypadku 69 osób - uraz w wyniku upadku z wysokości ( $u_{130}$ ),
  - ✓ w przypadku 55 osób - złamania kości ( $u_{020}$ ),
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania się były relacje typu  $h_{02} - u_v$ . 43 osoby uległy wypadkowi w wyniku kontaktu z budynkiem, konstrukcją i jego elementami, którego powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu, przy czym powstałym urazem były:
  - ✓ dla 17 osób - złamania kości ( $u_{020}$ ),
  - ✓ dla 11 osób - urazy w wyniku upadku z wysokości ( $u_{130}$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $h_s$  z węzłem  $u_v$  zaobserwowano 185 razy. Wszystkie zaznaczone są w tablicy 8.28 i 8.29.

### 8.3.10 Relacje między rodzajem urazu a skutkiem wypadku

Na rysunku 8.13 zamieszczono fragment modelu przedstawiający relacje między węzłami  $U$  i  $R$ . W poszczególnych węzłach zamieszczono: symbol, kod oraz liczbę zdarzeń. Liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę połączeń między poszczególnymi węzłami.



Rys. 8.13 Fragment modelu rozwoju sytuacji wypadkowej przedstawiający relacje między rodzajem urazu a skutkiem wypadku (opracowanie własne)

W tabeli 8.30 zamieszczono dane liczbowe dotyczące relacji jakie wystąpiły między rodzajem urazu ( $u_v$ ) a skutkiem wypadku ( $r_x$ ).

Tabela 8.30 Macierz relacji między rodzajem urazu a skutkiem wypadku

		Skutek wypadku $R$			
		$r_1$	$r_2$	$r_3$	$\Sigma$
Rodzaj urazu $U$	$u_{000}$	0	1	0	1
	$u_{010}$	0	10	0	10
	$u_{020}$	0	104	3	107
	$u_{030}$	0	20	1	3
	$u_{040}$	0	31	1	32
	$u_{050}$	0	31	0	31
	$u_{060}$	0	8	0	8
	$u_{070}$	0	2	0	2
	$u_{080}$	0	1	0	1
	$u_{090}$	0	0	0	0
	$u_{100}$	0	2	0	2
	$u_{110}$	0	2	2	4
	$u_{120}$	0	8	1	9
	$u_{130}$	0	82	2	84
	$u_{140}$	0	13	0	13
	$u_{150}$	178	0	0	178
$u_{999}$	0	0	0	0	
$\Sigma$	178	297	10	485	



Analiza zależności wykazała, że:

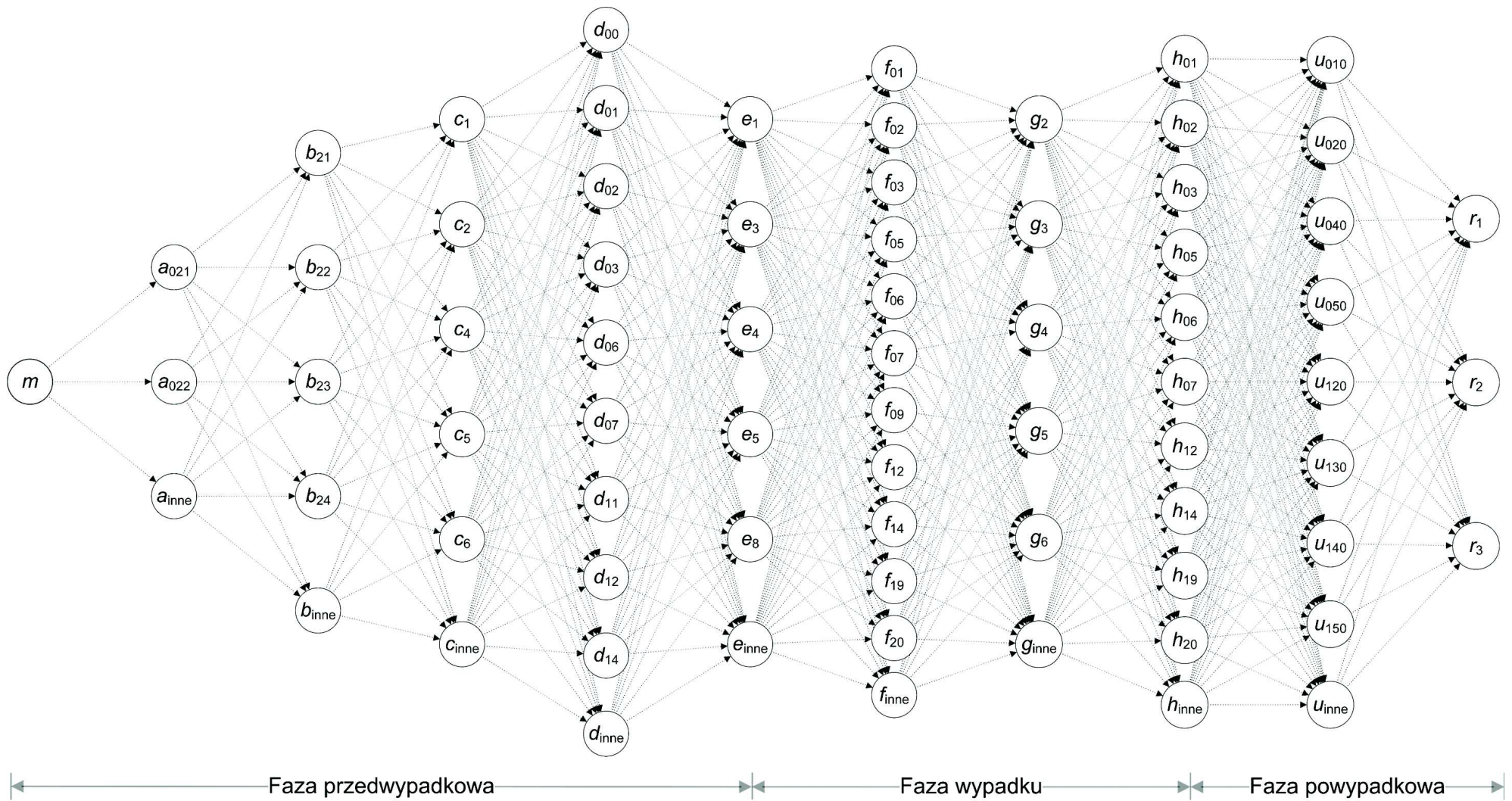
- najbardziej aktywne były relacje łączące węzeł  $u_{150}$  z węzłem  $r_3$ . 178 osób zmarło w wyniku odniesionych urazów,
- następnymi pod względem aktywności uruchamiania się były relacje  $u_v - r_2$ . 297 osób w wyniku wypadku doznało ciężkich urazów ciała, przy czym:
  - ✓ dla 104 osób były to - złamania kości ( $u_{020}$ ),
  - ✓ dla 82 osób - urazy w wyniku upadku z wysokości ( $u_{130}$ ),
  - ✓ dla 31 osób - amputacje urazowe ( $u_{040}$ ),
  - ✓ dla 31 osób - urazy wewnętrzne ( $u_{050}$ ),
- pozostałe relacje między węzłami  $u_v$  z węzłem  $r_x$  zaznaczono są w tablicy 8.30.

### 8.3.11 Wnioski

Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami w grafie pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- Podobnie jak w przypadku aktywacji węzłów w grafie, również liczba aktywacji poszczególnych relacji wykazuje dużą zmienność. W ogólnym modelu rozwoju sytuacji wypadkowej występują relacje, które nigdy nie były uruchamiane.
- Zmienna liczba aktywacji poszczególnych relacji wskazuje, że wypadki przy pracy w budownictwie przebiegają wg różnych scenariuszy.
- Na podstawie przeprowadzonej analizy aktywacji poszczególnych węzłów modelu oraz relacji między sąsiadującymi węzłami, możliwe jest określenie rzeczywistej przestrzeni zdarzeń i relacji, które prowadzą do wypadków w budownictwie. Odrzucając węzły i relacje zerowe ze zbioru wszystkich węzłów i relacji, uwzględnionych w ogólnym modelu rozwoju sytuacji wypadkowej przedstawionym na rysunku 7.3, oraz łącząc węzły mało istotne w jeden zbiorczy węzeł, określony jako „inne”, otrzymamy graficzny model rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie. Zaktualizowany model przedstawiono na rysunku 8.14.
- Analiza 485 wypadków przy pracy w budownictwie wykazała, że:
  - ✓ najczęściej uruchamianą relacją była relacja  $m - a_{021}$ , co oznacza, że najwięcej wypadków przy pracy zdarzyło się na terenie budowy nowych obiektów,
  - ✓ najczęściej uruchamianą relacją typu  $a_i - b_j$  była relacja łącząca miejsce budowy nowych obiektów budowlanych z procesem pracy polegającym na budowaniu tychże obiektów ( $a_{021} - b_{22}$ ),
  - ✓ w czasie budowy nowych budynków uszkodzony najczęściej przemieszczał się po placu budowy ( $b_{22} - c_6$ ),
  - ✓ najbardziej aktywną relacją typu  $c_k - d_n$  była relacja łącząca osoby ulegające wypadkowi w czasie przemieszczania się po terenie budowy z czynnikiem materialnym związanym z tą czynnością jakim były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $c_6 - d_{02}$ ),
  - ✓ najczęściej uruchamianą relacją typu  $d_n - e_o$  była relacja łącząca budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem

- gruntu z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego jaki było poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby poszkodowanego ( $d_{02} - e_5$ ),
- ✓ najbardziej aktywną relację typu  $e_o - f_p$  była relacja łącząca osoby ulegające wypadkowi w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku z czynnikiem materialny związanym z tym wydarzeniem jakim były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu ( $e_5 - f_{02}$ ),
  - ✓ najczęściej uruchamianą relacją typu  $f_p - g_q$  była relacja łącząca budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu z wydarzeniem powodującym uraz jakim było zderzenie z lub uderzenie w nieruchomy obiekt ( $f_{02} - g_3$ ),
  - ✓ najbardziej aktywną relacją typu  $g_q - h_s$  była relacja łącząca osoby ulegające wypadkowi w wyniku zderzenia z, uderzenia w nieruchome obiekty, którym były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu ( $g_3 - h_{01}$ ),
  - ✓ najczęściej uruchamianą relację typu  $h_s - u_v$  była relacja łącząca budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu z powstałym urazem jakim był zgon poszkodowanego ( $h_{01} - u_{150}$ ),
  - ✓ najbardziej aktywną relacją typu  $u_v - r_x$  była relacja prowadząca do śmierci osoby poszkodowanej w wyniku doznanego urazu ( $u_{150} - r_1$ ).



Rys. 8.14 Zaktualizowany model rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie (opracowanie własne)

## 8.4 Modelowanie scenariuszy wypadkowych

Na podstawie obliczeń przeprowadzonych zgodnie z metodyką zamieszczoną w rozdziale 7.2 wyznaczono:

- Ścieżkę krytyczną w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie dla zbioru analizowanych wypadków.
- Ścieżkę krytyczną w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów.
- Ścieżkę krytyczną w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych.
- Najbardziej prawdopodobny scenariusz przebiegu wypadku w zbiorze analizowanych wypadków.
- Najbardziej prawdopodobny scenariusz przebiegu wypadku, który zdarzył się na terenie budowy nowych obiektów.
- Najbardziej prawdopodobny scenariusz przebiegu wypadku, który zdarzył się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych.

### 8.4.1 Analiza ścieżki krytycznej dla zbioru wszystkich wypadków

W tabelach 8.6-8.15 i 8.17-8.30, znajdujących się w rozdziale 8.3, zamieszczono dane liczbowe dotyczące aktywacji poszczególnych węzłów oraz poszczególnych relacji między węzłami w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie. Przebieg ścieżki krytycznej zaznaczono na rysunku 8.15. Na rysunku w poszczególnych węzłach grafu zamieszczono symbol oraz kod liczbowy węzła, natomiast liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę oraz prawdopodobieństwo aktywacji relacji łączących sąsiednie węzły w analizowanym zbiorze wypadków. W wyniku przeprowadzonych obliczeń dla 485 wypadków przy pracy otrzymano następujący przebieg ścieżki krytycznej:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ . W tabeli 8.31 zamieszczono relacje łączące sąsiadujące węzły charakteryzujące się największą wartością prawdopodobieństwa aktywacji leżących na ścieżce krytycznej wyznaczonej w zbiorze 485 analizowanych wypadków. Analiza wykazała, że:

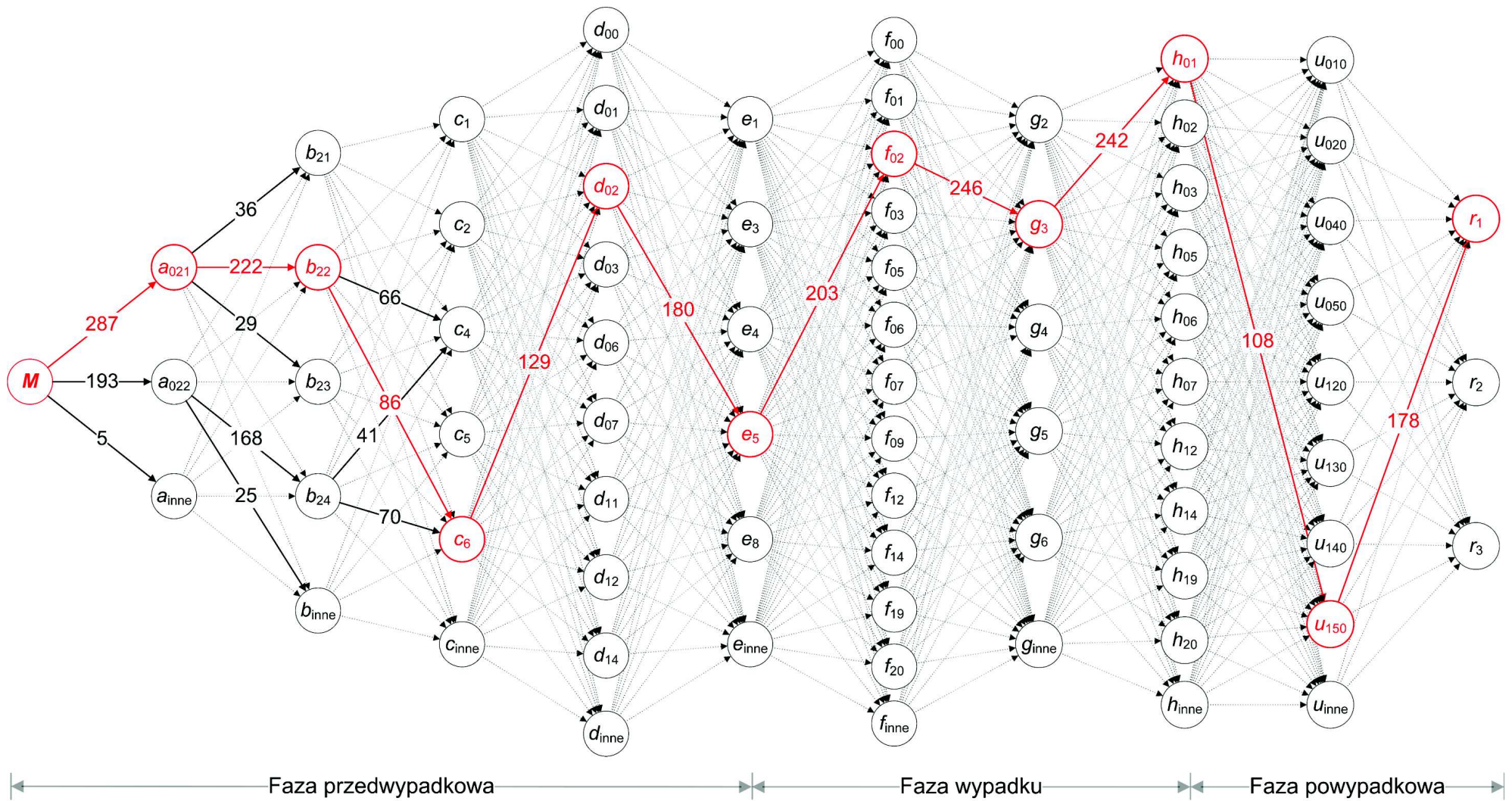
- w zbiorze analizowanych 485 wypadków największą wartość prawdopodobieństwa uzyskała relacja  $m - a_{021}$  łącząca źródło wypadku z miejscem powstania wypadku jakim był teren budowy nowych obiektów. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej relacji wyniosło 59,2%,
- drugą z kolei relacją typu  $m - a_i$  pod względem prawdopodobieństwa wystąpienia była relacja  $m - a_{022}$  łącząca źródło wypadku z miejscem powstania wypadku jakim były obiekty remontowane, rozbierane i wyburzane, której prawdopodobieństwo wystąpienia wyniosło 39,8%,
- w analizowanych 485 wypadkach:



- ✓ prawdopodobieństwo, że poszkodowany w chwili wypadku pracował przy wznoszeniu konstrukcji nowego obiektu wynosi 45,8% i dotyczy relacji  $a_{021} - b_{22}$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że w chwili wypadku pracownik przemieszczał się po terenie budowy nowych obiektów wyniosło 17,7% i dotyczy relacji  $b_{22} - c_6$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że poszkodowany w chwili wypadku przemieszczał się po powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu wyniosło 26,6% i dotyczy relacji  $c_6 - d_{02}$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że w czasie przemieszczania się po powierzchniach znajdujących się powyżej poziomu gruntu doszło do poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku pracownika wyniosło 37,1% i dotyczy to relacji  $d_{02} - e_5$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że czynnikiem materialnym związanym z poślizgnięciem, potknięciem lub upadkiem osoby poszkodowanej będą powierzchnie obiektów i konstrukcji znajdujących się na nad poziomem gruntu wyniosło 41,9% i dotyczy to relacji  $e_5 - f_{02}$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku poszkodowanego, który znajdował się na powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych nad poziomem gruntu nastąpi zderzenie lub uderzenie w nieruchomy obiekt wyniosło 50,7% i dotyczy to relacji  $f_{02} - g_3$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że obiektem z którym nastąpi zderzenie lub w który poszkodowany uderzy są konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu wyniosło 49,9% i dotyczy to relacji  $g_3 - h_{01}$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że w wyniku zderzenia lub uderzenia w konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu nastąpi śmierć osoby poszkodowanej wyniosło 22,3% i dotyczy to relacji  $h_{01} - u_{150}$ ,
- ✓ prawdopodobieństwo, że w wyniku takiej relacji nastąpi śmierć osoby poszkodowanej wyniosło 36,7% i dotyczy to relacji  $u_{150} - r_1$ .

Tabela 8.31 Zestawienie relacji łączących sąsiadujące węzły charakteryzujących się największą wartością prawdopodobieństwa aktywacji leżących na ścieżce krytycznej wyznaczonej w zbiorze 485 analizowanych wypadków

Typ relacji $\varphi - \psi$	Liczba aktywacji relacji $N_{(\varphi-\psi)}$ [-]	Prawdopodobieństwo wystąpienia relacji $P_{(\varphi-\psi)}$ [%]
$m - a_{021}$	287	59,2
$m - a_{022}$	193	39,8
$a_{021} - b_{22}$	222	45,8
$b_{22} - c_6$	86	17,7
$c_6 - d_{02}$	129	26,6
$d_{02} - e_5$	180	37,1
$e_5 - f_{02}$	203	41,9
$f_{02} - g_3$	246	50,7
$g_3 - h_{01}$	242	49,9
$h_{01} - u_{150}$	108	22,3
$u_{150} - r_1$	178	36,7



Rys. 8.15 Ścieżka krytyczna w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie określona dla zbioru wszystkich analizowanych wypadków (opracowanie własne)



### 8.4.2 Analiza ścieżki krytycznej dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów

W tabelach 1-12 zawartych w załączniku 1 do rozprawy zamieszczono dane liczbowe dotyczące aktywacji poszczególnych relacji między węzłami w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów. Zbór ten wynosił 287 wypadków. Przebieg ścieżki krytycznej zaznaczono na rysunku 8.16. Na rysunku w poszczególnych węzłach grafu na rysunku zamieszczono: symbol oraz kod liczbowy węzła, natomiast liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę oraz prawdopodobieństwo aktywacji relacji łączących sąsiednie węzły. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano następujący przebieg ścieżki krytycznej:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ . W tabeli 8.32 zamieszczono relacje łączące sąsiadujące węzły charakteryzujące się największą wartością prawdopodobieństwa aktywacji.

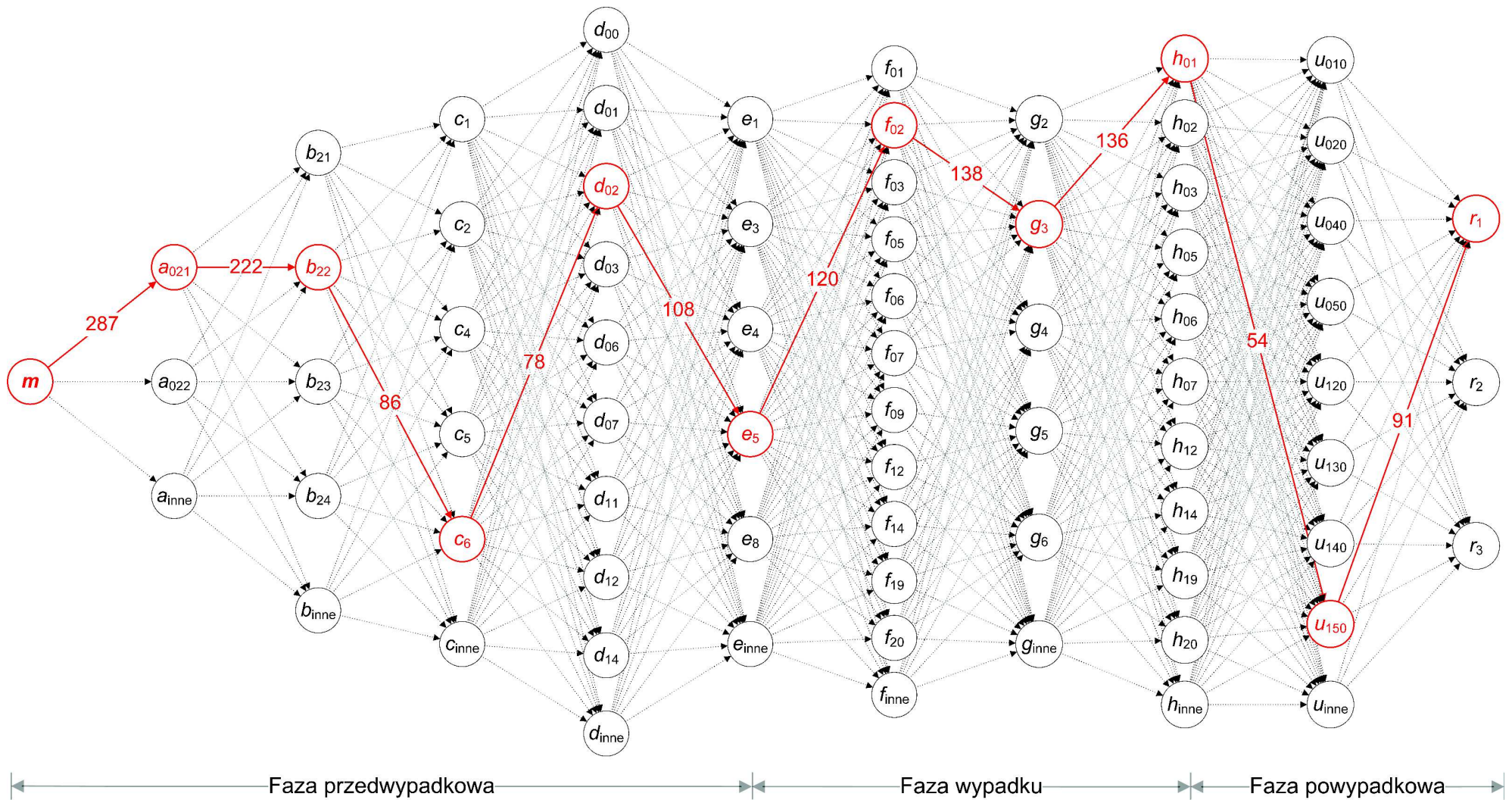
Tabela 8.32 Zestawienie relacji łączących sąsiadujące węzły charakteryzujących się największą wartością prawdopodobieństwa aktywacji leżących na ścieżce krytycznej wyznaczonej w zbiorze wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów

Typ relacji $\varphi - \psi$	Liczba aktywacji relacji $N_{(\varphi-\psi)}$ [-]	Prawdopodobieństwo wystąpienia relacji $P_{(\varphi-\psi)}$ [%]
$m - a_{021}$	287	100,0
$a_{021} - b_{22}$	222	77,4
$b_{22} - c_6$	86	30,0
$c_6 - d_{02}$	78	27,2
$d_{02} - e_5$	108	37,6
$e_5 - f_{02}$	120	41,8
$f_{02} - g_3$	138	48,1
$g_3 - h_{01}$	136	47,4
$h_{01} - u_{150}$	54	18,8
$u_{150} - r_1$	91	31,7

Analiza wykazała, że w zbiorze analizowanych 287 wypadków, które zdarzyły się na budowie nowych obiektów:

- największą wartość prawdopodobieństwa uzyskała relacja  $a_{021} - b_{22}$ , która oznacza, że najczęściej do wypadku doszło w trakcie wznoszenia konstrukcji nowych budynków. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej relacji wyniosło 77,4%,
- prawdopodobieństwo powstania wypadku w wyniku przemieszczania się pracownika po terenie budowy nowych obiektów wyniosło 30,0% i dotyczy to relacji  $b_{22} - c_6$ ,
- prawdopodobieństwo, że uszkodzony w chwili wypadku przemieszczał się po powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu wyniosło 27,2% i dotyczy to relacji  $c_6 - d_{02}$ ,
- prawdopodobieństwo, że w czasie przemieszczania się po powierzchniach znajdujących się powyżej poziomu gruntu doszło do poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku osoby uszkodzonej wyniosło 37,6% i dotyczy to relacji  $d_{02} - e_5$ ,

- prawdopodobieństwo, że czynnikiem materialnym związanym z poślizgnięciem, potknięciem lub upadkiem osoby poszkodowanej będą powierzchnie obiektów i konstrukcji znajdujących się na nad poziomem gruntu wyniosło 41,8% i dotyczy to relacji  $e_5 - f_{02}$ ,
- prawdopodobieństwo, że w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku poszkodowanego, który znajdował się na powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych nad poziomem gruntu nastąpi zderzenie lub uderzenie w nieruchomy obiekt wyniosło 48,1% i dotyczy to relacji  $f_{02} - g_3$ ,
- prawdopodobieństwo, że obiektem z którym nastąpi zderzenie lub w który poszkodowany uderzy są konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu wyniosło 47,4% i dotyczy to relacji  $g_3 - h_{01}$ ,
- prawdopodobieństwo, że w wyniku zderzenia lub uderzenia w konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu nastąpi śmierć osoby poszkodowanej wyniosło 18,8% i dotyczy to relacji  $h_{01} - u_{150}$ ,
- prawdopodobieństwo, że w wyniku takiej relacji nastąpi śmierć osoby poszkodowanej wyniosło 31,7% i dotyczy to relacji  $u_{150} - r_1$ .



Rys. 8.16 Ścieżka krytyczna w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie określona dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów (opracowanie własne)

### 8.4.3 Analiza ścieżki krytycznej dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych

W tabelach 1-12 zawartych w załączniku 2 do rozprawy zamieszczono dane liczbowe dotyczące aktywacji poszczególnych relacji między węzłami w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych. Zbiór ten wynosił 193 wypadki. Przebieg ścieżki krytycznej zaznaczono na rysunku 8.17. Na rysunku w poszczególnych węzłach grafu na rysunku zamieszczono: symbol oraz kod liczbowy węzła, natomiast liczby zamieszczone nad łukami określają liczbę i prawdopodobieństwo aktywacji relacji łączących sąsiednie węzły. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano następujący przebieg ścieżki krytycznej:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ . W tabeli 8.33 zamieszczono relacje łączące sąsiadujące węzły charakteryzujące się największą wartością prawdopodobieństwa aktywacji.

Tabela 8.33 Zestawienie relacji łączących sąsiadujące węzły charakteryzujących się największą wartością prawdopodobieństwa aktywacji leżących na ścieżce krytycznej wyznaczonej w zbiorze wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych

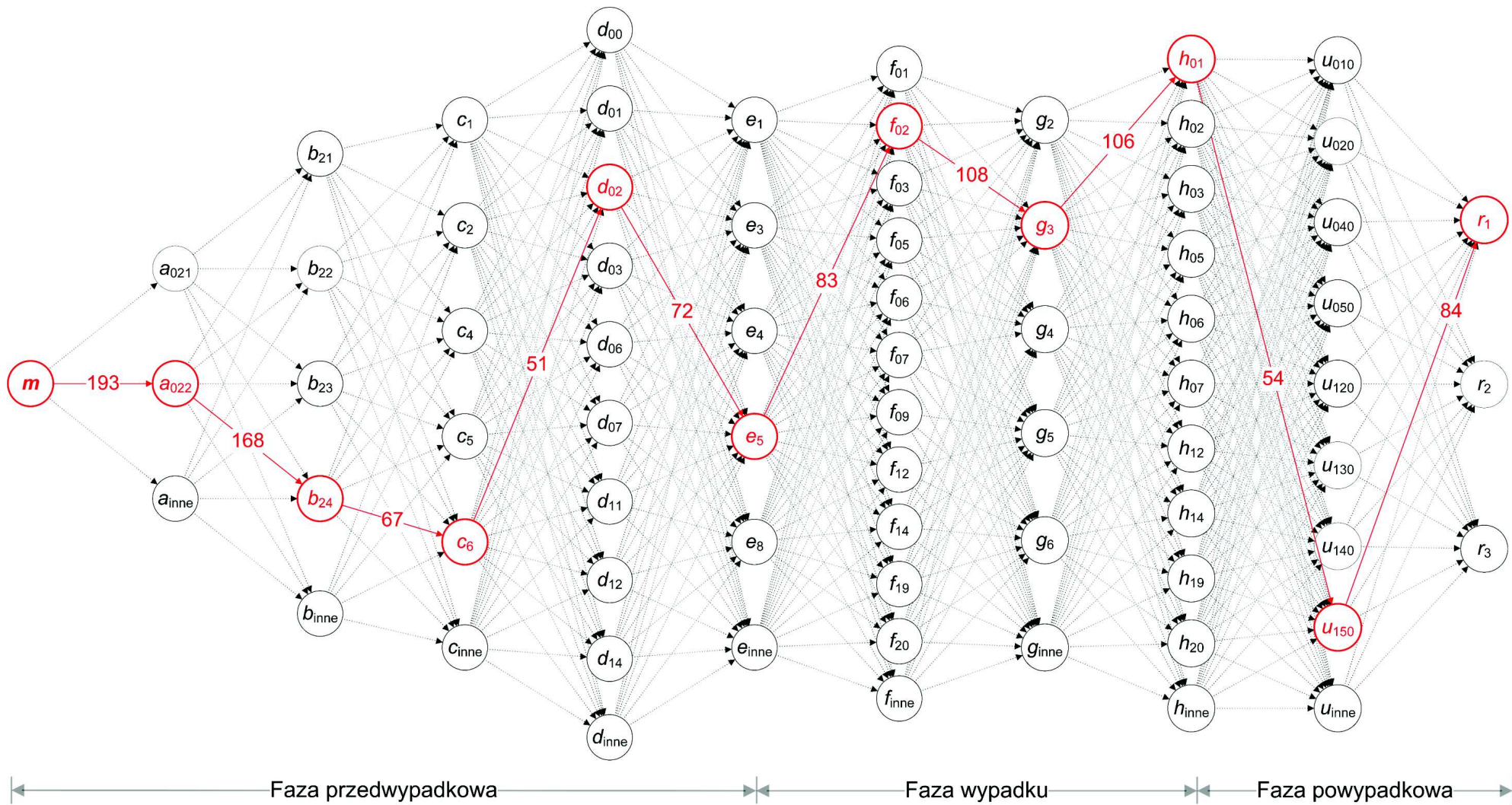
Typ relacji $\varphi - \psi$	Liczba aktywacji relacji $N_{(\varphi-\psi)}$ [-]	Prawdopodobieństwo wystąpienia relacji $P_{(\varphi-\psi)}$ [%]
$m - a_{022}$	193	100,0
$a_{022} - b_{24}$	168	87,1
$b_{24} - c_6$	67	34,7
$c_6 - d_{02}$	51	26,4
$d_{02} - e_5$	72	37,3
$e_5 - f_{02}$	83	43,0
$f_{02} - g_3$	108	56,0
$g_3 - h_{01}$	106	54,9
$h_{01} - u_{150}$	54	28,0
$u_{150} - r_1$	84	43,5

Analiza wykazała, że w zbiorze analizowanych 193 wypadków, które zdarzyły się na budowie nowych obiektów:

- największą wartość prawdopodobieństwa uzyskała relacja  $a_{022} - b_{24}$ , która oznacza, że najczęściej do wypadku doszło w trakcie przebudowywania, naprawy, rozbudowywania, konserwacji obiektów budowlanych i infrastruktury. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej relacji wyniosło 87,1%,
- prawdopodobieństwo powstania wypadku w wyniku przemieszczania się pracownika po terenie budowy w trakcie przebudowywania, naprawy, rozbudowywania, konserwacji obiektów budowlanych i infrastruktury wyniosło 34,7% i dotyczy to relacji  $b_{24} - c_6$ ,
- prawdopodobieństwo, że uszkodzony przemieszczał się po powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu wyniosło 26,4% i dotyczy to relacji  $c_6 - d_{02}$ ,

- prawdopodobieństwo, że w czasie przemieszczania się po powierzchniach znajdujących się powyżej poziomu gruntu doszło do poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku osoby poszkodowanej kontaktu z obiektem znajdującym się nad poziomem gruntu doszło do poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku osoby poszkodowanej wyniosło 37,3% i dotyczy to relacji  $d_{02} - e_5$ ,
- prawdopodobieństwo, że czynnikiem materialnym związanym z poślizgnięciem, potknięciem lub upadkiem osoby poszkodowanej będą powierzchnie obiektów i konstrukcji znajdujących się na nad poziomem gruntu wyniosło 41,8% i dotyczy to relacji  $e_5 - f_{02}$ ,
- prawdopodobieństwo, że w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku poszkodowanego, który znajdował się na powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych nad poziomem gruntu nastąpi zderzenie lub uderzenie w nieruchomy obiekt wyniosło 48,1% i dotyczy to relacji  $f_{02} - g_3$ ,
- prawdopodobieństwo, że w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku poszkodowanego, który znajdował się na powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych nad poziomem gruntu nastąpi zderzenie lub uderzenie w nieruchomy obiekt wyniosło 48,1% i dotyczy to relacji  $g_3 - h_{01}$ ,
- prawdopodobieństwo, że w wyniku zderzenia lub uderzenia w konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdują się na poziomie gruntu nastąpi śmierć osoby poszkodowanej wyniosło 18,8% i dotyczy to relacji  $h_{01} - u_{150}$ ,
- prawdopodobieństwo, że w wyniku takiej relacji nastąpi śmierć osoby poszkodowanej wyniosło 31,7% i dotyczy to relacji  $u_{150} - r_1$ .





Rys. 8.17 Ścieżka krytyczna w modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie określona dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych (opracowanie własne)



#### 8.4.4 Najbardziej prawdopodobny scenariusz przebiegu wypadku w zbiorze analizowanych wypadków

Wyznaczono scenariusze o największym prawdopodobieństwie wystąpienia dla zbioru 485 wypadków przy pracy w budownictwie. Dla każdego scenariusza obliczono prawdopodobieństwo warunkowe kolejnych skumulowanych relacji między węzłami wg wzoru (7.16) zamieszczonego w rozdziale 7.2.3. W tabeli 8.34 zamieszczono obliczone wartości prawdopodobieństw warunkowych wystąpienia poszczególnych scenariuszy wypadkowych przechodzących od węzła  $M$  do węzła  $R$  oraz wartości prawdopodobieństwa warunkowego wybranego fragmentu danego scenariusza prowadzącego od węzła  $M$  do wybranego węzła znajdującego się w scenariuszu. Relacje należące do scenariusza opisano podając wartość prawdopodobieństwa warunkowego oraz liczbę aktywacji.

##### *Scenariusz wypadkowy dla zbioru wszystkich wypadków*

Na rysunku 8.18 przedstawiono przebieg scenariusza wypadkowego, dla którego otrzymano największą wartość prawdopodobieństwa warunkowego, dla zbioru wszystkich analizowanych wypadków. Scenariusz wypadkowy można opisać w sposób następujący:

- spośród 485 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie 287 osób uległo wypadkowi na terenie budowy nowych obiektów. Prawdopodobieństwo wystąpienia relacji:  $m - a_{021}$  wyniosło 59,2%,
- spośród 287 osób pracujących na terenie budowy nowych obiektów i poszkodowanych w wypadku, dla 222 osób podstawowym procesem pracy było wznoszenie nowych budynków. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22}$  wyniosło 45,8%,
- spośród 222 osób poszkodowanych w wypadku w czasie budowy nowych budynków 86 osób przemieszczało się po terenie budowy w momencie wypadku. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6$  wyniosło 17,7%,
- spośród 86 osób poszkodowanych w momencie przemieszczania się po terenie budowy 72 osoby znajdowały się na budynkach, konstrukcjach i ich elementach, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02}$  wyniosło 14,9%,
- spośród 72 osób poszkodowanych w czasie przemieszczania się po konstrukcjach i elementach znajdujących się nad poziomem gruntu dla 60 osób wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego było poślizgnięcie, potknięcie się lub upadek. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5$  wyniosło 12,4%,
- dla 60 osób poszkodowanych czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02}$  wyniosło 12,4%,
- spośród 60 osób poszkodowanych dla 58 osób wydarzeniem powodującym uraz było zderzenie z nieruchomym obiektem lub uderzenie w nieruchomy obiekt.

Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3$  wyniosło 12,0%,

- spośród 58 osób poszkodowanych dla 50 osób czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem powodującym uraz były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01}$  wyniosło 10,3%,
- w wyniku takiego przebiegu wypadku przy pracy:
  - ✓ 20 osób doznało urazu, w wyniku którego poniosło śmierć. Prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku śmiertelnego przebiegającego przez węzły:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$  wyniosło: 4,1%,
  - ✓ 15 osób doznało urazu, w wyniku upadku z wysokości, którego konsekwencją było ciężkie uszkodzenie ciała. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{130} - r_2$  wyniosło: 3,1%,
  - ✓ u 13 osób poszkodowanych wystąpiło złamanie kończyn ( $u_{020}$ ). 12 osób wypadek został zaklasyfikowany jako wypadek ciężki, natomiast dla jednej jako wypadek lekki. Prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku ciężkiego, przebiegającego przez węzły:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{020} - r_2$  wyniosło: 2,5%, natomiast lekkiego  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{020} - r_1$ : 0,2%.

### ***Scenariusz wypadkowy dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów***

Na rysunku 8.19 przedstawiono przebieg scenariusza wypadkowego dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów, dla którego otrzymano największą wartość prawdopodobieństwa warunkowego. Scenariusz wypadkowy można opisać w sposób następujący:

- spośród 287 osób pracujących na terenie budowy nowych obiektów i poszkodowanych w wypadku dla 222 osób podstawowym procesem pracy było wznoszenie nowych budynków. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22}$  wyniosło 77,4%,
- spośród 222 osób poszkodowanych w wypadku w czasie budowy nowych budynków 86 osób przemieszczało się po terenie budowy w momencie wypadku. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6$  wyniosło 30,0%,
- spośród 86 osób poszkodowanych w momencie przemieszczania się po terenie budowy 72 osoby znajdowały się na budynkach, konstrukcjach i ich elementach, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02}$  wyniosło 25,11%,
- spośród 72 osób poszkodowanych w czasie przemieszczania się po konstrukcjach i elementach znajdujących się nad poziomem gruntu dla 60 osób wydarzeniem będących odchyleniem od stanu normalnego było poślizgnięcie, potknięcie się lub

upadek. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5$  wyniosło 20,9%,

- dla 60 osób poszkodowanych czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02}$  wyniosło 20,9%,
- spośród 60 osób poszkodowanych dla 58 osób wydarzeniem powodującym uraz było zderzenie z nieruchomym obiektem lub uderzenie w nieruchomy obiekt. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3$  wyniosło 20,2%,
- spośród 58 osób poszkodowanych dla 50 osób czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem powodującym uraz były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01}$  wyniosło 17,4%,
- w wyniku takiego przebiegu wypadku przy pracy:
  - ✓ 20 osób doznało urazu, w wyniku którego poniosło śmierć. Prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku śmiertelnego przebiegającego przez węzły:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$  wyniosło: 7,0%,
  - ✓ 15 osób doznało urazu, w wyniku upadku z wysokości, którego konsekwencją było ciężkie uszkodzenie ciała. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{130} - r_2$  wyniosło: 5,2%,
  - ✓ u 13 osób poszkodowanych wystąpiło złamanie kończyn ( $u_{020}$ ) w wyniku którego dla 12 osób wypadek został zaklasyfikowany jako wypadek ciężki, natomiast dla jednej jako wypadek lekki. Prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku ciężkiego, przebiegającego przez węzły:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{020} - r_2$  wyniosło: 4,2%, natomiast lekkiego  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{020} - r_1$ : 0,3%.

### ***Scenariusz wypadkowy dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych***

Na rysunku 8.20 przedstawiono przebieg scenariusza wypadkowego, dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych, dla którego otrzymano największą wartość prawdopodobieństwa warunkowego. Scenariusz wypadkowy można opisać w sposób następujący:

- spośród 193 osób pracujących na terenie budowy w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych dla 168 osób podstawowym procesem pracy było przebudowywanie, naprawa, rozbudowywanie, konserwacja obiektów budowlanych i infrastruktury. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{022} - b_{24}$  wyniosło 87,1%,
- spośród 168 osób poszkodowanych w wypadku w czasie przebudowy, naprawy, rozbudowy, konserwacji obiektów budowlanych i infrastruktury 67 osób

przemieszczało się po terenie budowy w momencie wypadku. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6$  wyniosło 34,7%,

- spośród 67 osób poszkodowanych w momencie przemieszczania się po terenie budowy 51 osób znajdowało się na budynkach, konstrukcjach i ich elementach, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02}$  wyniosło 26,4%,
- spośród 51 osób poszkodowanych w czasie przemieszczania się po konstrukcjach i elementach znajdujących się nad poziomem gruntu dla 40 osób wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego było poślizgnięcie, potknięcie się lub upadek. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5$  wyniosło 20,7%,
- spośród 40 osób poszkodowanych, które uległy wypadkowi w wyniku poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku 39 osób znajdowało się na budynkach, konstrukcjach i ich elementach, których powierzchnie znajdowały się nad poziomem gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02}$  wyniosło 20,2%,
- dla 39 osób poszkodowanych wydarzeniem powodującym uraz było zderzenie z nieruchomym obiektem lub uderzenie w nieruchomy obiekt. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3$  wyniosło 20,2%,
- spośród 39 osób poszkodowanych dla 36 osób czynnikiem materialnym związanym z wydarzeniem powodującym uraz były budynki, konstrukcje i ich elementy, których powierzchnie znajdowały się na poziomie gruntu. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01}$  wyniosło 18,7%,
- w wyniku takiego przebiegu wypadku przy pracy:
  - ✓ 20 osób doznało urazu, w wyniku którego poniosło śmierć. Prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku śmiertelnego przebiegającego przez węzły:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$  wyniosło: 10,4%,
  - ✓ 9 osób doznało urazu, w wyniku upadku z wysokości, którego konsekwencją było ciężkie uszkodzenie ciała. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{130} - r_2$  wyniosło: 4,7%.

Tabela 8.34 Zestawienie prawdopodobieństw warunkowych dla wybranych scenariuszy zbioru wszystkich analizowanych wypadków

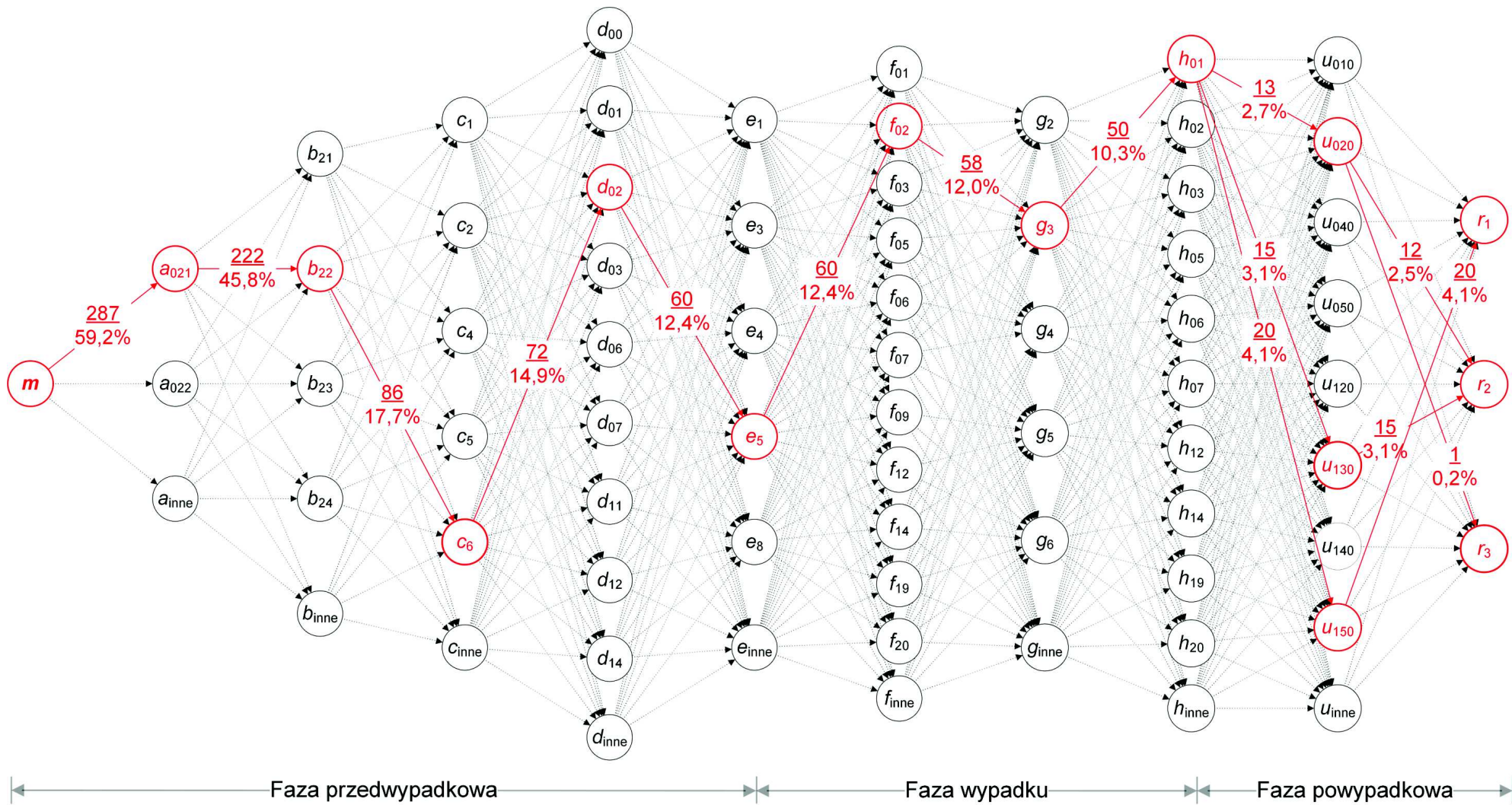
Nr ścieżki	Liczba zdarzeń $W, a_i$		Miejsce powstania wypadku A		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j$		Proces pracy B		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k$		Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku C		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n$		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku D		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o$		Wydarzenie będące odchyleniem od normalnego E		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p$		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego F		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q$		Wydarzenie powodujące uraz G		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q, h_s$		Czynnik materialny będący źródłem urazu H		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q, h_s, u_v$		Rodzaj urazu U		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q, h_s, u_v, r_x$		Skutek wypadku R	
	$P(A M)$		$P(B M \cap A)$		$P(C M \cap A \cap B)$		$P(D M \cap \dots \cap C)$		$P(E M \cap \dots \cap D)$		$P(F M \cap \dots \cap E)$		$P(G M \cap \dots \cap F)$		$P(H M \cap \dots \cap G)$		$P(U M \cap \dots \cap H)$		$P(R M \cap \dots \cap U)$																					
1.a	287	$a_{021}$	222	$b_{22}$	86	$c_6$	72	$d_{02}$	60	$e_5$	60	$f_{02}$	58	$g_3$	50	$h_{01}$	20	$u_{150}$	20	$r_1$																				
	59,2		45,8		17,7		14,9		12,4		12,4		12,0		10,3		4,1		4,1																					
1.b	287	$a_{021}$	222	$b_{22}$	86	$c_6$	72	$d_{02}$	60	$e_5$	60	$f_{02}$	58	$g_3$	50	$h_{01}$	15	$u_{130}$	15	$r_2$																				
	59,2		45,8		17,7		14,9		12,4		12,4		12,0		10,3		3,1		3,1																					
1.c	287	$a_{021}$	222	$b_{22}$	86	$c_6$	72	$d_{02}$	60	$e_5$	60	$f_{02}$	58	$g_3$	50	$h_{01}$	13	$u_{020}$	12	$r_2$																				
	59,2		45,8		17,7		14,9		12,4		12,4		12,0		10,3		2,7		2,47																					
2.a	193	$a_{022}$	168	$b_{24}$	67	$c_6$	51	$d_{02}$	40	$e_5$	39	$f_{02}$	39	$g_3$	36	$h_{01}$	20	$u_{150}$	20	$r_1$																				
	39,8		36,6		13,8		10,5		8,3		8,0		8,0		7,4		4,1		4,1																					
2.b	193	$a_{022}$	168	$b_{24}$	67	$c_6$	51	$d_{02}$	40	$e_5$	39	$f_{02}$	39	$g_3$	36	$h_{01}$	9	$u_{130}$	9	$r_2$																				
	39,8		36,6		13,8		10,5		8,3		8,0		8,0		7,4		1,9		1,9																					
3.	287	$a_{021}$	222	$b_{22}$	66	$c_4$	35	$d_{02}$	19	$e_5$	19	$f_{02}$	19	$g_3$	17	$h_{01}$	8	$u_{150}$	8	$r_1$																				
	59,2		45,8		13,6		7,2		3,9		3,9		3,9		3,5		1,7		1,7																					



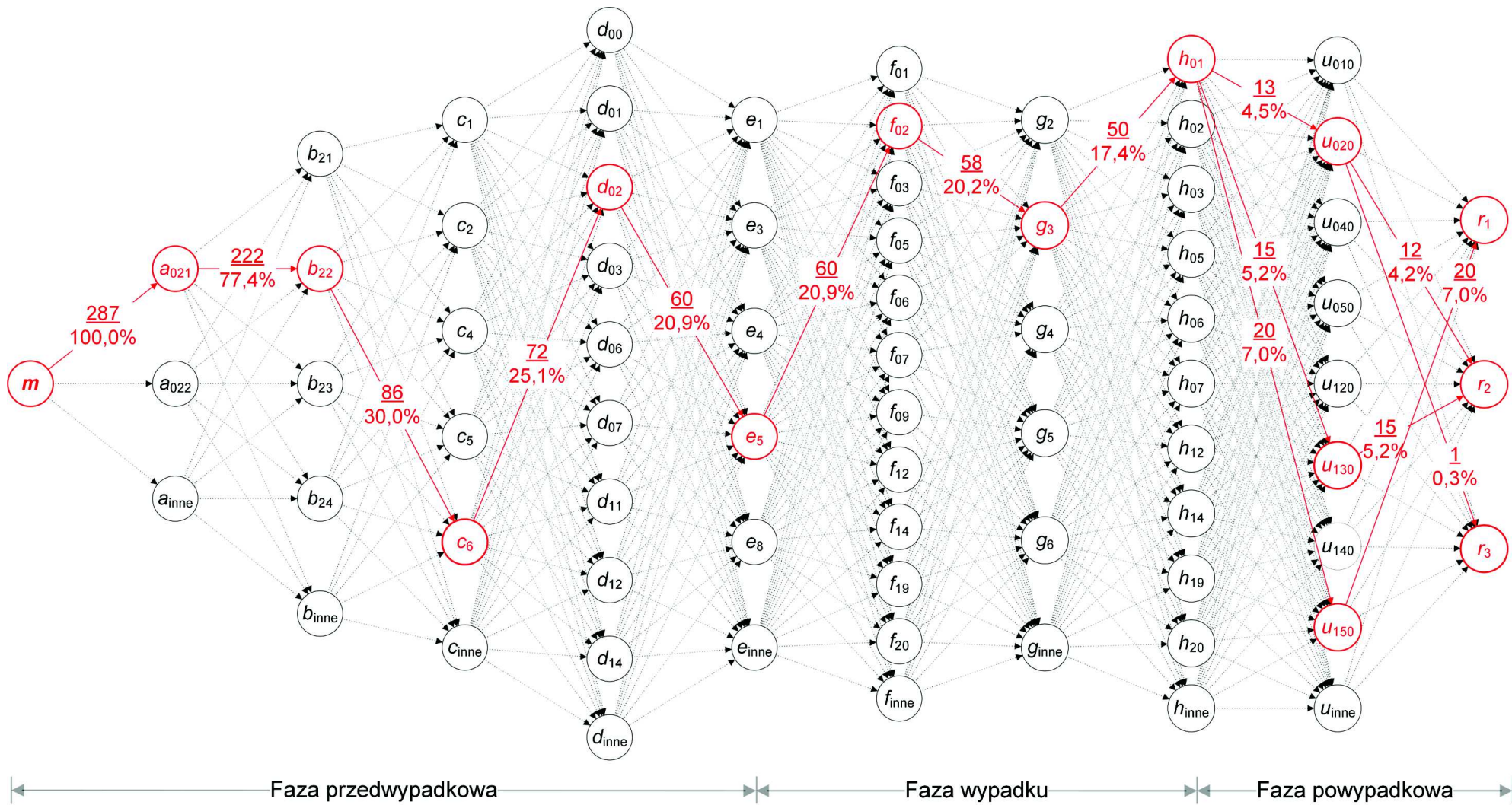
Nr ścieżki	Liczba zdarzeń $W, a_i$		Miejsce powstania wypadku $A$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j$		Proces pracy $B$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k$		Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku $C$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n$		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku $D$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o$		Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p$		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q$		Wydarzenie powodujące uraz $G$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q, h_s$		Czynnik materialny będący źródłem urazu $H$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q, h_s, u_v$		Rodzaj urazu $U$		Liczba zdarzeń $W, a_i, b_j, c_k, d_n, e_o, f_p, g_q, h_s, u_v, r_x$		Skutek wypadku $R$	
	$P(A M)$		$P(B M \cap A)$		$P(C M \cap A \cap B)$		$P(D M \cap \dots \cap C)$		$P(E M \cap \dots \cap D)$		$P(F M \cap \dots \cap E)$		$P(G M \cap \dots \cap F)$		$P(H M \cap \dots \cap G)$		$P(U M \cap \dots \cap H)$		$P(R M \cap \dots \cap U)$																					
4.a	193	$a_{022}$	168	$b_{24}$	41	$c_4$	22	$d_{02}$	17	$e_5$	16	$f_{02}$	16	$g_3$	14	$h_{01}$	6	$u_{130}$	6	$r_2$																				
	39,8		34,6		8,5		4,5		3,5		3,3		3,3		2,9		1,2		1,2																					
4.b	193	$a_{022}$	168	$b_{24}$	41	$c_4$	22	$d_{02}$	17	$e_5$	16	$f_{02}$	16	$g_3$	14	$h_{01}$	5	$u_{150}$	5	$r_1$																				
	39,8		34,6		8,5		4,5		3,5		3,3		3,3		2,9		1,0		1,0																					
4.c	193	$a_{022}$	168	$b_{24}$	41	$c_4$	22	$d_{02}$	17	$e_5$	16	$f_{02}$	16	$g_3$	14	$h_{01}$	5	$u_{020}$	5	$r_2$																				
	39,8		34,6		8,5		4,5		3,5		3,3		3,3		2,9		1,0		1,0																					

Liczba aktywacji [-]	Kod węzła
Prawdopodobieństwo warunkowe [%]	



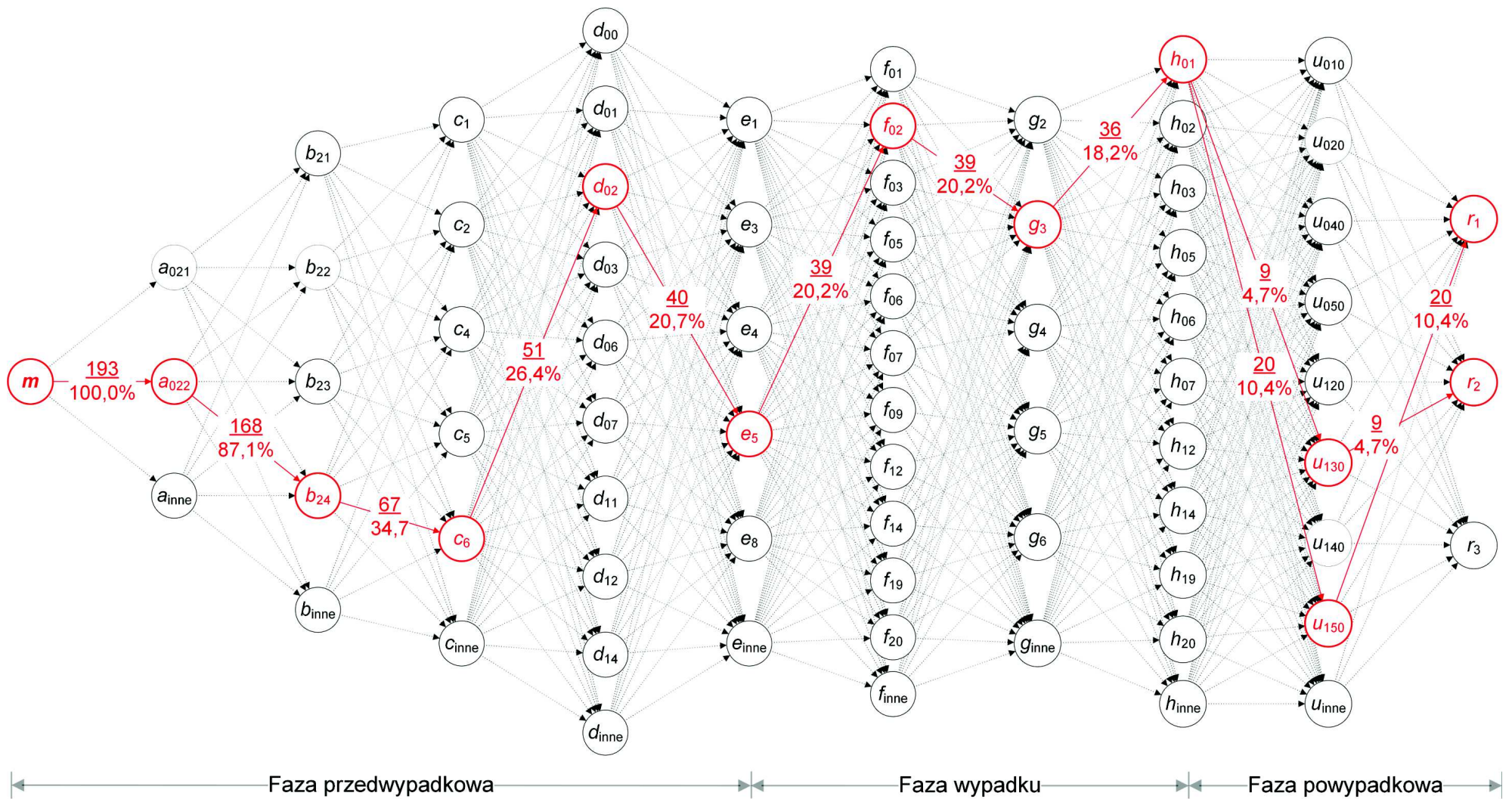


Rys. 8.18 Scenariusz wypadkowy dla zbioru wszystkich analizowanych wypadków (opracowanie własne)



Rys. 8.19 Scenariusz wypadkowy dla zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów (opracowanie własne)





Rys. 8.20 Scenariusz wypadkowy dla zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych (opracowanie własne)

#### 8.4.5 Wnioski

Opisane powyżej badania i analizy były podstawą sformułowania następujących wniosków:

- Na podstawie badań i analiz przeprowadzonych przy wykorzystaniu modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie możliwe jest zdefiniowanie, w zbiorach analizowanych wypadków, ścieżek krytycznych obejmujących relacje o największym prawdopodobieństwie wystąpienia.
- W zbiorze analizowanych 485 wypadków przy pracy w budownictwie 59,2% wypadków zdarzyło się w czasie budowy nowych obiektów, natomiast 39,8% podczas robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych. Pozostałe 1% wypadków zdarzyło się w czasie budowy obiektów inżynierii lądowej zlokalizowanych pod ziemią lub ponad wodą.
- Analizując zbiór wszystkich wypadków należy stwierdzić, że ścieżka krytyczna obejmuje następujące relacje:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ .
- Analizując zbiór wypadków, które zdarzyły się podczas budowy nowych obiektów należy stwierdzić, że ścieżka krytyczna przechodzi przez następujące relacje:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ .
- Analizując zbiór wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych należy stwierdzić, że ścieżka krytyczna przechodzi przez następujące relacje:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ .
- W każdym z wymienionych wyżej przypadków, poczynając od węzła  $c_6$ , ścieżki krytyczne pokrywają się. Świadczy to o tym, że w budownictwie, bez względu na to czy roboty budowlane wykonywane są podczas budowy nowych obiektów budowlanych czy też podczas remontów rozbiórek i wyburzania, najczęściej wypadek przebiega w następujący sposób: uszkodzony przemieszcza się po powierzchniach lub konstrukcjach budowlanych, których powierzchnie znajdują się nad poziomem terenu. W czasie tego przemieszczania dochodzi do poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku, w wyniku czego następuje uderzenie uszkodzonego w nieruchomy obiekt którym są powierzchnie lub konstrukcje budowlane na poziomie gruntu. W wyniku tego uderzenia następuje śmierć osoby uszkodzonej.
- Upadek osoby uszkodzonej na poziom niższy wystąpił u:
  - ✓ 50,7% osób w przypadku zbioru wszystkich analizowanych wypadków przy pracy,
  - ✓ 48,1% osób w przypadku zbioru wypadków, które zdarzyły się na terenie budowy nowych obiektów,
  - ✓ 56,0% osób w przypadku zbioru wypadków, które zdarzyły się w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych.
- Skutkiem upadku z wysokości było ciężkie uszkodzenie ciała lub śmierć.
- Scenariusz o największym prawdopodobieństwie wystąpienia, prowadzący do wypadku przy pracy, określony na zbiorze wszystkich analizowanych wypadków

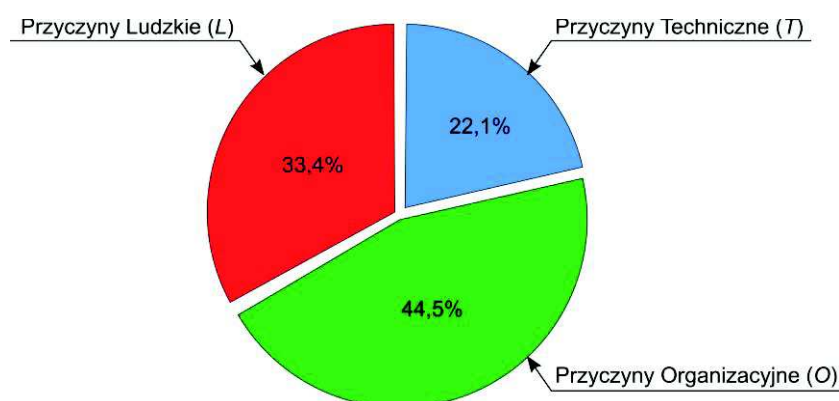
przebiega następująco:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ . Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia tego scenariusza wynosi 4,1%.

- Scenariusz o największym prawdopodobieństwie wystąpienia, prowadzący do wypadku przy pracy, określony na zbiorze wypadków, które zdarzyły się podczas budowy nowych obiektów budowlanych przebiega następująco:  $m - a_{021} - b_{22} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ . Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia tego scenariusza wynosi 7,0%.
- Scenariusz o największym prawdopodobieństwie wystąpienia, prowadzący do wypadku przy pracy, określony na zbiorze wypadków, które zdarzyły się podczas remontów, rozbiórek i wyburzania obiektów budowlanych przebiega następująco:  $m - a_{022} - b_{24} - c_6 - d_{02} - e_5 - f_{02} - g_3 - h_{01} - u_{150} - r_1$ . Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia takiego scenariusza wynosi 10,4%.

## 8.5 Analiza przyczyn wypadków

Zidentyfikowano przyczyny 50 wypadków przebiegających zgodnie z najbardziej prawdopodobnym scenariuszem wypadkowym, dla którego wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego był upadek osoby poszkodowanej z wysokości - ścieżka przedstawiona na rysunku 8.18. Następnie przeprowadzono analizę przyczyn wypadków wg metodyki zamieszczonej w rozdziale 7.5.

W zbiorze 50 analizowanych wypadków stwierdzono łącznie 317 przyczyn. Przyczyny techniczne stanowiły 22,1%, organizacyjne 44,5%, a ludzkie 33,4% wszystkich przyczyn (rysunek 8.21).



Rys. 8.21 Procentowy udział poszczególnych przyczyn (opracowanie własne)

### 8.5.1 Przyczyny techniczne (T)

W tabeli 8.35 zamieszczono zidentyfikowane przyczyny techniczne uszeregowane od maksimum do minimum, liczności wystąpień poszczególnych przyczyn, udział procentowy poszczególnych przyczyn, skumulowany udział następujących kolejno przyczyn oraz klasyfikację ważności przyczyn.

Tabela 8.35 Zbiory przyczyn technicznych

Przyczyny techniczne (T) $T = \{t_\alpha: \alpha = 1, \dots, A\}$		Liczność wystąpień $a_x$	Udział $u_x[\%]$	Skumulowany udział $S_x[\%]$	Klasa ważności przyczyny
$t_1$	Brak lub niewłaściwe urządzenia zabezpieczające	24	34%	34%	A
$t_2$	Brak lub niewłaściwe środki ochrony zbiorowej	21	30%	64%	A
$t_3$	Niewłaściwa struktura przestrzenna czynnika materialnego	10	14%	79%	A
$t_4$	Niewłaściwa stateczność czynnika materialnego	7	10%	89%	B
$t_5$	Nieodpowiednia wytrzymałość czynnika materialnego	3	4%	93%	B
$t_6$	Niedotrzymanie wymaganych parametrów technicznych	2	3%	96%	C
$t_7$	Brak lub niewłaściwa sygnalizacja zagrożeń	2	3%	99%	C
$t_8$	Zastosowanie materiałów zastępczych	1	1%	100%	C



W analizowanej grupie przyczyn stwierdzono łącznie 70 przyczyn o charakterze technicznym, a mianowicie:

$t_1, t_2$  – braki lub niewłaściwe urządzenia zabezpieczające oraz środki ochrony zbiorowej wynikają m.in. z:

- niewłaściwego zabezpieczenia krawędzi stropów, powierzchni na wysokości, dachów balustradami zabezpieczającymi przed upadkiem z wysokości,
- braku barier ochronnych w wolnych przestrzeniach grożących upadkiem uszkodzonego, np. między płytami balkonowymi,
- braku zabezpieczeń otworów w stropie, otworów technologicznych, świetlików, otworów okiennych, drzwiowych,
- braku stosowania siatek ochronnych, linek asekuracyjnych, urządzeń zabezpieczających pracowników przed upadkiem z wysokości,
- braku odpowiednich konstrukcji zabezpieczających pomosty robocze przed upadkiem pracownika z wysokości, tzn. braku desek krawężnikowych, braku wypełnienia wolnej przestrzeni między belką krawężnikową i górną balustradą, braku górnej poręczy,
- zbyt dużego odsunięcia rusztowań od ścian wznoszonego budynku i niezabezpieczenia przestrzeni balustradą ochronną.

$t_3$  – niewłaściwa struktura przestrzenna czynnika materialnego wynikająca z:

- nieprawidłowego wykonania elementów, np. drabin, rusztowań i wykorzystywania materiałów o niewystarczającej wytrzymałości,
- nieprawidłowego połączenia elementów między sobą niegwarantującego wymaganych parametrów technicznych i wytrzymałościowych, np. nieprawidłowo wykonana ręcznie drabina przystawna, przybicie za pomocą gwoździ niezaczopowanych w gniazdach szczelbi drabiny do podłużnic,
- montażu rusztowania z elementów niesystemowych, np. łączenie dwóch, niepasujących ze sobą typów ram rusztowania, stosowanie pomostów roboczych z kilku typów podestów,
- braku odpowiednich pionów komunikacyjnych lub niewłaściwego ich rozmieszczenia,
- braku drabin wejściowych na pomosty robocze, braku kłap zakrywających otwory wejściowe, braku stężeń.

$t_4$  – niewłaściwa stateczność czynnika materialnego spowodowana:

- stosowaniem luźno ułożonych elementów, desek, prowizorycznych pomostów roboczych,
- brakiem połączenia elementów służących do komunikacji, np. brak zabezpieczeń przed przesunięciem się, przewróceniem drabiny przystawnej,
- brakiem zakotwień rusztowań do budynku lub innych stałych elementów,
- brakiem blokady kół w przypadku rusztowań przejezdnych,
- nieprawidłowym posadowieniem rusztowań na gruncie.

$t_5$  – nieodpowiednia wytrzymałość czynnika materialnego wynikająca z:

- stosowania materiałów o niższej niż wymagana wytrzymałości, np. wykonanie pomostu roboczego z desek o zbyt małej wytrzymałości,
- pęknięcia elementów konstrukcyjnych pod ciężarem uszkodzonego.

$t_6$  – niedotrzymanie wymaganych parametrów technicznych z powodu:

- niewłaściwego wykonania czynnika materialnego, niezgodnie z instrukcją montażu, np. nieprzymocowanie pomostu roboczego za pomocą śrub do rusztowania,
- stosowania luźno ułożonych, prowizorycznych pomostów roboczych.

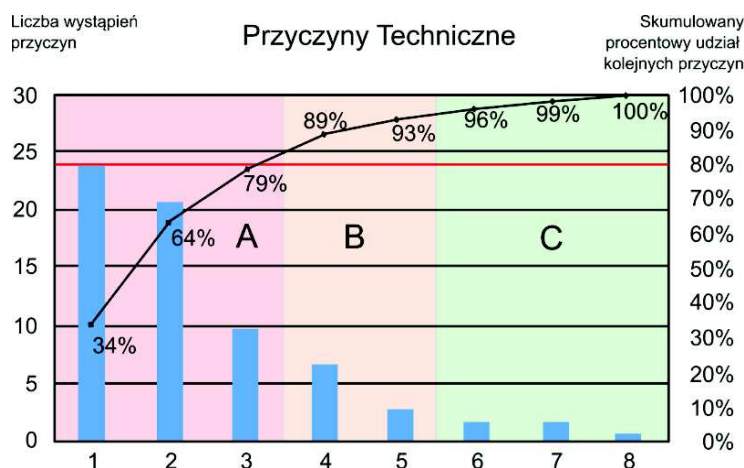
$t_7$  – brak lub niewłaściwa sygnalizacja zagrożeń związana z:

- niedostatecznego oświetlenia miejsca pracy, w którym pracownik narażony jest na niebezpieczeństwo upadku z wysokości,
- nieodpowiednim oznakowaniem strefy niebezpiecznej.

$t_8$  – zastosowanie materiałów zastępczych.

Na rysunku 8.22 pokazano wykres słupkowy zidentyfikowanych przyczyn technicznych uszeregowanych od maksimum do minimum (tzw. wykres Pareto) oraz skumulowany procentowy udział kolejnych przyczyn (w postaci tzw. krzywej Lorenza). Na wykresach zaznaczono również obszary A, B, C, klas ważności poszczególnych przyczyn. Klasy ważności obejmują przyczyny określone jako: bardzo istotne (oznaczone literą A), istotne (oznaczone literą B) oraz mniej istotne (oznaczone literą C).

Największe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy mają przyczyny oznaczone literą A. Stanowią one 79% wszystkich stwierdzonych przyczyn technicznych. Są to przyczyny oznaczone w tabeli 8.35 jako:  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ .



Rys. 8.22 Wykres Pareto-Lorenza dla przyczyn technicznych (opracowanie własne)

### 8.5.2 Przyczyny organizacyjne (O)

W tabeli 8.36 zamieszczono zidentyfikowane przyczyny organizacyjne uszeregowane od maksimum do minimum, licznosci wystąpień poszczególnych przyczyn, udział procentowy poszczególnych przyczyn, skumulowany udział następujących kolejno przyczyn oraz klasyfikację ważności przyczyn.

Tabela 8.36 Zbiory przyczyn organizacyjnych

Przyczyny organizacyjne ( $O$ ) $O = \{o_\beta: \beta = 1, \dots, B\}$		Liczność wystąpień $a_x$	Udział $u_x$ [%]	Skumulowany udział $S_x$ [%]	Klasa ważności przyczyny
$o_1$	Brak nadzoru	26	18%	18%	A
$o_2$	Tolerowanie, przez osoby sprawujące nadzór, odstępstw od przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy	17	12%	30%	A
$o_3$	Dopuszczenie do pracy pracownika z przeciwwskazaniami lekarskimi lub bez badań lekarskich	17	12%	43%	A
$o_4$	Brak lub niewłaściwe przeszkolenie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy	16	11%	54%	A
$o_5$	Niedostateczne przygotowanie zawodowe pracownika	12	9%	62%	A
$o_6$	Nieodpowiednie przejścia i dojścia	11	8%	70%	A
$o_7$	Brak instrukcji posługiwania się czynnikiem materialnym	10	7%	77%	A
$o_8$	Dopuszczenie do pracy czynnika materialnego bez wymaganych kontroli, przeglądów	10	7%	84%	B
$o_9$	Tolerowanie, przez osoby sprawujące nadzór, stosowania niewłaściwej technologii	5	4%	88%	B
$o_{10}$	Brak środków ochrony indywidualnej	5	4%	91%	B
$o_{11}$	Nieprawidłowy podział pracy lub rozplanowanie zadań	4	3%	94%	B
$o_{12}$	Niewłaściwe usytuowanie urządzeń na stanowisku pracy	2	1%	96%	C
$o_{13}$	Niewłaściwa koordynacja prac zbiorowych	2	1%	97%	C
$o_{13}$	Niewłaściwy dobór środków ochrony indywidualnej	2	1%	99%	C
$o_{15}$	Niewłaściwe polecenia przełożonych	1	1%	99%	C
$o_{16}$	Wykonywanie pracy w zbyt małej obsadzie osobowej	1	1%	100%	C

W analizowanej grupie przyczyn stwierdzono łącznie 141 przyczyn o charakterze organizacyjnym, a mianowicie:

$o_1$  – brak nadzoru, w szczególności:

- brak dostatecznego nadzoru nad wykonaniem obowiązków należących do podległych kierownictwu budowy pracowników,
- zaniedbania obowiązków nadzoru, w wyniku czego osoby, którym powierzono wykonywanie określonych zadań, wykonały je w sposób niewłaściwy,
- brak osób nadzorujących na placu budowy w momencie wypadku,
- brak wskazania osoby odpowiadającej za nadzór nad wykonywanymi pracami,
- brak zapewnienia przez pracodawcę właściwego nadzoru nad pracami szczególnie niebezpiecznymi.

$o_2$  – tolerowanie, przez osoby sprawujące nadzór, odstępstw od przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, m.in.:

- dopuszczenie do pracy osób niespełniających wymagania szkoleń oraz badań lekarskich, a także nieposiadających wymaganych uprawnień, np. do montażu i demontażu rusztowań, obsługi urządzeń i sprzętu budowlanego,
  - tolerowanie przez nadzór wykonywanie pracy w bliskim otoczeniu niezabezpieczonych otworów technologicznych, pracujących maszyn i urządzeń,
  - tolerowanie odstępstw wynikających z braku lub nieprawidłowo wykonanych ocen ryzyk zawodowych na poszczególnych stanowiskach pracy,
  - tolerowanie wykonywanie pracy bez wyposażenia pracowników w środki ochrony indywidualnej oraz zbiorowej,
  - niesprawdzanie doraźnie stanu bezpieczeństwa placu budowy, a także miejsc szczególnie niebezpiecznych,
  - nie określenie szczegółowych wymagań bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac szczególnie niebezpiecznych,
  - nieprzestrzeganie przez nadzór wytycznych zawartych w planie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia.
- $o_3$  – dopuszczenie do pracy pracownika z przeciwwskazaniami lekarskimi lub bez badań lekarskich, a mianowicie:
- dopuszczenie pracownika do pracy bez zaświadczenia o braku przeciwwskazań do pracy,
  - dopuszczenie pracownika do pracy mimo braku aktualnych badań lekarskich, brak okresowych badań lekarskich,
  - brak określenia w zaświadczeniu informacji o braku przeciwwskazań do pracy na wysokości powyżej 1 m,
  - dopuszczenie do pracy pracownika do pracy na wysokości pomimo zakazu pracy powyżej 3 m,
  - posiadanie przez pracownika zaświadczenia lekarskiego na inne stanowisko pracy niż rzeczywiście wykonywana praca.
- $o_4$  – brak lub niewłaściwe przeszkolenie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, a mianowicie:
- brak przeszkolenia pracowników w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy,
  - brak potwierdzenia pisemnego odbycia przez pracownika szkoleń w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, tzn. szkolenia wstępnego: ogólnego i stanowiskowego,
  - brak potwierdzenia pisemnego odbycia szkolenia okresowego,
  - nieprawidłowe przeszkolenie pracownika w zakresie szkolenia stanowiskowego, np. poprzez potwierdzenie odbycia szkolenia stanowiskowego związanym z innym niż wykonywane stanowisko pracy,
  - niewłaściwe przeprowadzone szkolenia w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, m.in.: nieprawidłowy zakres szkolenia, nieprawidłowy czas trwania szkolenia, zlecenie przeprowadzenia szkolenia osobie nieposiadającej uprawnień i wystarczającej wiedzy do prowadzenia szkoleń.
- $o_5$  – niedostateczne przygotowanie zawodowe pracownika związane z wykonywaniem przez poszkodowanego czynności bez wymaganych uprawnień, np. montaż i demontaż rusztowań bez posiadania uprawnień do montażu/demontażu rusztowań; obsługiwane

pojazdów bez wymaganych uprawnień do kierowania; pełnienie funkcji hakowego bez posiadania uprawnień jak na stanowisku obsługującego suwnice lub żurawie.

$o_6$  – nieodpowiednie przejścia i dojścia, spowodowane:

- brakiem stosowania barier ochronnych zabezpieczających pracowników przed upadkiem z wysokości,
- nieodpowiednim wykonaniem i oznakowaniem dróg komunikacyjnych przeznaczonych do poruszania się pracowników po placu budowy,
- brakiem odpowiednich pionów komunikacyjnych, drabin, podestów, klap zakrywających otwory wejściowe umożliwiających pracownikom bezpieczną komunikację pomiędzy pomostami roboczymi rusztowań,
- nieodpowiednim stanem przejść i dojść wynikającym z niesprzyjających warunków atmosferycznych, np. śliska powierzchnia szalunku,
- nieodpowiednią szerokością przejść na placu budowy, np. wyznaczenie drogi komunikacyjnej po wąskich elementach – dokach,
- wyznaczeniem dróg komunikacyjnych w strefie niebezpiecznej.

$o_7$  – brak instrukcji posługiwania się czynnikiem materialnym, a mianowicie:

- brak opracowania przez osoby kierujące robotami specyfikacji bezpiecznego wykonywania robót budowlanych, instrukcji stanowiskowych oraz instrukcji bezpiecznego posługiwania się urządzeniami, np. rusztowaniem roboczym,
- brak zapoznania pracowników z powyższymi instrukcjami,
- niewłaściwie podana informacja o zagrożeniu, np. tablica informująca o strefie niebezpiecznej umieszczona poza zasięgiem wzrokowym pracowników.

$o_8$  – dopuszczenie do pracy urządzeń budowlanych bez wymaganych kontroli, przeglądów, a w szczególności:

- dopuszczenie do eksploatacji urządzeń, np. rusztowań budowlanych niespełniających podstawowych wymagań w zakresie bhp,
- brak dokonania protokolarnego odbioru technicznego rusztowań, przez osobę uprawnioną, przed dopuszczeniem ich do użytkowania,
- odbiór techniczny rusztowania przez osobę nie posiadającą wymaganych uprawnień.

$o_9$  – tolerowanie, przez osoby sprawujące nadzór, stosowania niewłaściwej technologii, m.in. prowadzenie prac budowlanych niezgodnie z instrukcją bezpiecznego wykonywania prac oraz niezgodnie z przyjętą i obowiązującą technologią prowadzenia prac.

$o_{10}$  – brak środków ochrony indywidualnej, a mianowicie nie wyposażenie pracowników przez pracodawcę w środki ochrony indywidualnej, m.in. sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości (szelki bezpieczeństwa, urządzenie samohamowne i linka bezpieczeństwa dołączonej do punktu zamocowania stałego), środki ochrony kończyn dolnych (buty ochronne) i itp.

$o_{11}$  – nieprawidłowy podział pracy lub rozplanowanie zadań spowodowany niewłaściwą organizacją pracy. Zła organizacja pracy może być wynikiem braku jednoznacznego podziału pracy, który wprowadza chaos organizacyjny.

$o_{12}$  – niewłaściwe usytuowanie urządzeń na stanowisku pracy związane z niewłaściwą ogólną organizacją pracy, a w szczególności:

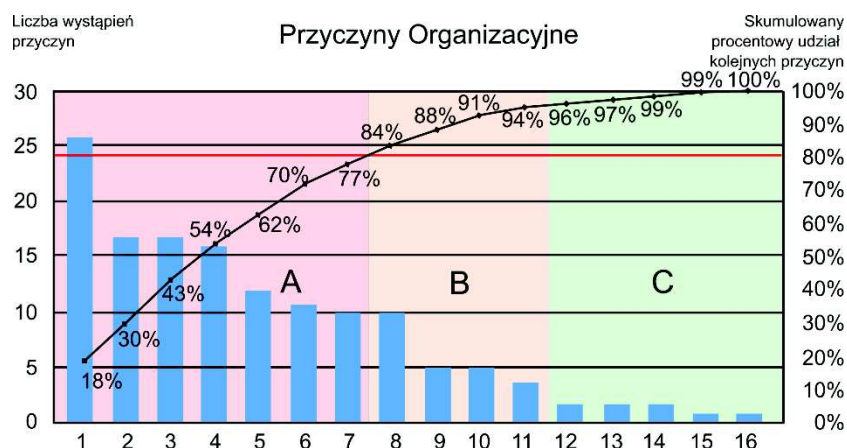
- niewłaściwe zagospodarowanie placu budowy,

- niezachowanie bezpiecznych odległości stanowisk pracy od miejsc magazynowania materiałów, ogrodzeń i zabudowań,
  - niedostateczne oświetlenie placu budowy i stanowisk pracy.
- $o_{13}$  – niewłaściwa koordynacja prac zbiorowych, tzn.:
- niewłaściwe zaplanowanie w bliskim otoczeniu miejsc prowadzenia robót budowlanych przez różnych wykonawców,
  - brak upewnienia się przez pracowników o możliwości bezpiecznego uruchomienia maszyn bez zagrożenia dla innych osób z otoczenia i obsługi.
- $o_{14}$  – niewłaściwy dobór środków ochrony indywidualnej, a w szczególności:
- niewłaściwy dobór środków ochrony indywidualnej, tzn. dobór nieuwzględniający prawidłowych warunków pracy na danym stanowisku, wymagań ergonomii pracy, a także niedopasowany do użytkownika,
  - zakup przez pracodawcę wyrobów o niskich cenach i złej jakości.
- $o_{15}$  – niewłaściwe polecenia przełożonych, a mianowicie:
- niezrozumiałe, niewłaściwe polecenia wydawane pracownikom przez przełożonych,
  - zlecenie pracownikom wykonywania prac, które mogą stwarzać bezpośrednio niebezpieczeństwo dla pracownika oraz jego otoczenia, np. zlecenie wykonania prac na rusztowaniu, które nie zostało wcześniej odebrane i dopuszczone do eksploatacji.
- $o_{16}$  – wykonywanie pracy w zbyt małej obsadzie osobowej, a w szczególności wykonywanie robót samodzielnie mimo zaliczenia wykonywanych prac do robót przy których istnieje ryzyko wystąpienia szczególnego zagrożenia dla zdrowia lub życia ludzkiego i wymagających wykonywania ich przez co najmniej dwie osoby. Do takich robót zalicza się m.in. prace wykonywane na wysokości powyżej 2 m w przypadkach, w których wymagane jest stosowanie środków ochrony indywidualnej chroniących przed upadkiem z wysokości.

Na rysunku 8.23 pokazano wykres słupkowy zidentyfikowanych przyczyn organizacyjnych uszeregowanych od maksimum do minimum (tzw. wykres Pareto) oraz skumulowany procentowy udział kolejnych przyczyn (w postaci tzw. krzywej Lorenza).

Największe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy mają przyczyny oznaczone literą A. Stanowią one 77% wszystkich stwierdzonych przyczyn technicznych. Są to przyczyny oznaczone w tabeli 8.36 jako:  $o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6, o_7$ .





Rys. 8.23 Wykres Pareto-Lorenza dla przyczyn organizacyjnych (opracowanie własne)

### 8.5.3 Przyczyny ludzkie (L)

W tabeli 8.37 zamieszczono zidentyfikowane przyczyny ludzkie uszeregowane od maksimum do minimum, liczności wystąpień poszczególnych przyczyn, udział procentowy poszczególnych przyczyn oraz skumulowany udział następujących kolejno przyczyn, a także klasyfikację ważności przyczyn.

Tabela 8.37 Zbiory przyczyn ludzkich

Przyczyny Ludzkie (L) $L = \{l_\gamma: \gamma = 1, \dots, \Gamma\}$		Liczność wystąpień $a_x$	Udział $u_x[\%]$	Skumulowany udział $S_x[\%]$	Klasa ważności przyczyny
$l_1$	Nieuzywanie przez pracownika środków ochrony indywidualnej	27	25%	25%	A
$l_2$	Lekceważenie zagrożenia (brawura, ryzykanctwo)	17	16%	42%	A
$l_3$	Przechodzenie, przejeżdżanie lub przebywanie w miejscach niedozwolonych	14	13%	55%	A
$l_4$	Spożycie alkoholu, środków odurzających lub substancji psychotropowych	10	9%	64%	A
$l_5$	Niedostateczna koncentracja uwagi na wykonywanej czynności	8	8%	72%	A
$l_6$	Wykonywanie pracy nie wchodzącej w zakres obowiązków pracownika	6	6%	77%	A
$l_7$	Zaskoczenie niespodziewanym zdarzeniem	5	5%	82%	A
$l_8$	Nieznajomość przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy	4	4%	86%	B
$l_9$	Wejście, wjechanie na obszar zagrożony bez upewnienia się, czy nie ma niebezpieczeństwa	3	3%	89%	B
$l_{10}$	Używanie nieodpowiedniego do danej pracy czynnika materialnego	2	2%	91%	B
$l_{11}$	Niewłaściwe operowanie kończynami w strefie zagrożenia	2	2%	92%	B
$l_{12}$	Nagłe zachorowanie, niedyspozycja fizyczna	2	2%	94%	B
$l_{13}$	Nieuzywanie przez pracownika środków ochrony zbiorowej	1	1%	95%	B

$l_{14}$	Wykonywanie czynności bez usunięcia zagrożenia (np. niewyłączenie maszyny, niewyłączenie napięcia)	1	1%	96%	C
$l_{15}$	Zmęczenie	1	1%	97%	C
$l_{16}$	Nieznajomość zagrożenia	1	1%	98%	C
$l_{17}$	Niewłaściwe tempo pracy	1	1%	99%	C
$l_{18}$	Brak doświadczenia	1	1%	100%	C

W analizowanej grupie przyczyn stwierdzono łącznie 106 przyczyn o charakterze ludzkim, a mianowicie:

$l_1$  – nieużywanie przez pracownika środków ochrony indywidualnej, a w szczególności:

- wykonywanie prac w obuwiu sportowym typu Adidas mimo wyposażenia pracownika przez pracodawcę w środki ochrony indywidualnej,
- wykonywanie prac na wysokości bez użycia sprzętu zabezpieczającego przed upadkiem z wysokości, m.in. szelek bezpieczeństwa.

$l_2$  – lekceważenie zagrożenia (brawura, ryzykanctwo), a mianowicie:

- samowolne odpięcie linki bezpieczeństwa od punktu stałego zabezpieczającego przed upadkiem z wysokości,
- samowolne usunięcie przez poszkodowanego zamontowanym zabezpieczeń, środków ochrony zbiorowej,
- lekceważenie i nieprzestrzeganie przez poszkodowanego instrukcji bezpieczeństwa obowiązujących w przedsiębiorstwie.

$l_3$  – przechodzenie, przejeżdżanie lub przebywanie w miejscach niedozwolonych, w szczególności:

- poruszanie się i przebywanie poszkodowanego w okolicy nieosłoniętych otworów technologicznych, w strefach niebezpiecznych,
- poruszanie się poszkodowanego poza obrysem rusztowania, np. schodzenie z rusztowania po zewnętrznej części konstrukcji rusztowania z pominięciem prawidłowo zamontowanego pionu komunikacyjnego.

$l_4$  – spożywanie alkoholu, środków odurzających lub substancji psychotropowych wywołujących niewłaściwy stan psychofizyczny poszkodowanego. W wielu przypadkach poszkodowani w trakcie wypadku byli pod wpływem alkoholu.

$l_5$  – niedostateczna koncentracja uwagi na wykonywanej czynności, np. podczas poruszania się po rusztowaniu, w trakcie wchodzenia/schodzenia po drabinie, nieuwaga poszkodowanego spowodowana niewłaściwym tempem pracy.

$l_6$  – wykonywanie pracy nie wchodzącej w zakres obowiązków pracownika, a w szczególności:

- wykonywanie prac przez poszkodowanych mimo wydanego przez kierownika budowy lub inspektora ds. bhp nakazu wstrzymania prac do czasu wykonania zabezpieczenia,
- samowolne, bez otrzymania polecenia od przełożonego, wejście poszkodowanego do pomieszczenia, na dach, na rusztowanie gdzie nie były planowane prace budowlane.

$l_7$  – zaskoczenie niespodziewanym zdarzeniem, brak szybkiej reakcji na zdarzenie.

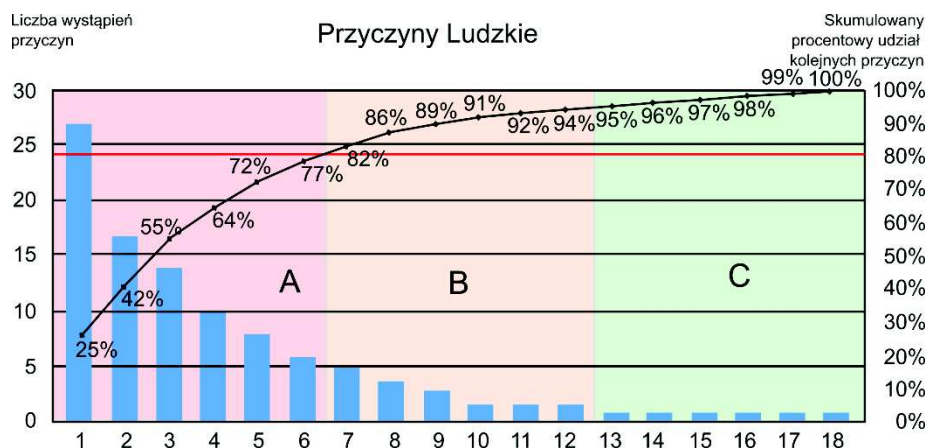
$l_8$  – nieznajomość przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy wynikająca z:

- braku zapoznania pracowników z obowiązującymi przepisami i zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy w przedsiębiorstwie,

- niewystarczającego poinformowania pracowników o zagrożeniach na stanowisku pracy.
- $l_9$  – wejście, wjechanie na obszar zagrożony bez upewnienia się, czy nie ma niebezpieczeństwa, np. wejście uszkodzonego w strefę niebezpieczną w okolicach niezabezpieczonego otworu technologicznego, szybu windowego bez uprzedniego sprawdzenia czy zastosowano odpowiednie środki ochrony.
- $l_{10}$  – używanie nieodpowiedniego do danej pracy czynnika materialnego, np.:
- wykonywanie prac na wysokości z niezabezpieczonej krawędzi dachu lub balkonu, zamiast z rusztowania zmontowanego w tym celu,
  - wykonywanie prac z innego niż wskazane przez pracodawcę rusztowania, np. prowadzenie prac z rusztowania systemowego, zamiast rusztowania typu warszawskiego.
- $l_{11}$  – niewłaściwe operowanie kończynami w strefie zagrożenia, np.: znaczne wychylenie się pracownika poza obrys pomostu roboczego lub konieczność wejścia na barierkę ochronną.
- $l_{12}$  – nagłe zachorowanie, niedyspozycja fizyczna.
- $l_{13}$  – nieużywanie przez pracownika środków ochrony zbiorowej, np. rusztowań ochronnych wykorzystywanych na budowie jako środek ochrony zbiorowej służący do zabezpieczenia przed upadkiem z wysokości ludzi oraz przedmiotów. W takim przypadku rusztowanie pełni funkcję konstrukcji zabezpieczającej pracowników wykonujących danej obiekt budowlany, a nie jako środek umożliwiający wykonywanie na nim prac.
- $l_{14}$  – wykonywanie czynności bez usunięcia zagrożenia, np. brak blokady kół w przypadku rusztowań przejezdnych.
- $l_{15}$  – zmęczenie uszkodzonego spowodowane m.in.:
- wzmocnionym wysiłkiem,
  - zbyt długim czasem pracy, przekraczającym normowy czas pracy,
  - pracą zmianową,
  - zbyt krótkim czasem przerw na regenerację.
- $l_{16}$  – nieznanostwo zagrożenia wynikająca z niewystarczającego poinformowania lub nie zapoznania pracowników z ryzykiem zawodowym i zagrożeniami związanymi z wykonywaną pracą.
- $l_{17}$  – niewłaściwe tempo pracy, nieuwaga uszkodzonego spowodowana niewłaściwym tempem pracy.
- $l_{18}$  – brak doświadczenia uszkodzonego.

Na rysunku 8.24 pokazano wykres słupkowy zidentyfikowanych przyczyn ludzkich uszeregowanych od maksimum do minimum (tzw. wykres Pareto) oraz skumulowany procentowy udział kolejnych przyczyn (w postaci tzw. krzywej Lorenza).

Największe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy mają przyczyny oznaczone literą A. Stanowią one 77% wszystkich stwierdzonych przyczyn technicznych. Są to przyczyny oznaczone w tabeli 8.37 jako:  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $l_5$ ,  $l_6$ .



Rys. 8.24 Wykres Pareto-Lorenza dla przyczyn ludzkich (opracowanie własne)

### 8.5.4 Wnioski

Analiza przyczyn wypadków pozwoliła na określenie ważności poszczególnych przyczyn wypadków i wyłonienie przyczyn o największym znaczeniu dla bezpieczeństwa pracy podczas prac na wysokości. Były to:

- w grupie przyczyn technicznych:
  - ✓ brak środków ochrony zbiorowej,
  - ✓ zastosowanie niewłaściwych urządzeń zabezpieczających krawędzie stropów, dachów, powierzchni na wysokości, otworów w stropach, otworów okiennych i drzwiowych,
  - ✓ nieprawidłowe wykonanie pomostów roboczych oraz rusztowań,
  - ✓ niewłaściwa struktura przestrzenna czynnika materialnego, którym najczęściej były źle wykonane rusztowania i drabiny,
- w grupie przyczyn organizacyjnych to przede wszystkim: brak nadzoru, tolerowanie przez osoby sprawujące nadzór, odstępstw od przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, dopuszczenie do pracy pracownika z przeciwwskazaniami lekarskimi lub bez badań lekarskich, brak lub niewłaściwe przeszkolenie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, niedostateczne przygotowanie zawodowe pracownika, nieodpowiednie przejścia i dojścia, brak instrukcji bezpiecznego wykonywania robót budowlanych, niezapoznanie pracowników z zagrożeniami,
- w grupie przyczyn ludzkich: nieużywanie przez pracownika środków ochrony indywidualnej, lekceważenie zagrożenia, przechodzenie, przejeżdżanie lub przebywanie w miejscach niedozwolonych, spożywanie alkoholu, środków odurzających lub substancji psychotropowych, niedostateczna koncentracja uwagi na wykonywanej czynności, wykonywanie pracy nie wchodzącej w zakres obowiązków pracownika.

## 8.6 Profil zawodowy osoby poszkodowanej

Szczegółowa analiza profilu zawodowego osób poszkodowanych w budownictwie została przeprowadzona na podstawie danych o 485 osobach. W poniższych podrozdziałach przedstawiono analizę poszczególnych cech jednostkowych opisujących poszkodowanych pracowników, a mianowicie:

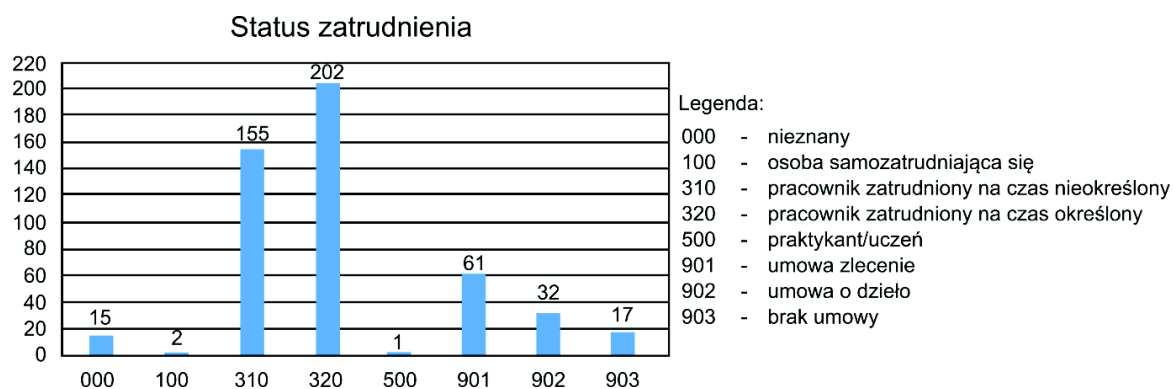
- status zatrudnienia,
- zawód wykonywany przez osobę poszkodowaną,
- staż pracy,
- wiek poszkodowanego,
- przygotowanie pracownika do wykonywania obowiązków na stanowisku pracy.

### 8.6.1 Status zatrudnienia $v_1$

Zgodnie z obowiązującym polskim prawem praca zarobkowa może być wykonywana w różnych formach zatrudnienia. Rozróżniamy zatrudnienie w ramach:

- kodeksu pracy - na warunkach zatrudnienia na podstawie stosunku pracy, zgodnie z *Ustawą z 26 czerwca 1974 Kodeks pracy* (Dz.U. 1974 Nr 24 poz. 141, z późn. zm.) (U3): umowa o pracę na czas określony lub nieokreślony, w pełnym lub niepełnym wymiarze czasu pracy,
- umów prawa cywilnego – na warunkach określonych w *Ustawie z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny* (Dz. U. 1964 Nr 16 poz. 93, z późn. zm.) (U9): umowa zlecenie, umowa o dzieło,
- umów o praktykach absolwenckich – na warunkach określonych w *Ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o praktykach absolwenckich* (Dz. U. 2009 Nr 127 poz. 1052, z późn. zm.) (U10),
- samozatrudnienia – na warunkach określonych w *Ustawie z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej* (Dz. U. 2010 Nr 220 poz. 1447, z późn. zm.) (U8).

Na rysunku 8.25 przedstawiono liczby osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie w zależności od ich statusu zatrudnienia.



Rys. 8.25 Status zatrudnienia poszkodowanych w wypadkach (opracowanie własne)

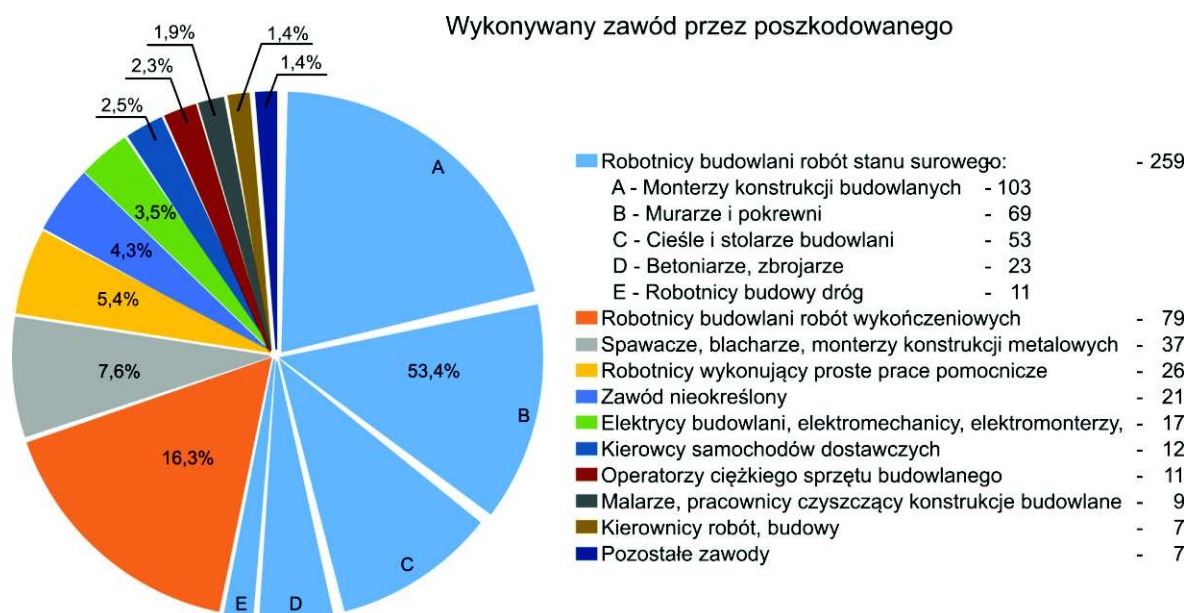
Przeprowadzona analiza wykazała że:

- 357 osób zatrudnionych było na umowę o pracę. Na tę liczbę składa się 202 pracowników zatrudnionych na czas określony oraz 155 pracowników zatrudnionych na czas nieokreślony,
- 93 osoby zatrudnione były na umowy cywilno-prawne, tzn. na umowę zlecenie: 61 osób oraz umowę o dzieło 32 osoby,
- 17 osób wykonywało pracę na rzecz kontrolowanego podmiotu pomimo braku prawnej formy zatrudnienia,
- w wypadkach brały udział 2 osoby samozatrudniające się, prowadzące własną działalność,
- 1 osoba odbywająca praktykę zawodową,
- dla pozostałych 15 poszkodowanych nie określono charakteru zatrudnienia w Protokołach Kontroli.

### 8.6.2 Zawód wykonywany przez poszkodowanego z<sub>1</sub>

Przy wykonywaniu robót budowlanych zatrudniane są osoby o następujących zawodach: robotnicy robót stanu surowego, robotnicy budowlani robót wykończeniowych, spawacze, blacharze, monterzy konstrukcji metalowych, robotnicy wykonujący proste prace pomocnicze, elektrycy budowlani, elektromechanicy, elektromonterzy, kierowcy samochodów, operatorzy sprzętu budowlanego, malarze, kierownicy robót i inni.

Na rysunku 8.26 przedstawiono w ujęciu procentowym liczbę osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie według wykonywanego zawodu.



Rysunek 8.26 Zawód wykonywany przez poszkodowanego (opracowanie własne)

Z rysunku tego wynika, że:

- najwięcej wypadków zdarza się wśród osób wykonujących roboty stanu surowego, którzy stanowią 53,4% wszystkich poszkodowanych w wypadkach. Do tej grupy



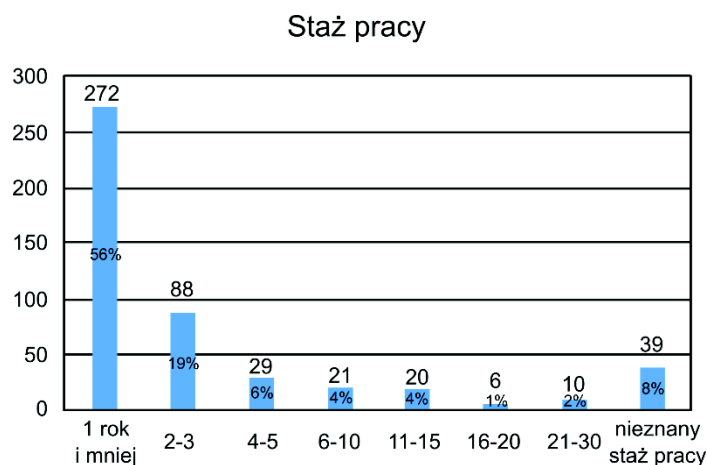
zaliczamy m.in.: monterów konstrukcji budowlanych – 135 osoby poszkodowane, murarzy – 69 osób, cieśli – 53 osoby, zbrojarzy i betoniarzy – 23 osoby, robotników budowy dróg – 11 osób. Wśród tych zawodów najczęściej poszkodowanymi osobami byli monterzy konstrukcji budowlanych,

- robotnicy budowlani robót wykończeniowych, m.in. hydraulicy i monterzy rurociągów, dekarze, tynkarze, posadzkarze, monterzy instalacji klimatyzacyjnych i chłodniczych stanowią 16,3% ogólnej liczby poszkodowanych w wypadkach,
- następną w kolejności pod względem liczby osób poszkodowanych była grupa spawaczy, blacharzy oraz monterów konstrukcji metalowych, którzy stanowili 7,6% wszystkich poszkodowanych,
- robotnicy wykonujący proste prace pomocnicze stanowią 5,4%,
- pozostałe grupy zawodów stanowiły 13 % poszkodowanych,
- dla 4,3 % poszkodowanych nie określono wykonywanego zawodu.

### 8.6.3 Staż pracy $s_t$

W badaniach statystycznych, analizując staż pracy osób poszkodowanych, uwzględnia się następujące przedziały liczbowe: 1 rok i mniej, od 2 do 3 lat, od 4 do 5 lat, od 6 do 10 lat, od 11 do 15 lat, od 16 do 20 lat, od 21 do 30 lat 31 i więcej lat. Na rysunku 8.27 przedstawiono liczbę osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie w zależności od ich stażu pracy w przedsiębiorstwie. Z rysunku tego wynika, że:

- ponad 56% osób poszkodowanych zostało w wypadkach przy pracy w budownictwie, które wydarzyły się w pierwszym roku ich pracy na zajmowanym stanowisku pracy,
- 19% osób poszkodowanych zostało w wypadkach przy pracy w budownictwie, między drugim a trzecim rokiem pracy,
- 6% osób poszkodowanych zostało w wypadkach przy pracy w budownictwie między czwartym a piątym rokiem pracy,
- im dłuższy jest staż pracy na stanowisku pracy tym liczba wypadków jest mniejsza.

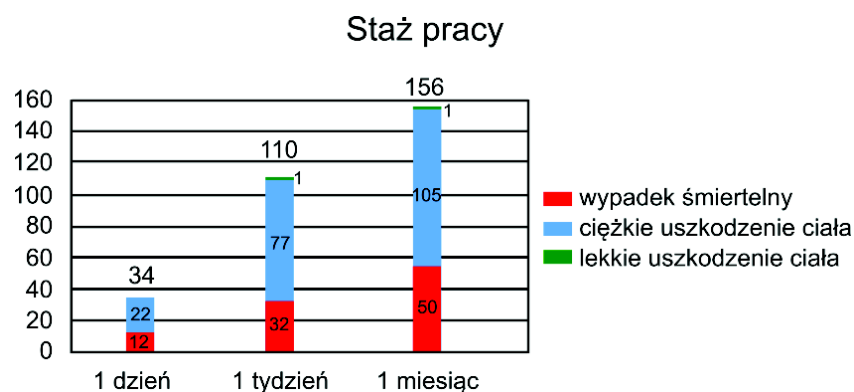


Rys. 8.27 Staż pracy osób poszkodowanych w wypadkach (opracowanie własne)

Szczegółowa analiza 272 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy o stażu pracy krótszym niż 1 rok wskazuje, że:

- aż 34 pracowników uległo wypadkowi w pierwszym dniu pracy co stanowiło 7,0% ogółu poszkodowanych. Wśród tych pracowników 12 osób poszkodowanych zostało śmiertelnie, a 22 osoby poszkodowane zostały ciężko,
- 110 osób, a więc 22,7% wszystkich poszkodowanych uległo wypadkowi w okresie pierwszego tygodnia pracy. W liczbie tej 32 osoby poszkodowane zostały ze skutkiem śmiertelnym, 77 osób odniosło ciężkie obrażenia ciała, natomiast 1 osoba odniosła lekkie obrażenia ciała,
- 156 osób zostało poszkodowanych w czasie pierwszego miesiąca pracy co stanowiło 32,2 % ogółu poszkodowanych. W tym: 50 osób śmiertelnie, 105 osób ciężko i 1 osoba lekko.

Powyższe dane przedstawiono na rysunku 8.28.



Rysunek 8.28 Staż pracy (opracowanie własne)

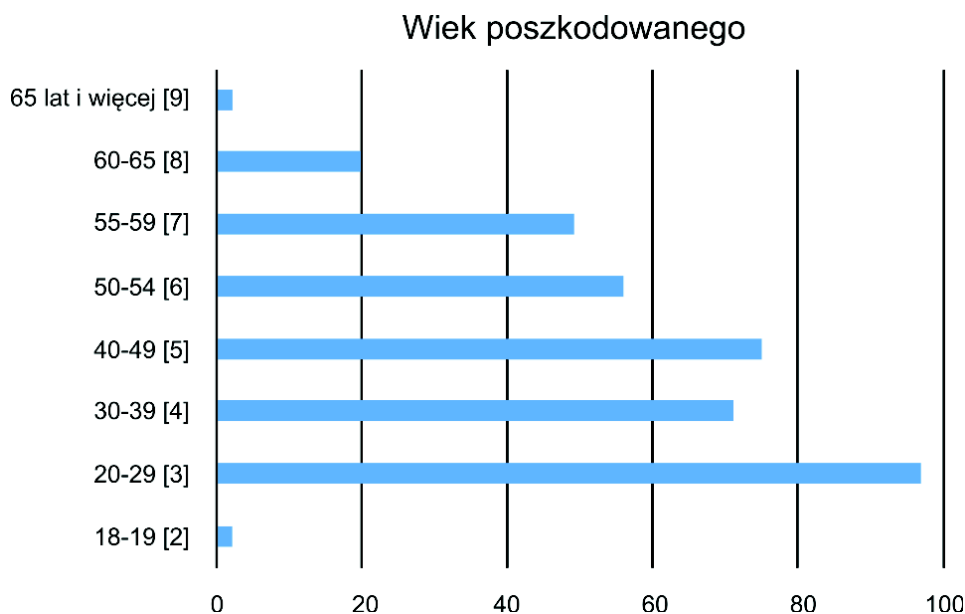
#### 8.6.4 Wiek poszkodowanego $y_l$

Analiza struktury wieku osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy przeprowadzona została na próbie 372 osób. Zmniejszenie liczebności próby poddanej badaniom wynika z faktu, że dla 113 poszkodowanych osób inspektorzy pracy nie wskazali szczegółowych danych o jej wieku. W związku z tym dane te nie zostały uwzględnione w tej analizie.

Struktura wieku osób poszkodowanych została przedstawiona na rysunku 8.29 i jest ona następująca:

- najliczniejszą grupę osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie stanowiły osoby w wieku od 20 do 29 lat. Liczba tych osób wynosiła 97, a ich udział w ogólnej liczbie poszkodowanych wynosił ponad 26%. Z otrzymanych danych statystycznych wynika, że w co czwartym wypadku poszkodowana została osoba, która nie ukończyła 30 roku życia,
- na drugim miejscu znajduje się grupa osób w wieku 40-49 lat. Udział tej grupy w ogólnej liczbie osób poszkodowanych wynosił ponad 20% przy liczbie poszkodowanych wynoszącej 75,

- na trzecim miejscu jest grupa osób w wieku 30-39 lat, które stanowiły 19% wszystkich poszkodowanych,
- dla kolejnych przedziałów wiekowych zauważyć można malejącą liczbę osób poszkodowanych.



Rys. 8.29 Struktura wieku osób poszkodowanych (opracowanie własne)

### 8.6.5 Przygotowanie pracownika do wykonywania pracy $p_{i,l}$

Podstawowym obowiązkiem pracodawcy wynikającym z *Ustawy z 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy* (Dz.U. 1974 Nr 24 poz. 141, z późn. zm.) jest:

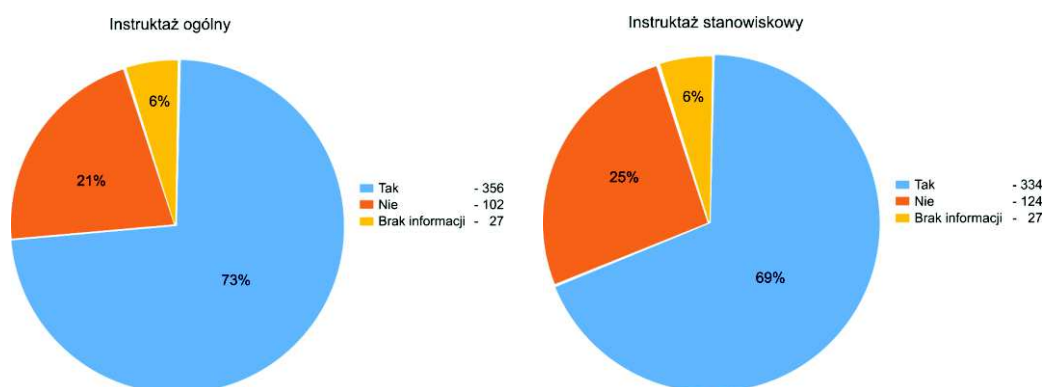
- przeszkolenie pracowników w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy,
- skierowanie pracownika na badania lekarskie.

Dopuszczenie pracownika do pracy, bez przeszkolenia w zakresie bezpieczeństwa pracy oraz bez aktualnego orzeczenia lekarskiego stwierdzającego brak przeciwwskazań do pracy na określonym stanowisku pracy, jest niedopuszczalne.

Przed dopuszczeniem pracownika do pracy pracodawca przeprowadza szkolenie wstępne w zakresie bhp oraz instruktaż ogólny i stanowiskowy. Pracodawca ma również obowiązek prowadzenia szkoleń okresowych, odbywających się w czasie trwania zatrudnienia o częstotliwości zależnej od rodzaju i warunków istniejących na stanowisku pracy. Celem tych szkoleń jest przekazanie pracownikom niezbędnej wiedzy do wykonywania pracy z uwzględnieniem przepisów i zasad bezpieczeństwa.

Analizy Protokołów Kontroli wykazały, że prowadzenie szkoleń wstępnych przed dopuszczeniem pracowników do pracy, tzn. w pierwszym dniu zatrudnienia, w wielu przedsiębiorstwach budowlanych nie jest regułą. Na rysunku 8.30 przedstawiono procentowy udział osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy, w aspekcie przeprowadzonego instruktażu ogólnego i wstępnego. Z rysunków tych wynika, że co czwarty poszkodowany w wypadku przy pracy w budownictwie nie został poddany tym szkoleniom. Przeprowadzona analiza przygotowania pracowników do wykonywania pracy wykazała że:

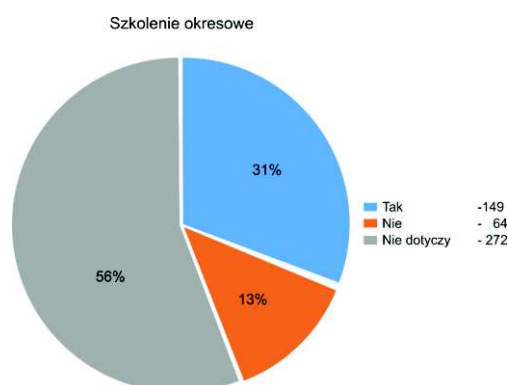
- brak znajomości ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy wynikających z Kodeksu Pracy, obowiązujących w regulaminach pracy oraz zasad udzielania pierwszej pomocy wystąpił wśród 102 osób, co stanowiło 21% wszystkich osób poszkodowanych,
- 124 osoby, czyli ponad 25% wszystkich poszkodowanych, nie zostało zapoznanych z zagrożeniami występującymi na stanowisku pracy, sposobami ochrony przed zagrożeniami oraz metodami bezpiecznego wykonywania pracy.



Rys. 8.30 Przygotowanie poszkodowanych do pracy: szkolenie wstępne (opracowanie własne)

Celem szkolenia okresowego jest przypomnienie i ugruntowanie wiedzy z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy. W budownictwie, z uwagi na rodzaj wykonywanej pracy, pracownicy zatrudnieni na stanowiskach robotniczych, na których wykonywane są prace szczególnie niebezpieczne o dużym zagrożeniu dla zdrowia i życia powinny być poddawani szkoleniom okresowym nie rzadziej niż raz na 12 miesięcy, co wynika z *Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy* (Dz. U. 2003 Nr 169, poz. 1650) (R5).

Na rysunku 8.31 przedstawiono udział procentowy osób poszkodowanych w wypadkach w aspekcie szkoleń okresowych.



Rys.8.31 Przygotowanie pracownika do pracy: szkolenie okresowe (opracowanie własne)

Osoby poszkodowane, które uległy wypadkowi w czasie krótszym niż 1 rok nie miały obowiązku odbycia szkolenia okresowego. Liczba takich osób wyniosła 272, co stanowiło 56%

wszystkich osób poszkodowanych. Pozostałe 213 osób powinno odbyć szkolenie okresowe. Analiza tej grupy osób wskazuje, że 13% poszkodowanych, tzn. 64 osoby, nie zostały poddane obowiązkowemu szkoleniu okresowemu.

Przygotowanie pracownika do pracy dotyczy również profilaktycznej ochrony zdrowia, tzn. badań lekarskich. Badanie profilaktyczne dopuszczające pracownika do pracy kończy się uzyskaniem orzeczenia lekarskiego stwierdzającego brak przeciwwskazań zdrowotnych do pracy na określonym stanowisku pracy. Z uwagi na specyfikę branży budowlanej, w wielu przypadkach, konieczne jest również uzyskanie orzeczenia lekarskiego o zdolności pracownika do pracy na wysokości powyżej 3 m. Na rysunku 8.32 przedstawiono udział procentowy osób poszkodowanych w wypadkach w aspekcie badań lekarskich dopuszczających do wykonywania pracy na stanowisku pracy.



Rys. 8.32 Przygotowanie pracownika do pracy: orzeczenie lekarskie (opracowanie własne)

Z rysunku 8.32 wynika, że:

- tylko 63% osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy miało aktualne orzeczenie lekarskie zezwalające na pracę na określonym stanowisku pracy,
- 30% osób takiego orzeczenia nie miało w związku z czym nie powinno być dopuszczone do pracy,
- w stosunku do 7% poszkodowanych w Protokołach Kontroli nie zawarto informacji na temat badań lekarskich.

## 8.7 Zdefiniowanie profilu zawodowego pracownika ulegającego wypadkom przy wykorzystaniu analizy skupień

Na podstawie danych zawartych w Informatycznej Bazie Danych, przeprowadzono analizę skupień na zbiorze 361 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie. Zawarte w IBD dane poddano wstępnej weryfikacji polegającej na:

- wytypowaniu zmiennych niezależnych opisujących osoby,
- zakwalifikowanie zdefiniowanych zmiennych do jakościowych lub ilościowych,
- eliminacji osób, dla których nie było pełnych informacji w zakresie opisujących zmiennych.

Zmiennymi jakościowymi opisującymi osoby poszkodowane w budownictwie były: status zatrudnienia, zawód wykonywany przez poszkodowanego, przygotowanie do pracy w zakresie instruktażu ogólnego, instruktażu stanowiskowego, szkoleń okresowych oraz badań

lekarskich. Do grupy zmiennych ilościowych zaliczono: wiek poszkodowanego oraz staż pracy poszkodowanego na stanowisku pracy.

Analiza skupień jest bardzo wrażliwa na przypadki odstające, niekompletnie opisane, tzn. niejednoznacznie określone. W związku z tym ze zbioru analizowanych osób odrzucono osoby, dla których nie był znany wiek poszkodowanego bądź staż pracy. W przypadku wieku odrzucono 113 osób poszkodowanych, natomiast w przypadku stażu pracy na stanowisku pracy odrzucono 39 osób poszkodowanych. W 28 przypadkach obie informacje o poszkodowanym nie były znane, dlatego ostatecznie analiza została przeprowadzona dla 361 poszkodowanych osób.

Zgodnie z przedstawioną w pkt. 7.4 metodyką wyznaczenia liczby skupień użyto programu STATISTICA.13 oraz algorytmu wykorzystującego metodę *k-średnich* oraz *v-krotnego sprawdzianu krzyżowego*.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano 3 skupienia. Na rysunkach 8.33 - 8.38 przedstawiono wykresy licznosci zmiennych jakościowych w poszczególnych skupieniach. Na rysunku 8.39 przedstawiono histogram dla zmiennej, którą jest wiek osoby poszkodowanej, natomiast na rysunku 8.40 przedstawiono gęstość prawdopodobieństwa dla zmiennej, którą jest wiek osoby poszkodowanej. Z kolei, na rysunku 8.41 przedstawiono gęstość prawdopodobieństwa zmiennej ilościowej: staż pracy poszkodowanego w poszczególnych skupieniach.

Przykładowo z rysunku 8.33 wynika, że:

- w skupieniu 1 najliczniejszą grupę pracowników poszkodowanych w wypadkach przy pracy stanowią osoby zatrudnione na czas określony w pełnym wymiarze godzin. Liczba ta wynosi 27 osób,
- w skupieniu 2 najliczniejszą grupę pracowników poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie stanowią pracownicy zatrudnieni na czas określony w pełnym wymiarze czasu pracy. Liczba ta wynosi 109 osób,
- w skupieniu 3 najliczniejszą grupę osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy stanowią pracownicy zatrudnieni na czas nieokreślony w pełnym wymiarze czasu pracy. Liczba ta wynosi 89 osób.

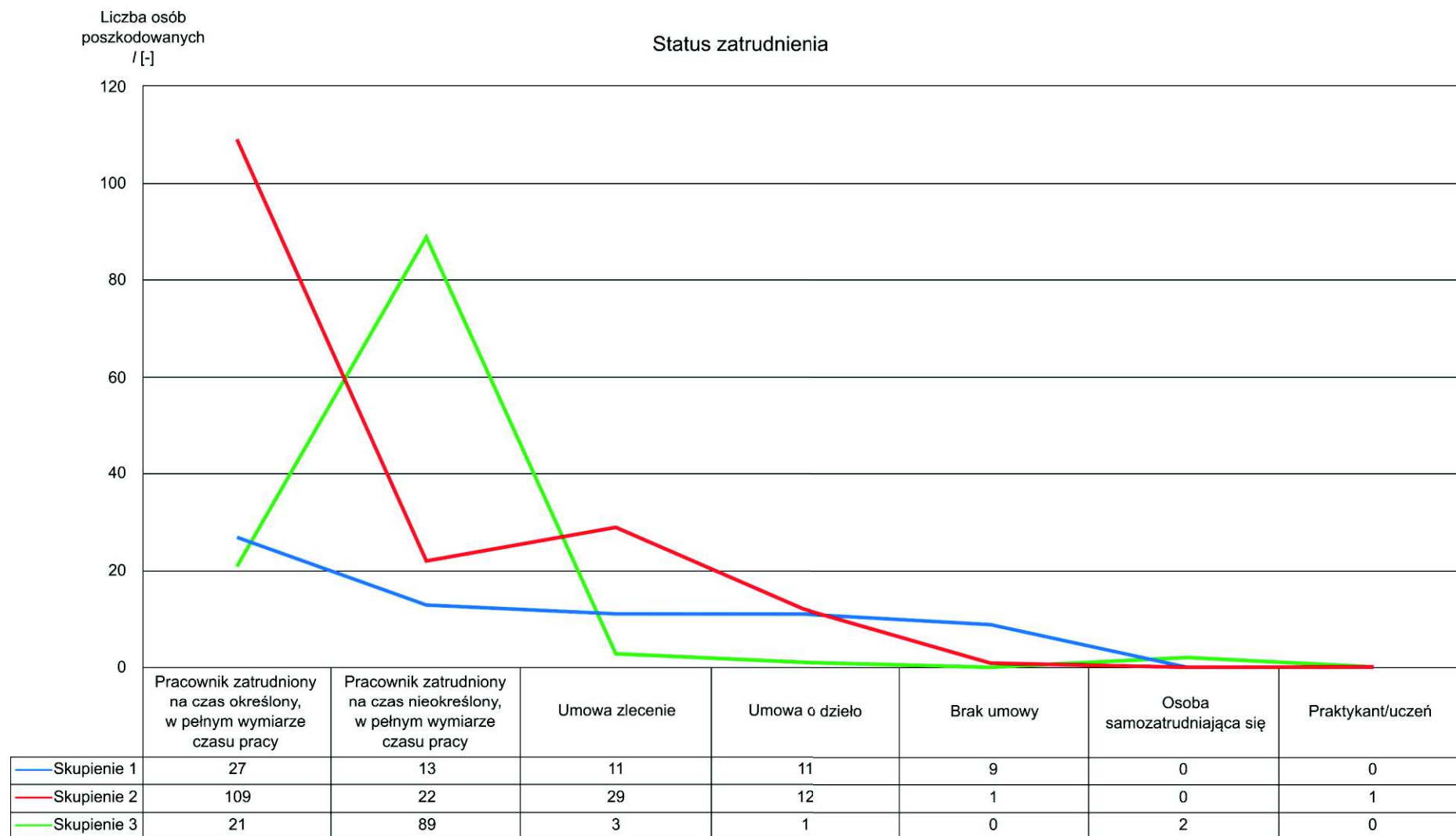
Z kolei z rysunku 8.34 wynika, że najliczniejszym zawodem wśród osób poszkodowanych są:

- w skupieniu 1 są robotnicy budowlani robót stanu surowego. Liczba ta wynosi 37 osób,
- w skupieniu 2 są robotnicy budowlani robót stanu surowego. Liczba ta wynosi 107 osób,
- w skupieniu 3 są robotnicy budowlani robót stanu surowego. Liczba ta wynosi 50 osób.

Jeżeli chodzi o wiek osoby poszkodowanej w wypadku przy pracy w budownictwie, przedstawiony na rysunku 8.39, to najliczniejszą grupą w:

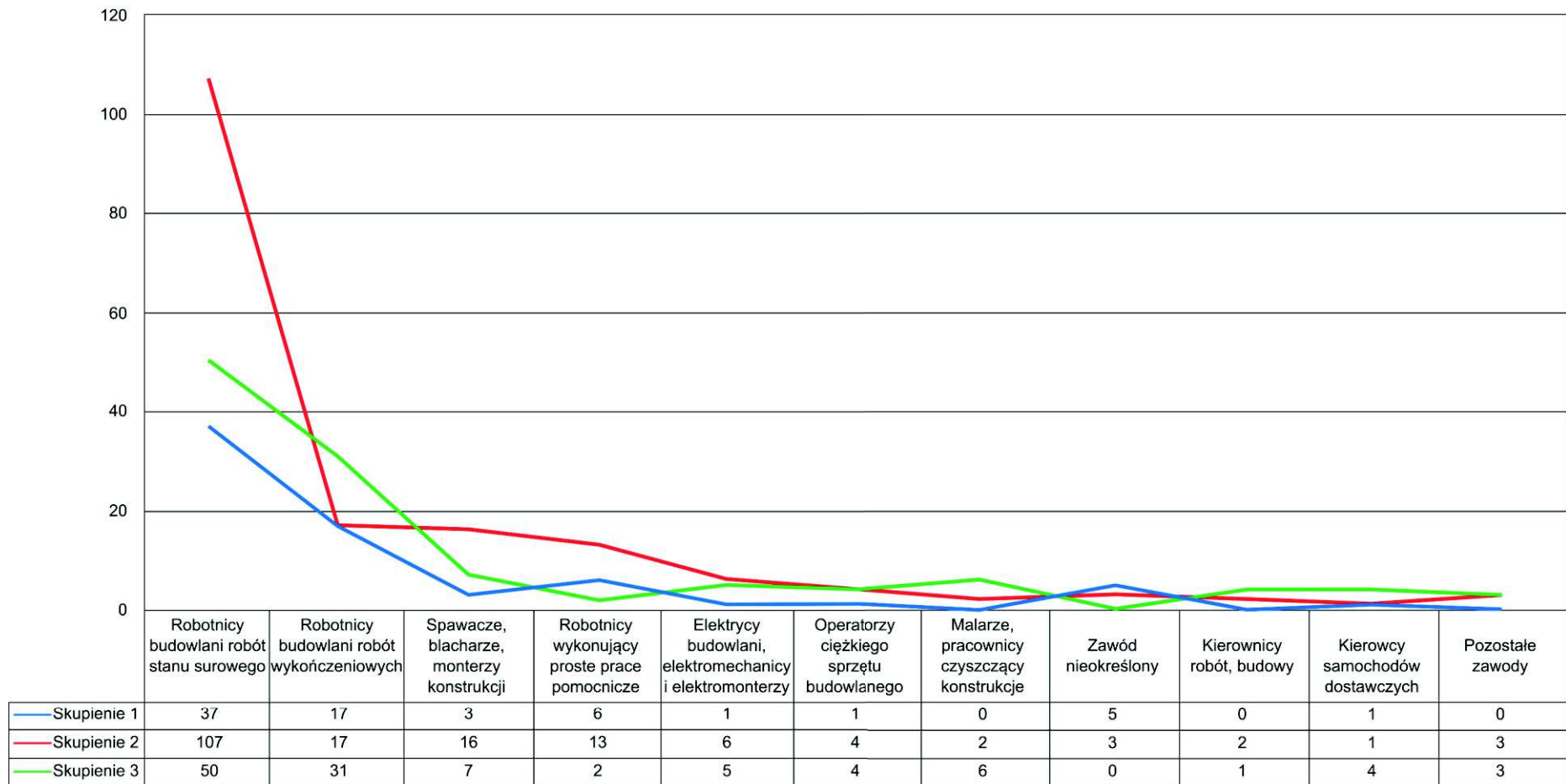
- w skupieniu 1 są pracownicy w wieku 20-29 lat. Ich liczba wynosi 20 osób,
- w skupieniu 2 są pracownicy w wieku 20-29 lat. Ich liczba wynosi 64 osoby,
- w skupieniu 3 są pracownicy w wieku 50-54 lata. Ich liczba wynosi 32 osoby.



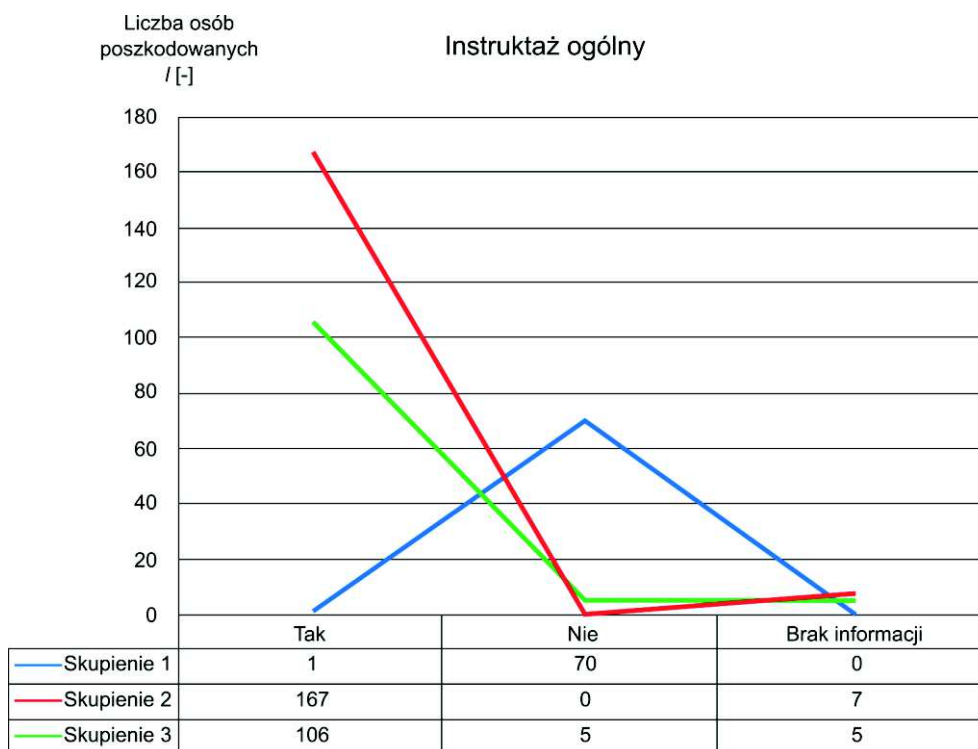
Rys. 8.33 Wykres liczości zmiennej jakościowej: status zatrudnienia  $v_l$  (opracowanie własne)

Liczba osób  
poszkodowanych  
/ [-]

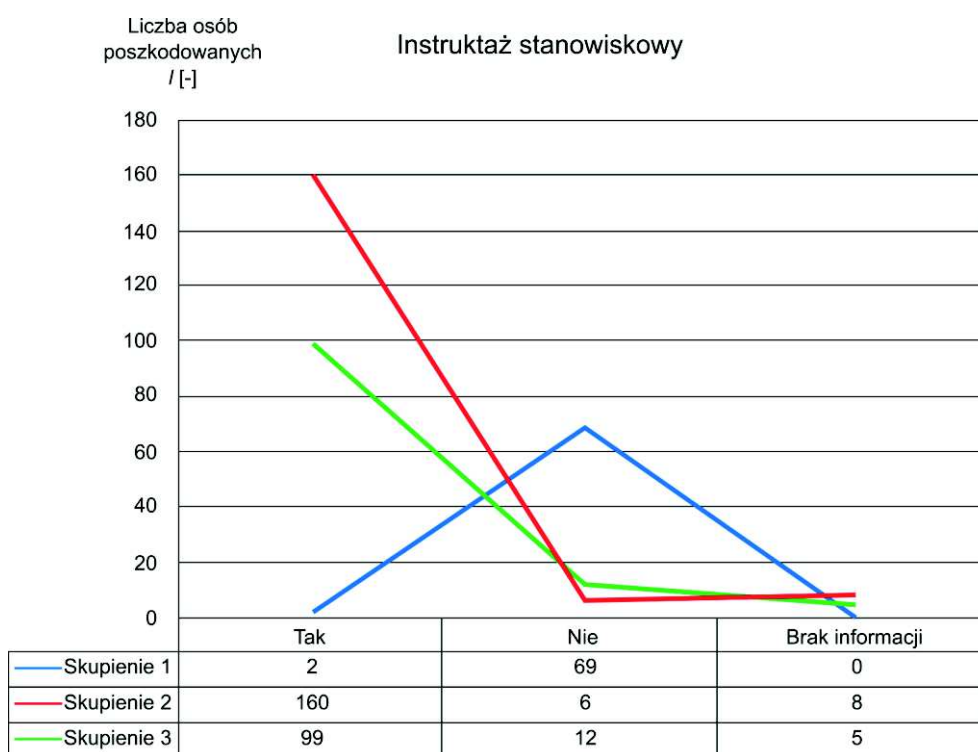
Zawód wykonywany przez poszkodowanego



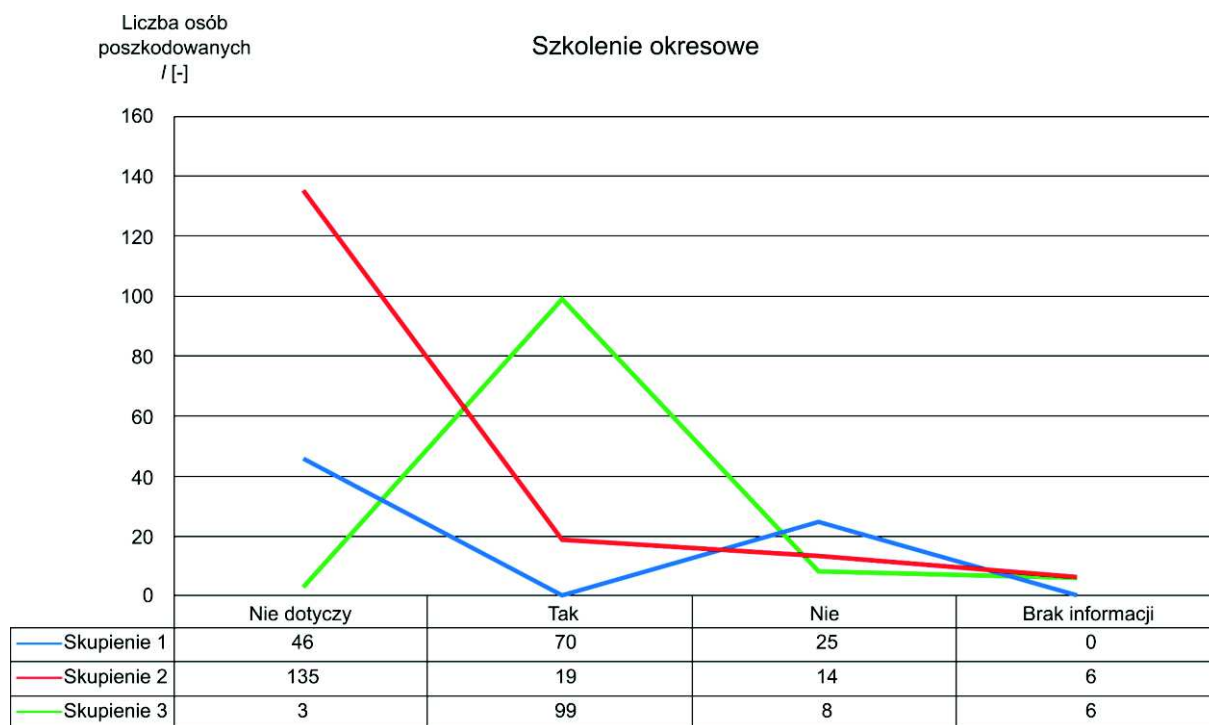
Rys. 8.34 Wykres licznosci zmiennej jakościowej: zawód wykonywany przez poszkodowanego z<sub>l</sub> (opracowanie własne)



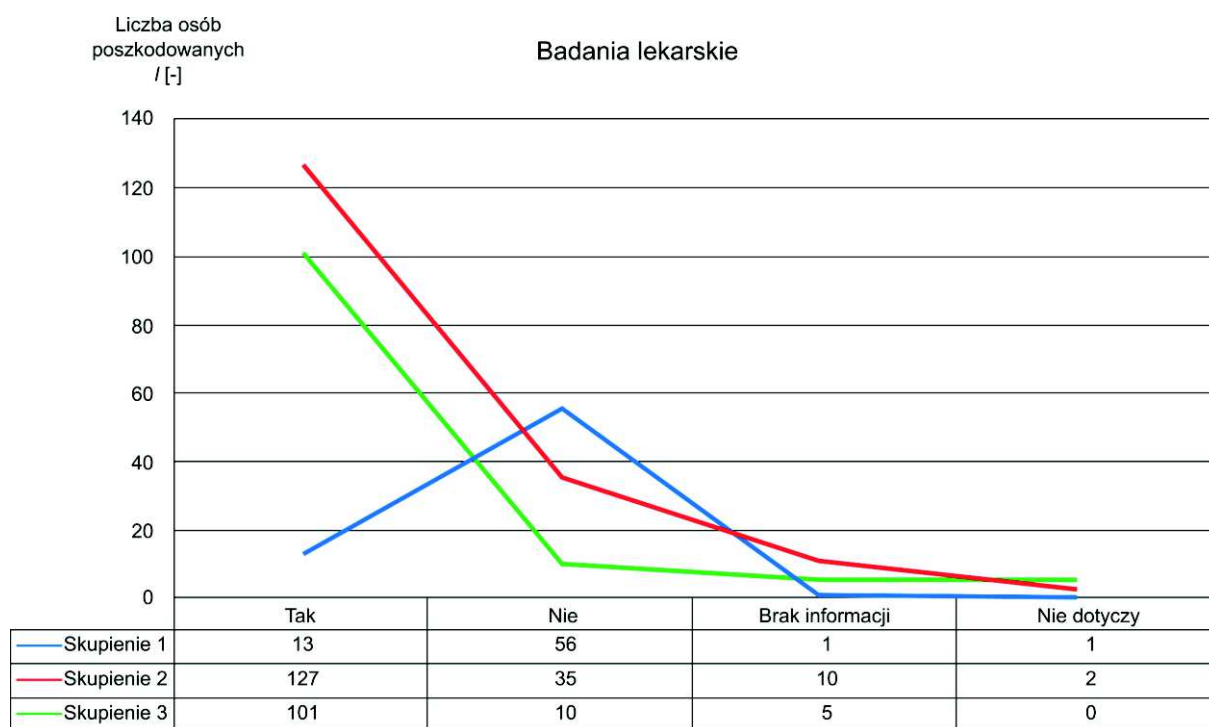
Rys. 8.35 Wykres licznosci zmiennej jakościowej: instruktaż ogólny  $p_{1,t}$  (opracowanie własne)



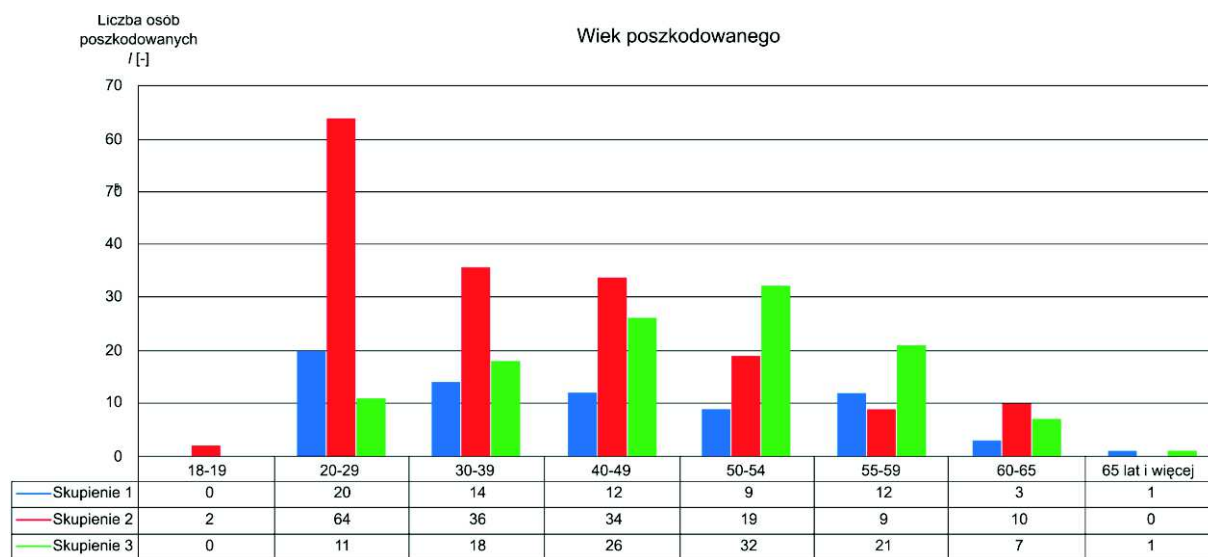
Rys. 8.36 Wykres licznosci zmiennej jakościowej: instruktaż stanowiskowy  $p_{2,t}$  (opracowanie własne)



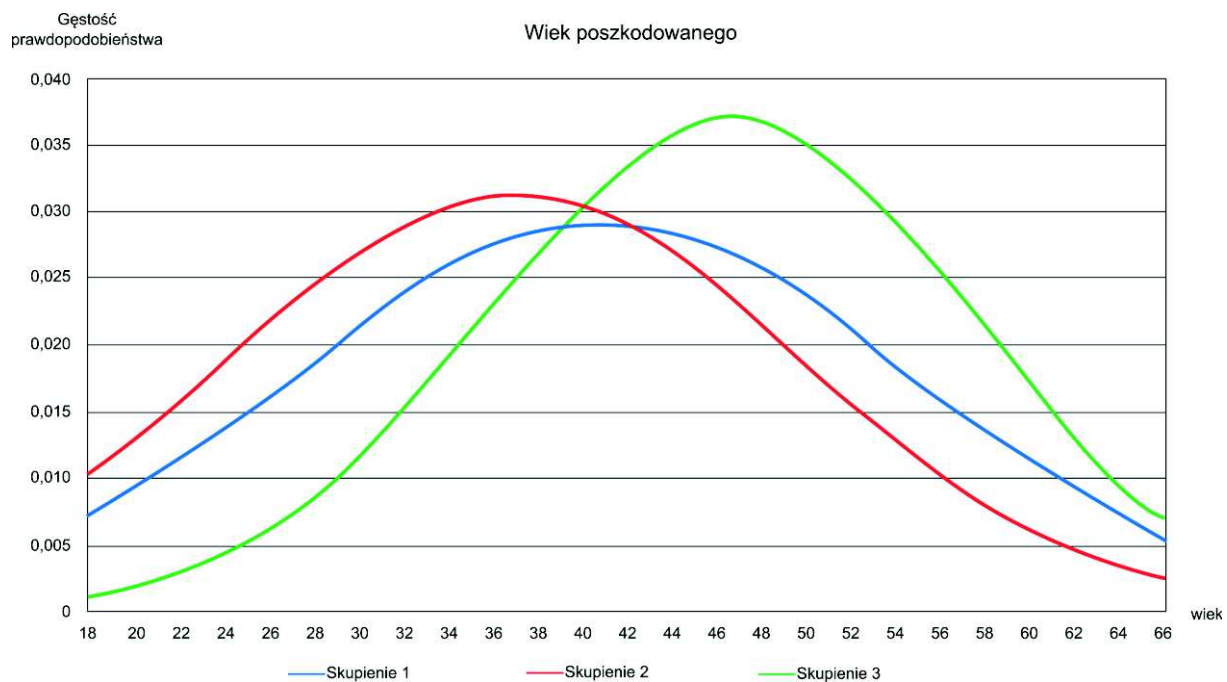
Rys. 8.37 Wykres licznosci zmiennej jakościowej: szkolenie okresowe  $p_{3,l}$   
(opracowanie własne)



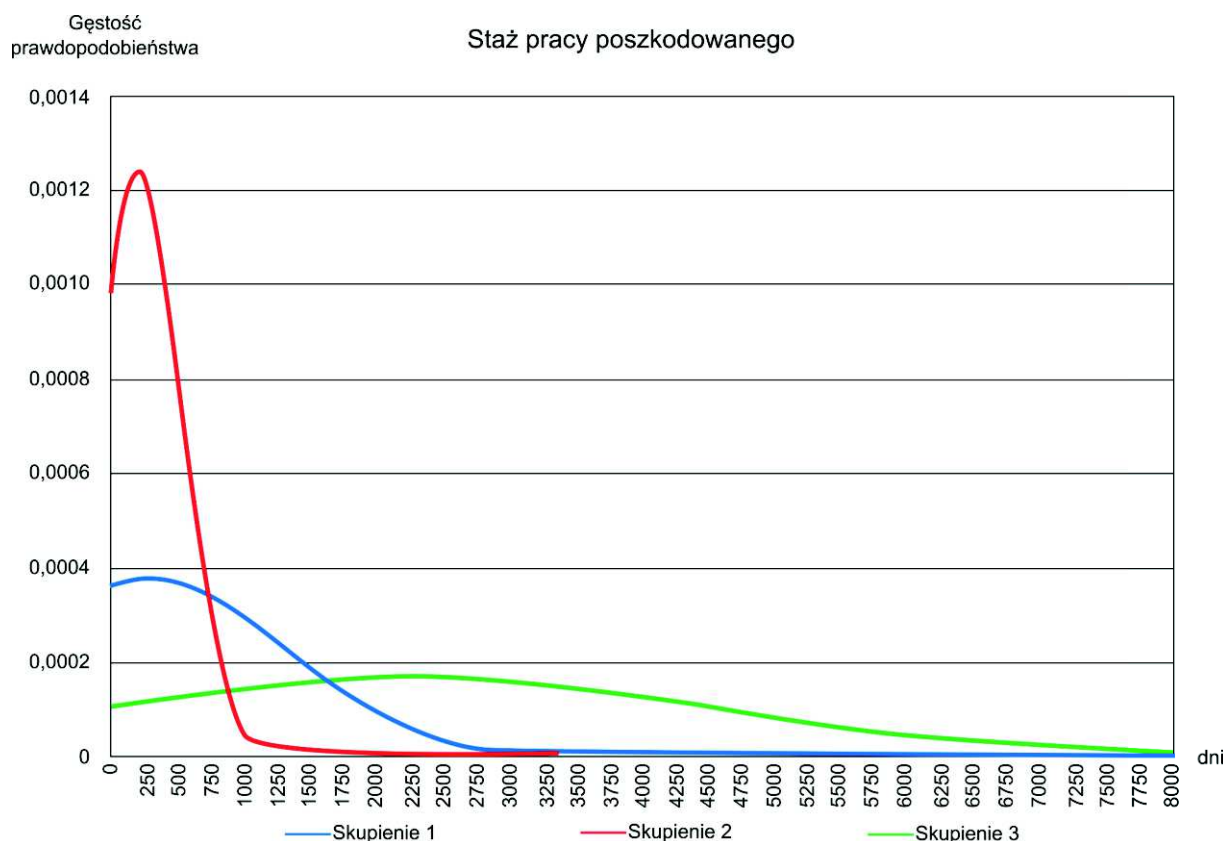
Rys. 8.38 Wykres licznosci zmiennej jakościowej: badanie lekarskie  $p_{4,l}$   
(opracowanie własne)



Rys. 8.39 Histogram zmiennej ilościowej: wiek poszkodowanego  $y_l$  (opracowanie własne)



Rys. 8.40 Gęstość prawdopodobieństwa zmiennej ilościowej: wiek poszkodowanego  $y_l$  (opracowanie własne)



Rys.8.41 Gęstość prawdopodobieństwa zmiennej ilościowej: staż pracy poszkodowanego  $s_l$  (opracowanie własne)

### 8.7.1 Profil zawodowy osoby poszkodowanej

W wyniku przeprowadzonej analizy otrzymano 3 skupienia osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie. Każde skupienie charakteryzuje się punktem centralnym wokół którego zlokalizowane są poszczególne zidentyfikowane obiekty czyli poszkodowane osoby. Odległości między punktami centralnymi poszczególnych skupień zostały zamieszczone w tabeli 8.38. Dla każdej osoby poszkodowanej należącej do danego skupienia została wyznaczona standaryzowana odległość od środka skupienia.

Tabela 8.38 Standaryzowana odległość między punktami centralnymi skupień

	Skupienie 1	Skupienie 2	Skupienie 3
Skupienie 1	0,00	1,73	2,25
Skupienie 2	1,73	0,00	1,44
Skupienie 3	2,25	1,44	0,00

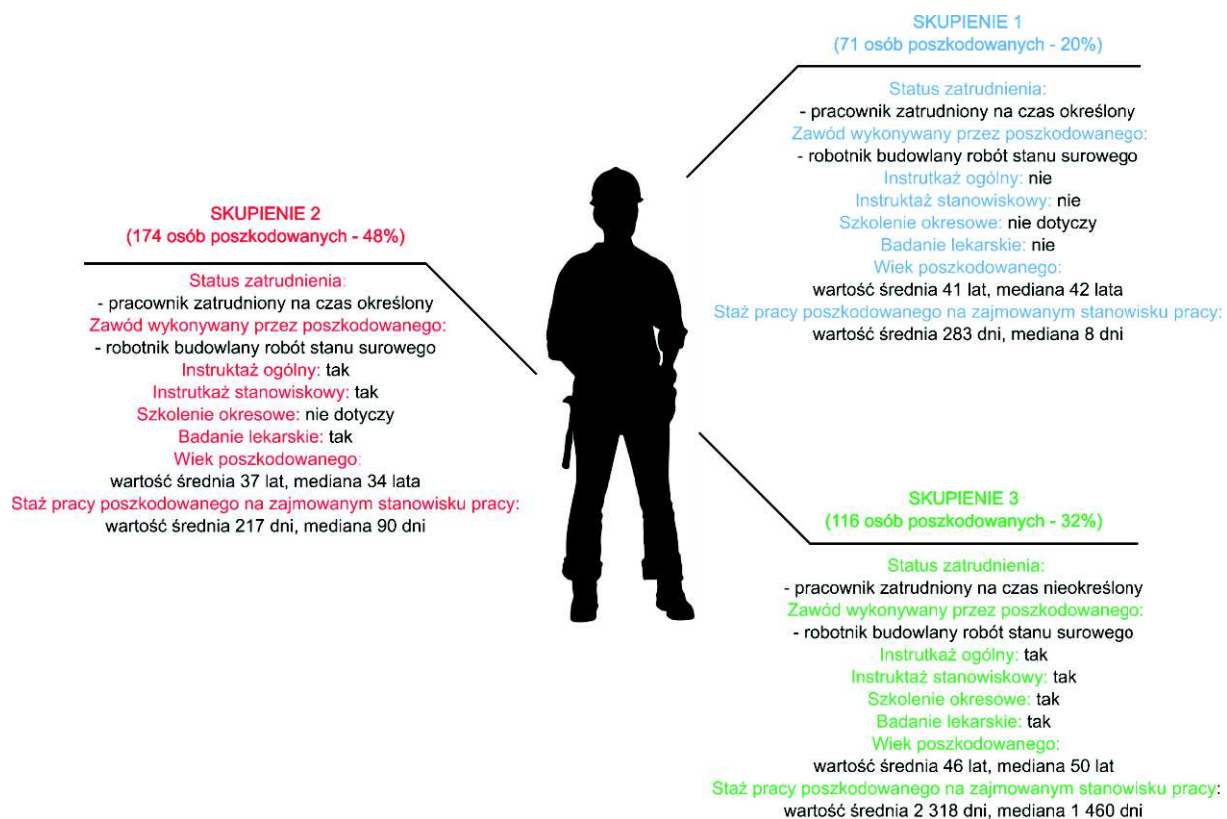
Uzyskane skupienia można opisać następująco:

- do skupienia 1 należy 71 osób poszkodowanych, co stanowi 20% wszystkich analizowanych osób. Profil osoby poszkodowanej znajdującej się w tym skupieniu jest następujący:
  - ✓ status zatrudnienia: pracownik zatrudniony na czas określony,



- ✓ zawód wykonywany przez poszkodowanego: robotnik budowlany robót stanu surowego,
  - ✓ instruktaż ogólny: nie,
  - ✓ instruktaż stanowiskowy: nie,
  - ✓ szkolenie okresowe: nie dotyczy. Do skupienia należą osoby poszkodowane, które uległy wypadkowi w czasie krótszym niż 1 rok, które nie miały obowiązku odbycia szkolenia okresowego,
  - ✓ badanie lekarskie: nie,
  - ✓ wiek poszkodowanego: wartość średnia  $\bar{y}_l^1 = 41$  lat (40-49); mediana  $M_{y_l}^1 = 42$  lata,
  - ✓ staż pracy poszkodowanego na zajmowanym stanowisku pracy: wartość średnia  $\bar{s}_l^1 = 283$  dni (1 rok i mniej); mediana  $M_{s_l}^1 = 8$  dni,
- do skupienia 2 należy 174 osób poszkodowanych, co stanowi 48% wszystkich analizowanych osób. Profil osoby poszkodowanej znajdującej się w tym skupieniu jest następujący:
    - ✓ status zatrudnienia: pracownik zatrudniony na czas określony,
    - ✓ zawód wykonywany przez poszkodowanego: robotnik budowlany robót stanu surowego,
    - ✓ instruktaż ogólny: tak,
    - ✓ instruktaż stanowiskowy: tak,
    - ✓ szkolenie okresowe: nie dotyczy,
    - ✓ badanie lekarskie: tak,
    - ✓ wiek poszkodowanego: wartość średnia  $\bar{y}_l^2 = 37$  lat (30-39); mediana  $M_{y_l}^2 = 34$  lata,
    - ✓ staż pracy poszkodowanego na zajmowanym stanowisku pracy: wartość średnia  $\bar{s}_l^2 = 217$  dni (1 rok i mniej); mediana  $M_{s_l}^2 = 90$  dni,
  - do skupienia 3 należy 116 osób poszkodowanych, co stanowi 32% wszystkich analizowanych osób. Profil osoby poszkodowanej znajdującej się w tym skupieniu jest następujący:
    - ✓ status zatrudnienia: pracownik zatrudniony na czas nieokreślony,
    - ✓ zawód wykonywany przez poszkodowanego: robotnik budowlany robót stanu surowego,
    - ✓ instruktaż ogólny: tak,
    - ✓ instruktaż stanowiskowy: tak,
    - ✓ szkolenie okresowe: tak,
    - ✓ badanie lekarskie: tak,
    - ✓ wiek poszkodowanego: wartość średnia  $\bar{y}_l^3 = 46$  lat (40-49); mediana  $M_{y_l}^3 = 50$  lata,
    - ✓ staż pracy poszkodowanego na zajmowanym stanowisku pracy: wartość średnia  $\bar{s}_l^3 = 2\,318$  dni (ponad 6 lat); mediana  $M_{s_l}^3 = 1\,460$  dni (4 lata).

Profil zawodowy osób poszkodowanych przedstawiono na rysunku 8.42.



Rys. 8.42 Profil zawodowy osób poszkodowanych w budownictwie (opracowanie własne)

### 8.7.2 Wnioski

Analiza osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie za pomocą analizy skupień pozwoliła sformułować następujące wnioski:

- w wyniku przeprowadzonej analizy zbioru 361 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy w budownictwie otrzymano 3 skupienia,
- skupienie 1 stanowią pracownicy zatrudnieni na czas określony na stanowisku robotnika budowlanego robót stanu surowego, którzy nie zostali prawidłowo przygotowani do wykonywania pracy, tzn. nie zostali odpowiednio przeszkoleni w zakresie instruktażu ogólnego i stanowiskowego, a także nie uzyskali zaświadczenia o braku przeciwwskazań do pracy. Średni wiek poszkodowanych waha się w przedziale 40-49 lat. Pracownicy, którzy znaleźli się w tym skupieniu mieli staż pracy nieprzekraczający 1 roku. Do skupienia zostało przypisanych 71 poszkodowanych, co stanowi 20% wszystkich analizowanych poszkodowanych,
- skupienie 2 stanowią pracownicy zatrudnieni na czas określony na stanowisku robotnika budowlanego robót stanu surowego, którzy odbyli szkolenia wstępne w zakresie bhp i otrzymali zaświadczenie o braku przeciwwskazań do wykonywania pracy. Średni wiek poszkodowanych waha się w przedziale 30-39 lat. Pracownicy, którzy znaleźli się w tym skupieniu mieli staż pracy nieprzekraczający 1 roku. Do skupienia zostało przypisanych 174 poszkodowanych, co stanowi 48% wszystkich poszkodowanych,

- skupienie 3 stanowią pracownicy zatrudnieni na czas nieokreślony na stanowisku robotnika budowlanego robót stanu surowego, którzy odbyli szkolenia wstępne w zakresie bhp i szkolenie okresowe, otrzymali zaświadczenie o braku przeciwwskazań do wykonywania pracy. Średni wiek poszkodowanych waha się w przedziale 40-49 lat. Pracownicy, którzy znaleźli się w tym skupieniu mieli staż pracy większy niż 4 lata. Do skupienia zostało przypisanych 116 poszkodowanych, co stanowi 32% ogółu,
- we wszystkich 3 skupieniach zawodem wykonywanym przez poszkodowanego był robotnik budowlany robót stanu surowego,
- poszczególne skupienia różnią się między sobą przygotowaniem pracownika do wykonywania pracy. Przeciwnieństwem skupienia 2 (największego z wyróżnionych) jest skupienie 1. W tym skupieniu poszkodowani nie zostali w jakikolwiek sposób przygotowani do pracy. Brak przeprowadzenia prawidłowych szkoleń, brak wystarczającej wiedzy dotyczącej bezpiecznego wykonywania pracy na stanowisku pracy, a także krótki staż pracy jest główną przyczyną powstania wypadku przy pracy,
- poszkodowani przyporządkowani do skupienia 1 oraz 2 mają dużo mniejszy staż pracy niż pracownicy ze skupienia 3.

## 9 Wnioski i uwagi końcowe

### 9.1 Wnioski wynikające z badań

Na podstawie analizy literatury przedmiotu oraz badań i analiz własnych sformułowano następujące wnioski końcowe:

- Na podstawie wyników analizy przedsiębiorstw budowlanych, wykonanej na podstawie danych statystycznych publikowanych przez Główny Urząd Statystyczny, nie potwierdziła się powszechnie panująca opinia, iż to mikro i małe przedsiębiorstwa generują największą liczbę wypadków w budownictwie. Otrzymane wartości wskaźnika oceny przedsiębiorstw pod kątem wypadkowości, zaproponowanego w dysertacji, są podstawą stwierdzenia, że największą liczbę wypadków w odniesieniu do liczby zatrudnionych generują średnie przedsiębiorstwa budowlane.
- Liczba aktywacji węzłów oraz relacji między sąsiadującymi węzłami pozwala zdefiniować przestrzeń możliwych scenariuszy związanych z wypadkami przy pracy w budownictwie.
- Analiza ilościowa węzłów w grafie wykazała, że:
  - ✓ najwięcej wypadków przy pracy miało miejsce na terenie budowy nowych obiektów,
  - ✓ podstawową czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku było poruszanie się pracownika po terenie budowy, a w szczególności po elementach i powierzchniach znajdujących się nad poziomem gruntu,
  - ✓ najczęściej występującym wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego było poślizgnięcie, potknięcie się, upadek osoby na tym samym poziomie lub upadek osoby z wysokości na niższy poziom, najczęściej z elementów lub powierzchni znajdujących się nad poziomem gruntu,
  - ✓ najczęściej występującym wydarzeniem powodującym uraz u poszkodowanego było zderzenie z lub uderzenie pionowo w nieruchomy obiekt, w szczególności w elementy i powierzchnie znajdujące się na poziomie gruntu, czyli upadek z wysokości.
- Liczba aktywacji poszczególnych relacji między sąsiadującymi węzłami w analizowanym zbiorze wypadków pozwala określić przebieg ścieżki krytycznej przechodzącej przez relacje o największej liczbie aktywacji i jednocześnie największym prawdopodobieństwie wystąpienia. Przebieg ścieżek krytycznych jest podobny we wszystkich analizowanych zbiorach wypadków (zbiór wszystkich wypadków znajdujących się w Informatycznej Bazie Danych, zbiór wypadków, które zdarzyły się podczas budowy nowych obiektów budowlanych, zbiór wypadków, które zdarzyły podczas robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych).
- Analiza ścieżek krytycznych przeprowadzona dla powyższych zbiorów, pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:
  - ✓ częściej dochodzi do wypadków przy pracy w budownictwie na terenie budowy nowych obiektów, niż w czasie realizacji robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych,

- ✓ co druga osoba poszkodowana w wypadku przy pracy w budownictwie doznała ciężkich urazów w wyniku upadku z wysokości. Kolejnym bardzo często występującym skutkiem wypadku jest śmierć osoby poszkodowanej.
- Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że najbardziej prawdopodobnym scenariuszem jest następujący scenariusz: do wypadku dochodzi podczas przemieszczania się pracownika po powierzchniach znajdujących się nad poziomem terenu. Dochodzi wówczas do poślizgnięcia, potknięcia się lub upadku osoby na elementy budynku i konstrukcji znajdujące na poziomie terenu, w wyniku upadku poszkodowanego, następuje zderzenie lub uderzenie o nieruchomy obiekt znajdujący się na poziomie terenu, które prowadzi do śmierci poszkodowanego. Prawdopodobieństwo warunkowe, że zgodnie z powyższym scenariuszem wypadek wystąpi podczas robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych wynosi 10,4%, natomiast w czasie budowy nowych obiektów budowlanych 7%.
- Analiza przyczyn wypadków przy pracy przebiegających zgodnie z najbardziej prawdopodobnym scenariuszem wypadkowym, dla którego wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego był upadek osoby poszkodowanej z wysokości wykazała, że przyczyny organizacyjne są najczęstszą przyczyną wypadków. Wśród powtarzalnych przyczyn w tej grupie należy wymienić: brak nadzoru, tolerowanie przez osoby sprawujące nadzór, odstępstw od przepisów i zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, dopuszczenie do pracy pracownika z przeciwwskazaniami lekarskimi lub bez badań lekarskich, brak lub niewłaściwe przeszkolenie w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy, niedostateczne przygotowanie zawodowe pracownika, nieodpowiednie przejścia i dojścia, brak instrukcji bezpiecznego wykonywania robót budowlanych, niezapoznanie pracowników z zagrożeniami. W grupie przyczyn technicznych stwierdzono: brak lub niewłaściwe urządzenia zabezpieczające stanowiska pracy na rusztowaniach oraz niewłaściwe środki ochrony zbiorowej, niewłaściwa stateczność rusztowania lub jego elementów oraz niewłaściwa struktura przestrzenna rusztowania. Natomiast w grupie przyczyn ludzkich przede wszystkim: nieużywanie przez pracownika środków ochrony indywidualnej, lekceważenie zagrożenia, niewłaściwy stan psychofizyczny pracownika spowodowany spożyciem alkoholu, środków odurzających lub substancji psychotropowych, zaskoczenie niespodziewanym zdarzeniem, przechodzenie, przejeżdżanie lub przebywanie w miejscach niedozwolonych, brawurowe i ryzykowne zachowanie się pracownika spowodowane lekceważeniem zagrożenia, nieprawidłowe zachowanie się pracownika spowodowane nieznanymi przepisami i zasadami bezpieczeństwa i higieny pracy.
- Analiza profilu zawodowego pracownika ulegającego wypadkom pozwoliła zdefiniować cechy charakteryzujące osoby, które najczęściej ulegają wypadkom przy pracy w budownictwie. Najliczniejsze skupienie stanowią pracownicy zatrudnieni na czas określony na stanowisku robotnika budowlanego robót stanu surowego, którzy odbyli szkolenia wstępne w zakresie bhp i otrzymali zaświadczenie o braku przeciwwskazań do wykonywania pracy. Średni wiek poszkodowanych waha się w przedziale 30-39 lat. Jednak pracownicy ci, mieli staż pracy nieprzekraczający 1 roku.

## 9.2 Wnioski o charakterze ogólnym

- Dane statystyczne publikowane przez Główny Urząd Statystyczny nie stanowią właściwego źródła wiedzy, na podstawie którego można analizować i oceniać różne aspekty wypadkowości w budownictwie. Publikowane dane statystyczne są scalone i na ich podstawie nie można uzyskać informacji dotyczących specyficznych cech produkcji budowlanej.
- Opracowany model rozwoju sytuacji wypadkowej, ze względu na jego konstrukcję oraz wsparcie w postaci Informatycznej Bazy Danych jest narzędziem, które może być zastosowane do analizy różnych aspektów wypadkowości w budownictwie zarówno w skali makro jak i mikro.
- Zastosowanie modelu w skali makro pozwala na badanie dowolnie dużego zbioru wypadków znajdującego się w bazie i wyciągania na tej podstawie wniosków dotyczących całego budownictwa w długich przedziałach czasu. Zastosowanie modelu w skali mikro pozwala na badanie wypadkowości w odniesieniu do dowolnego podzbioru wypadków znajdujących się w bazie.
- Zaproponowany w pracy model rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie oraz metodyki analizy i oceny ważności poszczególnych przyczyn wypadków oraz definiowania profilu zawodowego pracownika ulegającego najczęściej wypadkom mogą mieć duże znaczenie dla praktyki budowlanej. Mogą one stanowić podstawę do prowadzenia podobnych badań w innych obszarach aktywności budowlanej. Jest to istotne dla celów porównawczych. Wyniki badań porównawczych mogą stanowić podstawę określenia najbardziej niebezpiecznych obszarów budownictwa. Znajomość przyczyn wypadków pozwoli odpowiednio formułować lub modyfikować przepisy prawa pracy, a także właściwie ukierunkować działania prewencyjne oraz szkolenia w zakresie bezpieczeństwa pracy, co z pewnością wpłynie na zmniejszenie liczby wypadków z udziałem rusztowań.

## 9.3 Wkład własny w omawiane zagadnienie

Wkładem własnym autora jest:

1. Opracowanie Informatycznej Bazy Danych o wypadkach przy pracy w budownictwie.
2. Opracowanie modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie umożliwiającego:
  - badanie zjawiska wypadkowości jako procesu, który tworzy ciąg wypadków zachodzących w dyskretnych momentach czasu, na różnych pod względem lokalizacji, konstrukcji i wyposażenia technicznego budowach,
  - identyfikację ścieżek krytycznych oraz prawdopodobieństw wystąpienia określonych scenariuszy wypadkowych.
3. Opracowanie metodyki analizy przyczyn wypadków przy pracy opartej na analizie Pareto-Lorenza i znanej w ekonomii analizie ABC.
4. Opracowanie metodyki umożliwiającej zdefiniowanie profilu zawodowego pracownika ulegającego wypadkom przy pracy w budownictwie.



#### **9.4 Proponowane kierunki dalszych badań**

Przedstawione w rozprawie wyniki badań własnych i analiz nie wyczerpują wszystkich problemów związanych z modelowaniem wypadkowości w budownictwie. Tematyka jest rozwojowa i zdaniem autora może być kontynuowana w następujących obszarach:

- badanie wpływu rodzaju realizowanych obiektów budowlanych oraz stosowanych technik i metod organizacji pracy na wypadkowość w budownictwie,
- określenie czynników ryzyka związanych ze stosowanymi w polskim budownictwie rozwiązaniami w zakresie mechanizacji i technologii,
- badanie wykorzystania metod sztucznej inteligencji do predykcji scenariuszy wypadkowych i prognozowania zjawiska wypadkowości.

## Streszczenie

Rozprawa doktorska, zatytułowana „*Modelowanie rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie*”, została zrealizowana w Zakładzie Technologii i Zarządzania w Budownictwie na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, pod opieką naukową dr hab. inż. Bożeny Hoły, prof. nadzw. PWr. Celem pracy było opracowanie modelu rozwoju zjawiska wypadkowości w polskim budownictwie.

Aby osiągnąć postawiony cel pracy z Okręgowych Inspektoratów Pracy w Polsce pozyskano niezbędny materiał badawczy w postaci Protokołów Kontroli powypadkowej. Na podstawie zgromadzonych materiałów opracowano strukturę bazy danych o wypadkach przy pracy, którą zaimplementowano w postaci aplikacji webowej: Informatycznej Bazy Danych (IBD).

Do zamodelowania złożonego procesu wypadkowego, który tworzy ciąg wypadków zachodzących w dyskretnych momentach czasu, na różnych pod względem lokalizacji, konstrukcji i wyposażenia technicznego, budowach zaproponowano graf skierowany. W celu uwzględnienia wszystkich okoliczności przebiegu i skutków wypadku w modelu wyróżniono dwa rodzaje zdarzeń: zdarzenia rzeczywiste, które zgodnie z teorią systemów powodują zmianę stanu systemu jakim jest plac budowy oraz zdarzenia pozorne opisujące okoliczności w jakich doszło do wypadku oraz jego skutki. W zaproponowanym modelu ciąg wypadków przy pracy tworzy dyskretny proces wypadkowy przebiegający w określonej przestrzeni możliwych scenariuszy. Opracowano metodykę analizy tego złożonego procesu wypadkowego.

Ponieważ każdy wypadek jest skutkiem kilku przyczyn opracowano metodykę analizy i oceny ważności poszczególnych przyczyn wypadków przy pracy w budownictwie. W rozważaniach na temat bezpieczeństwa pracy najważniejszy jest człowiek. Dlatego też, podjęto próbę opracowania metodyki analizy danych o pracownikach, pozwalającej na zdefiniowanie profilu zawodowego pracownika najczęściej ulegającego wypadkom.

Na podstawie analizy wypadków przy pracy w budownictwie, w których zostało poszkodowanych 485 osób, dokonano oceny poszczególnych sektorów przedsiębiorstw budowlanych pod względem wypadkowości, zdefiniowano prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy przebiegu wypadków oraz określono scenariusze o największym prawdopodobieństwie. Dla scenariusza o największym prawdopodobieństwie, właściwego dla 50 wypadków, zdefiniowano przyczyny wypadków oraz wskazano przyczyny najbardziej istotne. Zdefiniowano również ogólny profil zawodowy pracownika budowlanego najczęściej ulegającego wypadkom.

## Abstract

The doctoral thesis, which is entitled "*Modelling of the development of an accident situation in the construction industry*", was carried out in the Department of Technology and Management in Civil Engineering at the Faculty of Civil Engineering at Wrocław University of Science and Technology under the supervision of Prof. Bożena Hoła. The purpose of the work was to create a model of the development of the phenomenon of accidents in the Polish construction industry.

In order to achieve the aim of the work, the necessary research material in the form of post-accident protocols was obtained from the Regional Labour Inspectorates in Poland. On the basis of the collected materials, the structure of the database on occupational accidents was developed and implemented in the form of a web application - Computer Knowledge Database (CKD).

A directed graph was proposed for the modelling of a complex accident process, which creates a series of accidents occurring in discrete moments of time on differently located, designed and equipped construction sites. In order to take into account all the circumstances of the course and consequences of an accident, the model distinguishes two types of events: real events that according to the system theory cause a change in the state of the system such as a construction site; and also apparent events that describe the circumstances of an accident and its consequences. In the proposed model, a series of occupational accidents create a discrete accident process that takes place in a specific space of possible scenarios. The methodology of the analysis of this complex accident process was also developed.

Due to the fact that every accident is a result of several causes, the methodology of the analysis and assessment of the importance of particular causes of occupational accidents in the construction industry was developed. People are the most important when considering the safety of work. Therefore, an attempt to develop a methodology for analysing employee data, which would enable a professional profile of an employee who most frequently experiences accidents, was undertaken.

Based on the analysis of occupational accidents in the construction industry, in which 485 people were injured, individual sectors of construction enterprises were assessed with regards to the accident rate and probabilities of the occurrence of individual accident scenarios. The most probable scenarios were also determined. For a scenario with the highest probability, which applies to 50 accidents, the causes of the accidents were defined and the most important causes were indicated. The general professional profile of the construction employee who most frequently experiences accidents was also defined.

## Literatura

1. Abbe O. O. Harvey C. M. Ikuma L. H. Aghazadeh F. (2011), *Modeling the relationship between occupational stressors, psychosocial/psychical symptoms and injuries in the construction industry*. International Journal of Industrial Ergonomics, 41, s. 106-117.
2. Albert A. Hallowell M. (2012), *Hazard Recognition Methods in the Construction Industry*. Construction Research Congress, s. 407-416.
3. Ale B. J. M. Bellamy L. J. Baksteen H. Damen M. Goossens L. H. J. Hale A. R. Mud M. Oh J. Papazoglou I. A. Whiston J. Y. (2008), *Accidents in the construction industry in the Netherlands: An analysis of accident reports using Storybuilder*, Reliability Engineering & System Safety, 93(10), s. 1523-1533.
4. Arboleda C. Abraham D. (2004), *Fatalities in Trenching Operations- Analysis Using Models of Accident Causation*, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 130(2), s. 273-280.
5. Baszczyński K. Jachowicz M. (2012), *Ocena podzespołów łącząco-amortyzujących sprzętu chroniącego przez upadkiem z wysokości w warunkach dynamicznych*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 11/2012, s 22-25.
6. Baszczyński K. (2013), *Sprawdzenie stanu technicznego uprząży w indywidualnych systemach chroniących przed upadkiem z wysokości*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 10/2013, s 27-30.
7. Behm M. Schneller A. (2013), *Application of the Loughborough Construction Accident Causation model: a framework for organizational learning*, Construction Management and Economics, 31(6), s. 580-595.
8. Bellamy L. J. Ale B. J. M. Geyer T. A. W. Goossens L. H. J. Hale A. R. Oh J. Mud M. Bloemhof A. Papazoglou I. A. Whiston J. Y. (2007), *Storybuilder – A tool for the analysis of accident report*, Reliability Engineering & System Safety, 92(6), s. 735-744.
9. Bellamy L.J. Ale B. J. M. Whiston J. Y. Mud M. L. Baksteen H. Hale A. R. Papazoglou I. A. Bloemhoff A. Damen M. Oh J. I. H. I. (2008), *The software tool storybuilder and the analysis of the horrible stories of occupational accidents*, Safety Science, 46(2), s. 186-197.
10. Benner L. (1975), *Accident theory and Accident Investigation*, Proceedings of the Society of Air Safety Investigators Annual Seminar, Ottawa Canada.
11. Bird F. (1974), *Management Guide to Loss Control*, International Safety Academy, Houston, TX.
12. Błazik-Borowa E. i in. (2015), *Bezpieczeństwo pracy w budownictwie*, Politechnika Lubelska, Lublin.
13. Camino López M. A. Ritzel D. O. Fontaneda I. Gonzales Alcantara O. J. (2008), *Construction industry accidents in Spain*, Journal of Safety Research, 39, s. 497-507.
14. Chan I. Y. S. Leung M. Y. Liu A. M. M. (2016), *Occupational health management system: A study of expatriate construction professionals*, Accident Analysis & Prevention, 93, s. 280-290.
15. Chi S. Han S. (2013), *Analyses of systems theory for construction accident prevention with specific reference to OSHA accident reports*, International Journal of Project Management, 31(7), s. 1027-1041.

16. Chi C.F. Lin S.-Z. Dewi R. S. (2014), *Graphical fault tree analysis for fatal falls in the construction industry*, Accident Analysis and Prevention, 72, s. 359-369.
17. Chu C. Liang G. Liao C. (2008), *Controlling Inventory by Combining ABC Analysis and Fuzzy Classifications*, Computers & Industrial Engineering, 55(4), s. 841–851.
18. Chua D. K. H. Goh Y. M. (2004), *Incident Causation Model for Improving Feedback of Safety Knowledge*, Journal of Construction Engineering & Management, 130(4), s. 542-551.
19. Dąbrowski A. (2004), *Prace na wysokości – najczęstsze przyczyny wypadków*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 1/2004, s. 2-6.
20. Dąbrowski A. (2005), *Upadki na powierzchni – jak ich uniknąć?*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 4/2005, s. 24-26.
21. Dąbrowski A. (2011), *Wypadkowość w małych firmach budowlanych*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 11/2011, s. 6-9.
22. Dąbrowski A. (2013), *Propozycja poprawy bezpieczeństwa pracy w małych firmach budowlanych*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 12/2013, s. 9-13.
23. Dhoka D. Choudary Y. (2013), *ABC Classification for Inventory Optimization*, Journal of Business and Management (IOSR-JBM), 15(1), s. 38-41.
24. Drozd W. (2007), *Warunki bezpieczeństwa pracy i ich wpływ na koszty realizacji procesów budowlanych*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska.
25. Drozd W. Kowalik K. (2014), *Modern safety systems for work at height*, Technical Transactions Civil Engineering, 1-B, s.247-254.
26. Drozd W. (2016), *Charakterystyka terenu budowy w aspekcie zagrożeń bezpieczeństwa pracy*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska I Architektury, t. XXXIII, z. 63 (1/I/16), s. 165-172.
27. European Statistics on Accident at Work ESAW (2013), *Summary methodology*, Eurostat Methodologies & Working papers, European Union.
28. Glinkowska B. (2010), *Modelowanie w procesach usprawniania organizacji – uwagi teoretyczno-metodyczne*, Acta Universitatis Lodzianis, Folia Oeconomica, 234, s. 255-264.
29. Guha H. Biswas P. (2013), *Measuring Construction Site Safety in Kolkata, India*, International Journal of Scientific & Engineering Research, 4(5), s. 2138-2143.
30. Główny Inspektorat Pracy (2016), *Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2015 roku*, Warszawa.
31. Główny Inspektorat Nadzoru Budowlanego (2017), *Katastrofy budowlane w 2016 roku*, Warszawa.
32. Główny Urząd Statystyczny (2016a), *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*, Warszawa.
33. Główny Urząd Statystyczny (2016b), *Wypadki przy pracy. Informacje i Opracowania Statystyczne*, Warszawa.
34. Główny Urząd Statystyczny (2017a), *Wypadki przy pracy. Informacje i Opracowania Statystyczne*, Warszawa.
35. Główny Urząd Statystyczny (2017b), *Wypadki przy pracy. Monitoring Rynku Pracy*, Warszawa.

36. Gordon J. E. (1949), *The epidemiology of accidents*, The American Journal of Public Health, 39, s. 504-515.
37. Haddon W. (1973), *Energy damage and the ten counter measure strategies*, Human Factors.
38. Hansen A. (1988), *Kompleksowa ocena poziomu bezpieczeństwa i higieny pracy*, Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa.
39. Hansen A. (1992), *Zarys wypadkoznawstwa*, Państwowa Inspekcja Pracy, Warszawa.
40. Haslam R. A. Hide S. A. Gibb A. G. F. Gyi D. E. Pavitt T. Atkinsosn S. Duff A.R. (2005), *Contributing factors in construction accidents*, Applied Ergonomics, 36(4), s. 401-415.
41. Heinrich H. W. (1959), *Industrial Accidents Prevention*. New York, Toronto, London, Mc Graw Hill Book Company, Inc.
42. Hebda Andrzej (2005), *Metoda techniczno-ekonomicznej oceny składników oraz uciążliwości ryzyka wystąpienia wypadków przy pracy w kopalniach węgla kamiennego*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.
43. Hoła B. (2008), *Modelowanie jakościowe i ilościowe wypadkowości w budownictwie*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
44. Hoła B. (2016), *Bezpieczeństwo pracy w procesach budowlanych*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław.
45. Hoła B. Szóstak M. (2015), *Analysis of the State of the Accident Rate in the Construction Industry in European Union Countries*, Archives of Civil Engineering, 61(4), s. 19-34.
46. Hughes B. P. Newstead S. Anund A. Shu C.C. Falkmer T. (2015), *A review of models relevant to road safety*, Accident Analysis & Prevention, 74, s. 250-270.
47. International Labour Organization, Safety and Health at Work (2014), *A Vision for Sustainable Prevention, XX World Congress on Safety and Health at Work 2014*, Global Forum for Prevention, 24-27 August 2014, Frankfurt, Germany.
48. Saiful M. I. Razwanul I. Tarek M. (2017), *Safety Practices and Causes of Fatality in Building Construction Projects: A Case Study for Bangladesh*, Jordan Journal of Civil Engineering, 11(2), s. 267-278.
49. Iraj M. Esmaeel S. Fakhradin G. Alireza Z. (2015), *Comparison of Management Oversight and Risk Tree and Tripod-Beta in Excavation Accident Analysis*, Jundishapur Journal of Health Sciences, 7(1).
50. Irumba R. (2014), *Spatial analysis of construction accidents in Kampala, Uganda*, Safety Science, 64, s. 109-120.
51. Johnson W. G. (1973), *The management oversight and risk tree – MORT*, Atom Energy Commission, Washington.
52. Kaczyński P. (2010), *Praca na wysokości. Sport ekstremalny?*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 12/2010, s. 22-24.
53. Kjellen U. Larsson T.J. (1981), *Investigating accidents and reducing risks: A dynamic approach*, Journal of Occupational Accidents, 3(2), s. 129-140.
54. Kjellen U. (1982), *The deviation concept in occupational accident research – Theory and method*, Stockholm, Sweden, Occupational Accident Research Unit, Royal Institute of Technology.
55. Koronacki J. Ćwik J. (2008), *Statystyczne systemy uczące się*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.



56. Krause M. (2011), *Praktyczne aspekty doboru metod oceny ryzyka zawodowego*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Organizacja i zarządzanie, z. 59, s. 173-1980.
57. Krzyżko M. Wołyński W. Górecki T. Skorzybut M. (2008), *Systemy uczące się*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
58. Leung MiY. Chan I. Y. S. Yu J. (2012), *Preventing construction worker injury incidents through the management of personal stress and organizational stressors*, Accident Analysis and Prevention, 48, s. 156-166.
59. Lehto M. Salvendy G. (1991), *Models of accident causation and their application: Review and reappraisal*, Journal of Engineering and Technology Management, 8(2), s. 173-205.
60. Lin Y. H. Chen C. Y. Wang T. W. (2011), *Fatal occupational falls in the Taiwan construction industry*, Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 28(8), s. 586-596.
61. Lis T. Nowacki K. (2005), *Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy w zakładzie przemysłowym*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
62. López Arquillos, Rubio Romero J. C. Gibb A. (2012), *Analysis of construction accidents in Spain, 2003-2008*, Journal of Safety Research, 43(5-6), s. 381-388.
63. López-Soto D. Angel-Bello F. Yacout S. Alvarez A. (2017), *A multi-start algorithm to design a multi-class classifier for a multi-criteria ABC inventory classification problem*, Expert Systems with Applications, 81, s. 12-21.
64. Manu P.A. Ankrah N. A. Proverbs D.G. Suresh S. (2012), *Investigating the multi-casual and complex nature of the accident casual influence of construction project feature*, Accident analysis & Prevention, 48, s. 126-133.
65. Mistikoglu G. Gerek I. H. Erdis E. Mumtaz Usmen P. E. Cakan H. Kazan E.E. (2015), *Decision tree analysis of construction fall accidents involving roofers*, Expert Systems with Applications, 42(4), s. 2256-2263.
66. Mitropoulos P. Abdelhamid T.S. Howell G., (2005), *Systems Model of Construction Accident Causation*, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, s. 816-825.
67. Orlak K. Klamut A. (2009), *Raport o stanie wypadkowości w Polsce. Wyniki monitoringu jakości informacji publicznej o wypadkach przy pracy*, Stowarzyszenie Zdrowa Praca, Warszawa.
68. Obolewicz J. (2011), *Ocena stanu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w przedsiębiorstwach budowlanych*, Civil and Environmental Engineering, 2, s. 621-630.
69. Palaniappan S, Sawhney A. Janssen M. A. Walsh K. D. (2007), *Modeling construction safety as an agent-based emergent phenomenon*, Automation and Robotics in Construction, Proceedings of the 24th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, s. 375-382.
70. Pietrzak L. (2002a), *Modelowanie wypadków przy pracy (1)*, Bezpieczeństwo pracy, nr 4, s. 3-6.
71. Pietrzak L. (2002b), *Modelowanie wypadków przy pracy (2)*, Bezpieczeństwo pracy, nr 5, s. 6-9.
72. Pietrzak L. (2003), *Modele wypadków przy pracy*, Bezpieczeństwo Pracy, nr 3, s. 23-26.
73. Pietrzak L. (2007), *Analiza wypadków przy pracy dla potrzeb prewencji*, Państwowa Inspekcja Pracy, Warszawa.

74. Pérez-Alonso J. Callejón-Ferre A. J. Carreño-Ortega A. Sánchez-Hermosilla J. (2011), *Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain*, Building and Environment, 46, s. 1725-1734.
75. Perlman A. Sacks R. Barak R. (2014), *Hazard recognition and risk perception in construction*, Safety Science, 64, s. 22-31.
76. Priyadarshani K. Karunasena G. Jayasuriya S. (2013), *Construction Safety Assessment Framework for Developing Countries: A Case Study of Sri Lanka*, Journal of Construction in Developing Countries, 18(1), s. 33-51.
77. Rasmussen J. Pejtersen A. M. Goodstein L. P. (1994). *Cognitive system engineering*, Wiley, New York.
78. Reason J. (1990a), *Human error*, Cambridge University Press, New York.
79. Reason J. (1990b), The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 327(1241), Human Factors in Hazardous Situations, s. 475-484.
80. Rigby L. (1970), *The nature of human error*, Annual Technical Conference Transactions of the American Society for Quality Control, s. 475-566.
81. Stanisław A. (2007), *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 3. Analizy wielowymiarowe*, StatSoft.
82. Studenski R. (1996), *Organizacja bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
83. Suraji A. Duff A. Peckitt S. (2001), *Development of casual model of construction accident causation*, Journal of Construction engineering and Management, 127(4), s. 337-344.
84. Słownik Języka Polskiego (2016), Wydawnictwo Naukowe PWN.
85. Wanberg J. Harper C. Hallowell M. R. Rejendran S. (2013), *Relationship between Construction Safety and Quality Performance*, Journal of Construction Engineering and Management, 139(10).
86. Wielki Słownik Języka Polskiego (2016), Instytut Języka Polskiego PAN.
87. Wierzchoń S. Kłopotek M. (2015), *Algorytmy analizy skupień*, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
88. Wu W. Yang H. Li Q. Chew D. (2013), *An integrated information management model for proactive prevention of struck-by-falling-object accidents on construction sites*, Automation in Construction, 34, s. 67-74.
89. Zahid H. Q. (2007), *A Review of Accident Modelling Approaches for Complex Socio-Technical Systems*, Australian Computer Society, 12th Australian Workshop on Safety Related Programmable Systems, 86, s. 47-59.
90. Zakład Ubezpieczeń Społecznych (2012), *Analiza przyczyn i skutków wypadków przy pracy w latach 2008 - 2011*, Pracownia Badań i Doradztwa "Re-Source" Korczyński Sarapata sp.j., 08/2012.
91. Zakład Ubezpieczeń Społecznych (2016), *Płatnicy składek na ubezpieczenie wypadkowe, którzy złożyli Informację ZUS IWA*, Warszawa.
92. Zakład Ubezpieczeń Społecznych (2016), *Renty z tytułu niezdolności do pracy oraz renty rodzinne przyznane z powodu wypadków przy pracy i chorób zawodowych*, Warszawa.

## USTAWY

- U1 *Ustawa z dnia 30 października 2002 r. o ubezpieczeniu społecznym z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych* Dz.U. 2002 nr 199 poz. 1673, z późn. zm.
- U2 *Ustawa z dnia 27 czerwca 1997 r. o służbie medycyny pracy* Dz.U. 1997 nr 96 poz. 593, z późn. zm.
- U3 *Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy* Dz.U. 1974 nr 24 poz. 141 z późn. zm.
- U4 *Ustawa z dnia 13 października 1998 r. o systemie ubezpieczeń społecznych* Dz.U. 1998 nr 137 poz. 887, z późn. zm.
- U5 *Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o Państwowej Inspekcji Pracy* Dz. U. 2007, Nr 89, poz. 589, z późn. zm.
- U6 *Ustawa z dnia 5 sierpnia 2010 r. o ochronie informacji niejawnych* Dz.U. z 2010 r. Nr 182, poz. 1228, z późn. zm.
- U7 *Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej* Dz. U. Nr. 112, poz. 1198, z późn. zm.
- U8 *Ustawa z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej* Dz. U. z 2016 r. poz. 1829, z późn. zm.
- U9 *Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny* Dz. U. 1964 Nr 16 poz. 93, z późn. zm.
- U10 *Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o praktykach absolwenckich* Dz. U. 2009 Nr 127 poz. 1052, z późn. zm.

## ROZPORZĄDZENIA

- R1 *Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 01 lipca 2009 r. w sprawie ustalania okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy* Dz. U. 2009 Nr 105, poz. 870.
- R2 *Rozporządzenie Ministra Gospodarki i pracy z dnia 16 września 2004 r. w sprawie wzoru protokołu ustalenia okoliczności i przyczyn wypadku przy pracy* Dz. Ustaw Nr 227, poz. 2298.
- R3 *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 07 stycznia 2009 r. w sprawie statystycznej karty wypadku przy pracy* Dz. U. Nr 14, z poz. 80.
- R4 *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 08 listopada 2010 r.* Dz. U. Nr 218, poz. 1440 i nr 240, poz. 1612.
- R5 *Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy* Dz. U. 2003 Nr 169, poz. 1650.

## ZARZĄDZENIA

- Z1 *Zarządzenie nr 24/13 Głównego Inspektora Pracy z dnia 19 grudnia 2013 r. w sprawie zasad badania okoliczności i przyczyn wypadków przy pracy oraz kontroli stosowania środków zapobiegających tym wypadkom.*
- Z2 *Zarządzenie nr 17/2004 Głównego Inspektora Pracy z dnia 6 lipca 2004 r. w sprawie instrukcji kancelaryjnej dla jednostek organizacyjnych Państwowej Inspekcji Pracy.*

## Załącznik nr 1

Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami  
dla zbioru wypadków, które zdarzyły się  
na terenie budowy nowych obiektów

Tabela 1 Macierz relacji między źródłem wypadku a miejscem powstania wypadku

	Miejsce powstania wypadku <i>A</i>							$\Sigma$
	$a_{021}$	$a_{022}$	$a_{023}$	$a_{024}$	$a_{025}$	$a_{026}$	$a_{029}$	
Hipotetyczne źródło wypadku <i>M</i>	287	193	0	4	1	0	0	485

Tabela 2 Macierz relacji między miejscem powstania wypadku a procesem pracy

	$a_{021}$	Proces pracy <i>B</i>						$\Sigma$
		$b_{21}$	$b_{22}$	$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{25}$	$b_{29}$	
Miejsce powstania wypadku <i>A</i>		36	222	29	0	0	0	287

Tabela 3 Macierz relacji między procesem pracy a czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku

		Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>C</i>									$\Sigma$
		$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_9$	
Proces pracy <i>B</i>	$b_{21}$	0	0	8	1	5	2	15	5	0	36
	$b_{22}$	0	6	28	2	66	33	86	1	0	222
	$b_{23}$	0	4	5	0	8	4	8	0	0	29
	$b_{24}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{25}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{29}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	0	10	41	3	79	39	109	6	0	287

Tabela 4 Macierz relacji między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym – cz. 1/2

		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>D</i>									
		$d_{00}$	$d_{01}$	$d_{02}$	$d_{03}$	$d_{04}$	$d_{05}$	$d_{06}$	$d_{07}$	$d_{09}$	$d_{10}$
Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>C</i>	$c_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$c_1$	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
	$c_2$	0	0	10	5	0	0	14	11	0	0
	$c_3$	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	$c_4$	0	0	36	3	2	2	1	0	0	1
	$c_5$	0	2	22	2	0	2	0	0	2	0
	$c_6$	8	6	78	13	0	0	0	0	0	0
	$c_7$	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0
	$c_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	9	8	151	28	2	4	15	11	2	4

Tabela 5 Macierz relacji między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym – cz. 2/2

		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>D</i>											
		<i>d</i> <sub>11</sub>	<i>d</i> <sub>12</sub>	<i>d</i> <sub>13</sub>	<i>d</i> <sub>14</sub>	<i>d</i> <sub>15</sub>	<i>d</i> <sub>16</sub>	<i>d</i> <sub>17</sub>	<i>d</i> <sub>18</sub>	<i>d</i> <sub>19</sub>	<i>d</i> <sub>20</sub>	<i>d</i> <sub>99</sub>	Σ
Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>C</i>	<i>c</i> <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>c</i> <sub>1</sub>	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	<i>c</i> <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	41
	<i>c</i> <sub>3</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	<i>c</i> <sub>4</sub>	4	3	0	27	0	0	0	0	0	0	0	79
	<i>c</i> <sub>5</sub>	0	0	0	8	0	0	0	0	0	1	0	39
	<i>c</i> <sub>6</sub>	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	109
	<i>c</i> <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	<i>c</i> <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Σ	5	8	0	38	0	1	0	0	0	1	0	287

Tabela 6 Macierz relacji między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego

		Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego <i>E</i>										
		<i>e</i> <sub>0</sub>	<i>e</i> <sub>1</sub>	<i>e</i> <sub>2</sub>	<i>e</i> <sub>3</sub>	<i>e</i> <sub>4</sub>	<i>e</i> <sub>5</sub>	<i>e</i> <sub>6</sub>	<i>e</i> <sub>7</sub>	<i>e</i> <sub>8</sub>	<i>e</i> <sub>9</sub>	Σ
Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>D</i>	<i>d</i> <sub>00</sub>	0	1	0	1	2	1	1	0	3	0	9
	<i>d</i> <sub>01</sub>	0	0	0	1	1	5	0	0	1	0	8
	<i>d</i> <sub>02</sub>	0	6	0	27	8	108	0	1	1	0	151
	<i>d</i> <sub>03</sub>	0	2	0	22	2	1	0	0	1	0	28
	<i>d</i> <sub>04</sub>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	<i>d</i> <sub>05</sub>	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	4
	<i>d</i> <sub>06</sub>	0	0	0	7	5	1	0	1	1	0	15
	<i>d</i> <sub>07</sub>	0	0	0	1	9	1	0	0	0	0	11
	<i>d</i> <sub>09</sub>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	<i>d</i> <sub>10</sub>	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	4
	<i>d</i> <sub>11</sub>	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	5
	<i>d</i> <sub>12</sub>	0	0	0	2	5	1	0	0	0	0	8
	<i>d</i> <sub>13</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>14</sub>	0	1	0	18	4	13	1	0	1	0	38
	<i>d</i> <sub>15</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>16</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	<i>d</i> <sub>17</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>18</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>19</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>20</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	<i>d</i> <sub>99</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	0	12	1	82	40	134	6	3	8	0	287	



Tabela 7 Macierz relacji między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym – cz. 1/2

		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$									
		$f_{00}$	$f_{01}$	$f_{02}$	$f_{03}$	$f_{04}$	$f_{05}$	$f_{06}$	$f_{07}$	$f_{09}$	$f_{10}$
Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E$	$e_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_1$	0	0	5	1	0	5	0	0	0	0
	$e_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_3$	0	3	24	1	2	0	2	0	1	0
	$e_4$	0	0	5	0	0	0	3	9	2	2
	$e_5$	1	4	120	2	0	0	0	0	0	1
	$e_6$	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
	$e_7$	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	$e_8$	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	$e_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	3	8	155	5	2	5	7	9	4	5	

Tabela 8 Macierz relacji między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym – cz. 2/2

		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$											
		$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$	$f_{16}$	$f_{17}$	$f_{18}$	$f_{19}$	$f_{20}$	$f_{99}$	$\Sigma$
Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego $E$	$e_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_1$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12
	$e_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	$e_3$	2	1	0	23	0	1	0	2	0	23	0	82
	$e_4$	1	11	0	6	0	0	0	0	1	0	0	40
	$e_5$	2	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	134
	$e_6$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
	$e_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
	$e_8$	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	$e_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	3	17	0	33	1	1	0	2	1	26	0	287	

Tabela 9 Macierz relacji między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego

		Wydarzenie powodujące uraz $G$										
		$g_0$	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$g_5$	$g_6$	$g_7$	$g_8$	$g_9$	$\Sigma$
Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$	$f_{00}$	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	3
	$f_{01}$	0	0	0	4	3	0	1	0	0	0	8
	$f_{02}$	0	5	0	138	6	2	3	1	0	0	155
	$f_{03}$	0	2	0	1	1	0	1	0	0	0	5
	$f_{04}$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
	$f_{05}$	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	$f_{06}$	0	0	0	1	2	3	0	1	0	0	7
	$f_{07}$	0	0	0	0	0	8	1	0	0	0	9
	$f_{09}$	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	4
	$f_{10}$	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	5
	$f_{11}$	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3
	$f_{12}$	0	0	0	2	3	0	11	1	0	0	17
	$f_{13}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$f_{14}$	0	0	0	9	13	3	8	0	0	0	33
	$f_{15}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	$f_{16}$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	$f_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$f_{18}$	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	$f_{19}$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	$f_{20}$	0	0	22	1	1	0	1	1	0	0	26
$f_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
$\Sigma$	0	13	22	162	37	21	28	4	0	0	287	

Tabela 10 Macierz relacji między wydarzeniem powodującym uraz a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu – cz. 1/2

		Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$									
		$h_{00}$	$h_{01}$	$h_{02}$	$h_{03}$	$h_{04}$	$h_{05}$	$h_{06}$	$h_{07}$	$h_{09}$	$h_{10}$
Wydarzenie powodujące uraz $G$	$g_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_1$	0	0	5	1	0	5	0	0	0	0
	$g_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_3$	0	136	17	2	1	0	0	0	0	0
	$g_4$	0	3	3	0	1	0	2	1	1	0
	$g_5$	0	2	0	0	0	0	5	7	1	4
	$g_6$	0	2	3	0	0	0	0	1	1	0
	$g_7$	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	$g_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	0	143	29	3	2	5	7	9	3	4

Tabela 11 Macierz relacji między wydarzeniem powodującym uraz  
a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu – cz. 2/2

		Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$											
		$h_{11}$	$h_{12}$	$h_{13}$	$h_{14}$	$h_{15}$	$h_{16}$	$h_{17}$	$h_{18}$	$h_{19}$	$h_{20}$	$h_{99}$	$\Sigma$
Wydarzenie powodujące uraz $G$	$g_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_1$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	13
	$g_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	22
	$g_3$	0	0	0	2	0	1	0	0	2	1	0	162
	$g_4$	2	6	0	14	0	0	0	2	1	1	0	37
	$g_5$	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	21
	$g_6$	0	11	0	9	0	0	0	0	0	1	0	28
	$g_7$	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4
	$g_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	2	18	0	28	1	1	0	2	3	27	0	287	

Tabela 12 Macierz relacji między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu  
a rodzajem urazu – cz. 1/2

		Rodzaj urazu $U$									
		$u_{000}$	$u_{010}$	$u_{020}$	$u_{030}$	$u_{040}$	$u_{050}$	$u_{060}$	$u_{070}$	$u_{080}$	$u_{090}$
Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$	$h_{00}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{01}$	0	1	33	1	1	7	0	0	0	0
	$h_{02}$	0	0	9	1	1	2	0	0	0	0
	$h_{03}$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{04}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{05}$	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0
	$h_{06}$	0	2	2	0	2	1	0	0	0	0
	$h_{07}$	0	1	0	0	7	0	0	0	0	0
	$h_{09}$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	$h_{10}$	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
	$h_{11}$	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	$h_{12}$	0	0	4	0	4	2	0	0	0	0
	$h_{13}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{14}$	0	1	9	1	3	5	0	0	0	0
	$h_{15}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	$h_{16}$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{18}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{19}$	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{20}$	0	0	3	0	0	1	1	0	0	0
$h_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
$\Sigma$	0	6	65	3	23	20	5	0	0	0	

Tabela 13 Macierz relacji między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu a rodzajem urazu – cz. 2/2

		Rodzaj urazu $U$							$\Sigma$
		$u_{100}$	$u_{110}$	$u_{120}$	$u_{130}$	$u_{140}$	$u_{150}$	$u_{999}$	
Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$	$h_{00}$	0	0	0	0	0	1	0	0
	$h_{01}$	0	0	0	44	2	54	0	143
	$h_{02}$	2	0	2	9	0	3	0	29
	$h_{03}$	0	0	0	0	0	2	0	3
	$h_{04}$	0	0	0	1	0	1	0	2
	$h_{05}$	0	0	0	0	0	1	0	5
	$h_{06}$	0	0	0	0	0	0	0	7
	$h_{07}$	0	0	0	1	0	0	0	9
	$h_{09}$	0	0	0	0	0	2	0	3
	$h_{10}$	0	0	0	0	0	0	0	4
	$h_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	2
	$h_{12}$	0	0	1	0	0	7	0	18
	$h_{13}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{14}$	0	2	1	1	0	5	0	28
	$h_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	1
	$h_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	1
	$h_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{18}$	0	0	0	1	0	1	0	2
	$h_{19}$	0	0	0	0	7	15	0	3
	$h_{20}$	0	0	0	0	0	0	0	27
	$h_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$		2	2	4	57	9	91	0	287

Tabela 14 Macierz relacji między rodzajem urazu a skutkiem wypadku

		Skutek wypadku $R$			
		$r_1$	$r_2$	$r_3$	$\Sigma$
Rodzaj urazu $U$	$u_{000}$	0	0	0	0
	$u_{010}$	0	6	0	6
	$u_{020}$	0	63	2	65
	$u_{030}$	0	2	1	3
	$u_{040}$	0	23	0	23
	$u_{050}$	0	20	0	20
	$u_{060}$	0	5	0	5
	$u_{070}$	0	0	0	0
	$u_{080}$	0	0	0	0
	$u_{090}$	0	0	0	0
	$u_{100}$	0	2	0	2
	$u_{110}$	0	1	1	2
	$u_{120}$	0	3	1	4
	$u_{130}$	0	56	1	57
	$u_{140}$	0	9	0	9
	$u_{150}$	91	0	0	91
	$u_{999}$	0	0	0	0
	$\Sigma$		91	190	6



## Załącznik nr 2

Analiza relacji między sąsiadującymi węzłami  
dla zbioru wypadków, które zdarzyły się  
w czasie robót remontowych, rozbiórkowych i wyburzeniowych



Tabela 1 Macierz relacji między źródłem wypadku a miejscem powstania wypadku

	Miejsce powstania wypadku A							$\Sigma$
	$a_{021}$	$a_{022}$	$a_{023}$	$a_{024}$	$a_{025}$	$a_{026}$	$a_{029}$	
Hipotetyczne źródło wypadku M	287	193	0	4	1	0	0	485

Tabela 2 Macierz relacji między miejscem powstania wypadku a procesem pracy

	$a_{022}$	Proces pracy B						$\Sigma$
		$b_{21}$	$b_{22}$	$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{25}$	$b_{29}$	
Miejsce powstania wypadku A		7	0	0	168	18	0	193

Tabela 3 Macierz relacji między procesem pracy a czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku

		Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku C									
		$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_9$	$\Sigma$
Proces pracy B	$b_{21}$	0	0	0	0	0	1	6	0	0	7
	$b_{22}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{23}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$b_{24}$	0	4	33	4	41	15	67	4	0	168
	$b_{25}$	0	1	8	0	6	2	1	0	0	18
	$b_{29}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	0	5	41	4	47	18	74	4	0	193

Tabela 4 Macierz relacji między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym – cz. 1/2

		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku D									
		$d_{00}$	$d_{01}$	$d_{02}$	$d_{03}$	$d_{04}$	$d_{05}$	$d_{06}$	$d_{07}$	$d_{09}$	$d_{10}$
Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku C	$c_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$c_1$	1	0	0	0	0	0	1	1	2	0
	$c_2$	0	1	12	1	0	0	14	8	0	2
	$c_3$	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	$c_4$	0	3	24	0	0	1	1	0	0	0
	$c_5$	0	1	7	1	1	1	0	1	1	1
	$c_6$	3	8	51	11	0	0	0	0	0	0
	$c_7$	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0
	$c_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	4	13	99	13	1	3	16	10	3	3

Tabela 5 Macierz relacji między czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a towarzyszącym mu czynnikiem materialnym – cz. 2/2

		Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>D</i>											
		<i>d</i> <sub>11</sub>	<i>d</i> <sub>12</sub>	<i>d</i> <sub>13</sub>	<i>d</i> <sub>14</sub>	<i>d</i> <sub>15</sub>	<i>d</i> <sub>16</sub>	<i>d</i> <sub>17</sub>	<i>d</i> <sub>18</sub>	<i>d</i> <sub>19</sub>	<i>d</i> <sub>20</sub>	<i>d</i> <sub>99</sub>	∑
Czynność wykonywana przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>C</i>	<i>c</i> <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>c</i> <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	<i>c</i> <sub>2</sub>	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	41
	<i>c</i> <sub>3</sub>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	<i>c</i> <sub>4</sub>	3	0	0	13	0	0	0	0	2	0	0	47
	<i>c</i> <sub>5</sub>	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	18
	<i>c</i> <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	74
	<i>c</i> <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	<i>c</i> <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	∑	5	0	1	19	0	1	0	0	2	0	0	193

Tabela 6 Macierz relacji między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego

		Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego <i>E</i>										
		<i>e</i> <sub>0</sub>	<i>e</i> <sub>1</sub>	<i>e</i> <sub>2</sub>	<i>e</i> <sub>3</sub>	<i>e</i> <sub>4</sub>	<i>e</i> <sub>5</sub>	<i>e</i> <sub>6</sub>	<i>e</i> <sub>7</sub>	<i>e</i> <sub>8</sub>	<i>e</i> <sub>9</sub>	∑
Czynnik materialny związany z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku <i>D</i>	<i>d</i> <sub>00</sub>	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	4
	<i>d</i> <sub>01</sub>	0	0	0	7	1	2	0	0	3	0	13
	<i>d</i> <sub>02</sub>	0	0	0	20	2	72	5	0	0	0	99
	<i>d</i> <sub>03</sub>	0	0	2	9	2	0	0	0	0	0	13
	<i>d</i> <sub>04</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	<i>d</i> <sub>05</sub>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	<i>d</i> <sub>06</sub>	0	1	1	7	2	3	0	0	2	0	16
	<i>d</i> <sub>07</sub>	0	1	0	5	2	1	1	0	0	0	10
	<i>d</i> <sub>09</sub>	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3
	<i>d</i> <sub>10</sub>	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	3
	<i>d</i> <sub>11</sub>	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	5
	<i>d</i> <sub>12</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>13</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	<i>d</i> <sub>14</sub>	0	0	0	8	3	7	0	0	1	0	19
	<i>d</i> <sub>15</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>16</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	<i>d</i> <sub>17</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>18</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>19</sub>	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
	<i>d</i> <sub>20</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>d</i> <sub>99</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
∑	0	5	3	63	16	89	7	1	9	0	193	

Tabela 7 Macierz relacji między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym – cz. 1/2

		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego F									
		$f_{00}$	$f_{01}$	$f_{02}$	$f_{03}$	$f_{04}$	$f_{05}$	$f_{06}$	$f_{07}$	$f_{09}$	$f_{10}$
Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego E	$e_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_1$	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0
	$e_2$	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	$e_3$	0	7	23	1	2	1	1	4	1	1
	$e_4$	0	0	4	0	1	0	1	2	1	0
	$e_5$	0	3	83	0	0	0	0	0	1	1
	$e_6$	2	0	4	0	0	0	0	1	0	0
	$e_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_8$	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	$e_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	4	10	114	4	3	5	2	7	4	2	

Tabela 8 Macierz relacji między wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego a czynnikiem materialnym z nim związanym – cz. 2/2

		Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego F											
		$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$	$f_{16}$	$f_{17}$	$f_{18}$	$f_{19}$	$f_{20}$	$f_{99}$	$\Sigma$
Wydarzenie będące odchyleniem od stanu normalnego E	$e_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$e_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	$e_2$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3
	$e_3$	0	3	0	5	0	1	0	0	7	6	0	63
	$e_4$	1	2	0	2	1	0	0	0	1	0	0	16
	$e_5$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	89
	$e_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	$e_7$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	$e_8$	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	$e_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	2	11	1	7	2	1	0	0	8	6	0	193	

Tabela 9 Macierz relacji między czynnikiem materialnym związanym z czynnością wykonywaną przez poszkodowanego w chwili wypadku a wydarzeniem będącym odchyleniem od stanu normalnego

		Wydarzenie powodujące uraz $G$										
		$g_0$	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$	$g_5$	$g_6$	$g_7$	$g_8$	$g_9$	$\Sigma$
Czynnik materialny związany z odchyleniem od stanu normalnego $F$	$f_{00}$	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	4
	$f_{01}$	0	0	0	3	2	0	5	0	0	0	10
	$f_{02}$	0	1	0	108	3	1	1	0	0	0	114
	$f_{03}$	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4
	$f_{04}$	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
	$f_{05}$	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	5
	$f_{06}$	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
	$f_{07}$	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	7
	$f_{09}$	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	4
	$f_{10}$	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
	$f_{11}$	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	$f_{12}$	0	0	0	0	5	0	3	0	3	0	11
	$f_{13}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	$f_{14}$	0	0	0	3	3	1	0	0	0	0	7
	$f_{15}$	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	$f_{16}$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	$f_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$f_{18}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$f_{19}$	0	0	3	1	1	0	3	0	0	0	8
	$f_{20}$	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6
	$f_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	0	10	10	121	22	10	16	1	3	0	193	

Tabela 10 Macierz relacji między wydarzeniem powodującym uraz a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu – cz. 1/2

		Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$									
		$h_{00}$	$h_{01}$	$h_{02}$	$h_{03}$	$h_{04}$	$h_{05}$	$h_{06}$	$h_{07}$	$h_{09}$	$h_{10}$
Wydarzenie powodujące uraz $G$	$g_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_1$	0	0	0	3	0	5	0	0	0	0
	$g_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_3$	0	106	11	0	0	0	0	0	0	0
	$g_4$	0	2	3	0	3	0	1	1	3	0
	$g_5$	0	1	0	0	0	0	1	6	0	1
	$g_6$	0	5	0	0	0	0	0	0	2	0
	$g_7$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\Sigma$	1	114	14	3	3	5	2	7	5	1

Tabela 11 Macierz relacji między wydarzeniem powodującym uraz  
a czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu – cz. 2/2

		Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$											
		$h_{11}$	$h_{12}$	$h_{13}$	$h_{14}$	$h_{15}$	$h_{16}$	$h_{17}$	$h_{18}$	$h_{19}$	$h_{20}$	$h_{99}$	$\Sigma$
Wydarzenie powodujące uraz $G$	$g_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$g_1$	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10
	$g_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	0	10
	$g_3$	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	121
	$g_4$	0	5	0	3	0	0	0	0	1	0	0	22
	$g_5$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
	$g_6$	0	4	1	0	0	0	0	0	4	0	0	16
	$g_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	$g_8$	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	$g_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	0	13	1	4	2	0	0	0	11	7	0	193	

Tabela 12 Macierz relacji między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu  
a rodzajem urazu – cz. 1/2

		Rodzaj urazu $U$									
		$u_{000}$	$u_{010}$	$u_{020}$	$u_{030}$	$u_{040}$	$u_{050}$	$u_{060}$	$u_{070}$	$u_{080}$	$u_{090}$
Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$	$h_{00}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{01}$	1	0	22	0	0	5	0	0	0	0
	$h_{02}$	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{03}$	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0
	$h_{04}$	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{05}$	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	$h_{06}$	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	$h_{07}$	0	2	2	0	3	0	0	0	0	0
	$h_{09}$	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	$h_{10}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{12}$	0	0	1	0	3	2	0	0	0	0
	$h_{13}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{14}$	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0
	$h_{15}$	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	$h_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{18}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{19}$	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
	$h_{20}$	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
$h_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
$\Sigma$	1	4	42	0	9	10	3	2	0	0	

Tabela 13 Macierz relacji między czynnikiem materialnym będącym źródłem urazu a rodzajem urazu – cz. 2/2

		Rodzaj urazu $U$							$\Sigma$
		$u_{100}$	$u_{110}$	$u_{120}$	$u_{130}$	$u_{140}$	$u_{150}$	$u_{999}$	
Czynnik materialny będący źródłem urazu związany z wydarzeniem powodującym uraz $H$	$h_{00}$	0	0	0	0	0	1	0	1
	$h_{01}$	0	1	3	25	3	54	0	114
	$h_{02}$	0	0	0	2	0	4	0	14
	$h_{03}$	0	0	0	0	0	0	0	3
	$h_{04}$	0	0	0	0	0	1	0	3
	$h_{05}$	0	0	0	0	0	3	0	5
	$h_{06}$	0	0	0	0	0	0	0	2
	$h_{07}$	0	0	0	0	0	0	0	7
	$h_{09}$	0	0	0	0	0	2	0	5
	$h_{10}$	0	0	0	0	0	0	0	1
	$h_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{12}$	0	1	1	0	0	5	0	13
	$h_{13}$	0	0	0	0	0	1	0	1
	$h_{14}$	0	0	0	0	0	1	0	4
	$h_{15}$	0	0	0	0	0	0	0	2
	$h_{16}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{17}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{18}$	0	0	0	0	0	0	0	0
	$h_{19}$	0	0	0	0	0	8	0	11
	$h_{20}$	0	0	0	0	1	4	0	7
	$h_{99}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Sigma$	0	2	5	27	4	84	0	193	

Tabela 14 Macierz relacji między rodzajem urazu a skutkiem wypadku

		Skutek wypadku $R$			
		$r_1$	$r_2$	$r_3$	$\Sigma$
Rodzaj urazu $U$	$u_{000}$	0	1	0	1
	$u_{010}$	0	4	0	4
	$u_{020}$	0	41	1	42
	$u_{030}$	0	0	0	0
	$u_{040}$	0	8	1	9
	$u_{050}$	0	10	0	10
	$u_{060}$	0	3	0	3
	$u_{070}$	0	2	0	2
	$u_{080}$	0	0	0	0
	$u_{090}$	0	0	0	0
	$u_{100}$	0	0	0	0
	$u_{110}$	0	1	1	2
	$u_{120}$	0	5	0	5
	$u_{130}$	0	26	1	27
	$u_{140}$	0	4	0	4
	$u_{150}$	84	0	0	84
	$u_{999}$	0	0	0	0
	$\Sigma$	84	105	4	193